

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL  
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**GILCIANE RITA FERNANDES DA SILVA  
LARISSA CARVALHO OLIVEIRA**

**VIABILIDADE: ESTUDO DO DIMENSIONAMENTO DE UMA ETA PARA A  
CIDADE DE CARATINGA - MG USANDO ESTIMATIVAS POPULACIONAIS.**

**CARATINGA  
2018**

**GILCIANE RITA FERNANDES DA SILVA  
LARISSA CARVALHO OLIVEIRA**

**FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**VIABILIDADE: ESTUDO DO DIMENSIONAMENTO DE UMA ETA PARA A  
CIDADE DE CARATINGA - MG USANDO ESTIMATIVAS POPULACIONAIS**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Civil das Faculdades DOCTUM de  
Caratinga, como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil.**

**Área de concentração: Abastecimento  
de Água.**

**Orientador: Professor MSc. Ricardo  
Botelho Campos.**

**CARATINGA**

**2018**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

**TERMO DE APROVAÇÃO**


O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: VIABILIDADE: ESTUDO DO DIMENSIONAMENTO DE UMA ETA PARA A CIDADE DE CARATINGA - MG USANDO ESTIMATIVAS POPULACIONAIS., elaborado pelo(s) aluno(s) GILCIANE RITA FERNANDES DA SILVA e LARISSA CARVALHO OLIVEIRA foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

**BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

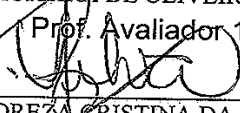
Caratinga 11/12/2018

  
\_\_\_\_\_  
RICARDO BOTELHO CAMPOS

Prof. Orientador

  
\_\_\_\_\_  
JOÃO MOREIRA DE OLIVEIRA JÚNIOR

Prof. Avaliador 1

  
\_\_\_\_\_  
ANDREZA CRISTINA DA SILVA

Prof. Examinador 2

Só se pode  
alcançar um grande êxito  
quando nos mantemos  
fiéis a nós mesmos.

*Friedrich Nietzsche.*

## **DEDICATÓRIA**

Deus sempre direcionou minha vida e fez coisas incríveis por mim. Por isso, dedico esse trabalho a ele.

Dedico também à minha família, que sempre contribuiu muito com a minha bagagem de conhecimentos. Meus Pais, eles foram responsáveis pela maior herança da minha vida: meus estudos.

Gilciane Rita Fernandes da Silva.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico primeiramente a Deus pela sabedoria a mim concedida para a realização desta monografia, ao meu orientador pela dedicação, aos meus familiares pelo apoio e a todos que contribuíram de forma direta e positiva.

Larissa Carvalho Oliveira.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço primeiramente a Deus, que em sua infinita sabedoria colocou força em meu coração para vencer mais essa etapa em minha vida. A fé em meu Deus, sem dúvidas, me ajudou a lutar até o fim.

Agradeço aos meus pais Gilmar e Rosária que me deram apoio e incentivo nas horas difíceis. Sou grata também ao meu irmão Matheus, namorado Diego, tios e avós, que de alguma forma também contribuíram para que o meu sonho da faculdade se tornasse realidade.

Agradeço a todos os professores, especialmente ao meu orientador Ricardo, obrigado por exigir de mim muito mais do que eu imaginava ser capaz de fazer e principalmente por ser amigo em todos os momentos que vivemos nesta faculdade. Manifesto aqui minha gratidão por compartilhar sua sabedoria, o seu tempo e sua experiência.

Por fim, a minha dupla Larissa Carvalho, somos gratas a Deus, que encheu nossos corações de luz e contribuiu com a nossa cumplicidade. Estamos vencendo!

Gilciane Rita Fernandes da Silva.

## **AGRADECIMENTO**

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida e por me abençoar e permitir que eu chegasse até aqui.

A minha família que sempre me apoiou e me incentivou nos meus estudos.

A minha dupla Gilciane que foi companheira em todo o momento e contribuiu de forma direta para que este trabalho fosse elaborado.

Ao meu orientador Ricardo Botelho Campos que foi peça fundamental na realização deste trabalho pela dedicação e orientação. Enfim, agradeço a todos que contribuíram de forma positiva no decorrer desta etapa da minha vida.

Larissa Carvalho Oliveira.



## RESUMO

As cidades vêm atravessando momentos delicados no abastecimento de água. Por este motivo, houve racionamentos no abastecimento na cidade em estudo, deixando muitas pessoas sem o essencial recurso. Com isto, a busca por sistemas mais eficientes de distribuição e tratamento da água, bem como o estudo da viabilização da ETA tem sido cada vez mais importante para um abastecimento operante a todos, sem que haja este problema nos anos futuros. Desse modo, o presente estudo tem como objetivo apresentar a melhor solução, tomando em conta a eficácia para os próximos 30 anos, para o abastecimento de água na cidade de Caratinga. Na metodologia está incluso o memorial de cálculo detalhado para uma ETA suficientemente capaz de atender uma população 34% maior que a atual, como é previsto para os próximos 30 anos. Foram comparados os resultados com a atual ETA em operação, chegando a uma estação de tratamento consideravelmente maior à atual, levando a conclusão que o atual sistema gera um *déficit* expressivo no abastecimento da cidade estudada. Ressalta-se também a importância do uso consciente e sustentável da água, como forma de garantir o recurso diante a face da expansão populacional e o conseqüente aumento do consumo.

**Palavras-Chave:** Abastecimento. Consumo. Recurso.

## **ABSTRACT**

The cities are going through delicate moments in the water supply. For this reason, there were rationing in the supply in the city under study, leaving many people without the essential resource. With this, the search for more efficient water distribution and treatment systems, as well as the study of the viability of ETA has been increasingly important for an effective supply for all, without this problem in future years. Thus, the present study aims to present the best solution, taking into account the effectiveness for the next 30 years, for water supply in the city of Caratinga. In the methodology is included the detailed calculation memorial for an ETA sufficiently capable of serving a 34% larger population than the current one, as it is predicted for the next 30 years. It compared the results with the current ETA in operation, reaching a treatment station considerably larger than the current one, leading to the conclusion that the current system generates an expressive deficit in the supply of the studied city. The importance of the conscious and sustainable use of water is also emphasized, as a way of guaranteeing the resource in the face of population expansion and the consequent increase in consumption.

**Key-words:** Supply. Consumption. Resource.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Organograma – Sistema de Abastecimento .....	21
<b>Figura 2</b> – Sistema de Abastecimento de Água.....	21
<b>Figura 3</b> – Início da adutora - Caratinga, MG.....	22.
<b>Figura 4</b> – Classificação dos Vazamentos.....	23
<b>Figura 5</b> – Ilustração dos tipos de vazamentos .....	24
<b>Figura 6</b> – Etapas do tratamento de água .....	31
<b>Figura 7</b> – Organograma esquemático do tratamento da água .....	31
<b>Figura 8</b> – Imagem de satélite da estação de tratamento de água de Caratinga – MG .....	35
<b>Figura 9</b> – Calha de Par hall .....	39
<b>Figura 10</b> – Dimensões padronizadas da Calha de Parshall .....	41
<b>Figura 11</b> – Planta Esquemática da ETA Dimensionada.....	55

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Normas Brasileiras para Tratamento e Distribuição de Água .....	24
<b>Tabela 2</b> – População abastecida urbana – Caratinga 2000.....	33
<b>Tabela 3</b> – População abastecida urbana – Caratinga 2010.....	33
<b>Tabela 4</b> – População estimada abastecida urbana – Caratinga 2018 .....	34
<b>Tabela 5</b> – População abastecida urbana – Caratinga 2048.....	35
<b>Tabela 6</b> – Coeficientes e vazão de água em função da largura da garganta (W) .....	39
. G, K E N, em função de W.....	40.
<b>Tabela 8</b> – Valores de C da Fórmula de Hazen-Willians.....	49
<b>Tabela 9</b> – Comparativo entre a ETA em operação, e a ETA dimensionada.....	57.

## LISTA DE ABREVIATURAS ESIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADASA	Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal
BMFBOVESPA	Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros.
CODEN	Companhia de Desenvolvimento de Nova Odessa
COMAG	Companhia Mineira de Água e Esgotos
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
DEMAE	Departamento Municipal de Águas e Esgoto de Belo Horizonte
ETA	Estação de Tratamento de Água
HAB	Habitantes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPO	<i>Initial Public. Offering</i>
MPMG	Ministério Público de Minas Gerais
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial de Saúde
PLA - NASA	Plano Nacional de Saneamento
PMSB	Municipal de Saneamento Básico
SAA	Subsecretaria de Assuntos Administrativos
TJMG	Tribunal de Justiça de Minas Gerais

## LISTA DE SÍMBOLOS

$a$	Espaçamento dos canais
$A_f$	Área do filtro
$A_s$	Área superficial do floculador
$A_{total}$	Área total
$B_f$	Largura do floculador
$C$	Consumo <i>per capita</i> / Largura do canal jusante / coeficiente de rugosidade
$D'$	Largura da calha
$D$	Largura do canal montante
$\Delta H_d$	Perda de carga distribuída
$\Delta H_l$	Perda de carga localizada
$\Delta H_t$	Perda de carga total
$E$	Espaçamento entre chicanas
$E_0$	Carga hidráulica
$F_1$	Número de Froud
$G$	Gradiente de velocidade
$g$	Constante gravitacional
$G'$	Trecho com variação de espessura entre a garganta da calha e o canal jusante
$h$	Altura
$h_0$	Altura da água na seção de medição
$h_1$	Altura da água antes do ressalto
$h_2$	Altura do ressalto
$h_3$	Altura na seção de saída

$h_f$	Perda de carga no ressalto
$j$	Perda de carga unitária
$K$	Coeficiente K em função da largura da garganta da calha
$K_1$	Coeficiente de hora de maior consumo
$K_2$	Coeficiente de dia de maior consumo
$\text{kgf/m}^3$	Quilograma força por metro cúbico
$\text{kgf.s/m}^2$	Quilograma força vezes segundo por metroquadrado
$L$	Comprimento / distância
$l$	Litro(s)
$l/s$	Litros por segundo
$L_t$	Extensão dos canais
$m$	Metro
$m^2$	Metro quadrado
$m^3$	Metro cúbico
$m/s$	Metro por segundo
$m/s^2$	Metro por segundo ao quadrado (aceleração)
$m^3/s$	Metro cúbico por segundo
$m^3/s/m$	Metro cúbico por segundo por metro
$\mu$	Coeficiente de viscosidade da água
$\text{mdg}$	Milhões de galões por dia
$n$	Coeficiente n em função da largura da garganta da calha / número de espaçamentos
$P$	População
$Q$	Vazão
$q$	Vazão específica

$Q_{med}$	Vazão média
$Q_{captação}$	Vazão de captação
$R_h$	Raio hidráulico
$t$	Tempo de mistura
$\theta$	Ângulo de inclinação
$\theta_c$	Tempo de retenção
$\theta_h$	Tempo de detenção hidráulico
$\theta_t$	Tempo
$V_0$	Velocidade na seção de medição
$V_1$	Velocidade antes do ressalto / velocidade nos trechos retos
$V_2$	Velocidade da água no ressalto
$V_3$	Velocidade na seção de saída
$V_{dec}$	Volume do decantador
$V_f$	Volume do floculador
$W$	Largura da garganta da calha
$Y$	Peso específico



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
1.1	Contextualização .....	18
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>20</b>
2.1	Sistemas de Abastecimento de Água.....	20
2.2	Controle e Redução de Perdas.....	23
2.3	Consumos de Água.....	25
2.4	Abastecimento de Água na Cidade de Caratinga – MG .....	25
2.4.1	Abastecimento de água no município de Caratinga: Implantação, captação e reservatório – (Copasa) .....	25
2.4.2	Captação: Córrego do Lage.....	27
2.4.3	Reservatório .....	27
2.4.4	Dilema da Falta de Água em Caratinga - MG .....	28
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>30</b>
3.1	Forma do abastecimento de água identificada no município .....	30
3.2	Etapas do Tratamento de Água .....	30
3.3	Estudo da NBR 12216: Projeto de Estação de Tratamento de Água para o Abastecimento Público.....	32
3.4	Desenvolvimento do Projeto de Sistema de Abastecimento de Água .....	35
3.4.1	Atividades necessárias para elaboração do projeto de Abastecimento de Água.....	36
3.5	Dimensionamento da ETA.....	37
3.5.1	Vazão de captação .....	37
3.6	Coagulação .....	38
3.6.1	Dimensionamento da Calha de Parshall.....	39
3.6.2	Dimensionamento do floculador .....	46
3.7	Dimensionamento do decantador.....	52
3.8	Dimensionamento dos filtros .....	53
3.8.1	Dimensionamento geométrico dos filtros.....	54
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>56</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>59</b>
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
	APÊNDICE A - OFÍCIO DE SOLICITAÇÃO .....	64

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

A água é a matéria prima mais utilizada e estudada no mundo. Portanto, os sistemas de abastecimento de água são uma fundamental parte da sociedade. O seu principal objetivo é garantir a distribuição de água em qualidade e quantidade suficiente para atender as necessidades básicas dos habitantes. A necessidade básica do consumo da água faz com que estes sistemas presentes, embora possam variar quanto ao tipo, estejam em praticamente todos os lugares do mundo, onde há habitação humana.

A demanda deste recurso determinou a própria localização das comunidades. Desde que o homem passou a viver de forma sedentária, adotando a agricultura como meio de subsistência e abandonando a vida nômade, mais centrada na caça. A vida sedentária tornou mais complexa o equacionamento das demandas de água, que passaram então a incluir o abastecimento de populações e não mais de indivíduos ou famílias. Portanto, a adoção de sistemas suficientemente capazes de atender toda a população é um fator importantíssimo no desenvolvimento humano.

O propósito primário para a exigência de qualidade da água é a proteção à saúde pública. Os critérios adotados para assegurar essa qualidade têm por objetivo fornecer uma base para o desenvolvimento de ações que, se propriamente implementadas junto à população, garantirão a segurança do fornecimento de água através da eliminação ou redução à concentração mínima de constituintes na água conhecidos por serem perigosos à saúde. Visando à avaliação da qualidade da água de abastecimento, foi implementado o desenvolvimento de tecnologias como propostas metodológicas para monitoramento de água em municípios abrangidos pelo Sistema Único de Saúde.

É redundante dizer que a água é essencial à manutenção da vida. A proteção de contaminações no fornecimento de água é a primeira linha de defesa. A necessidade de utilização da água para abastecimento é indissociável da história da humanidade. A garantia de abastecimento de água potável para a população é um

dos fatores determinantes para que se tenha o saneamento básico<sup>1</sup>, direito humano reconhecido pela Organização das Nações Unidas, cuja falta favorece a ploriferação de doenças infecciosas.

Tal importância para o desenvolvimento humano faz jus a relevância dos estudos nesta área, especialmente os que focam na eficácia presente e futura do abastecimento de água, garantindo não só a quantidade, como também a qualidade deste recurso indispensável.

O objetivo deste trabalho é estudar o dimensionamento e abastecimento da ETA (Estação de Tratamento de Água) na cidade de Caratinga, apresentar a Estação de Tratamento de Água (ETA); estudar e analisar o dimensionamento e abastecimento da ETA levando em consideração toda população urbana abastecida. Para tal, trabalho está dividido em 5 capítulos. No primeiro capítulo apresenta-se a introdução, expondo uma breve contextualização com a ideia geral do assunto abordado, assim como os objetivos gerais e específicos.

No capítulo 2 é descrito a fundamentação teórica baseando-se como referência os procedimentos que serão analisados no estudo sobre a teoria do assunto.

No capítulo 3 toda a metodologia do trabalho é exposta apresentando os materiais utilizados e os métodos empregados na realização dos estudos necessários.

O capítulo 4 descreve os resultados e as discussões, ou seja, apresenta-se tudo o que foi realizado juntamente com os resultados obtidos, como bem apresentados à viabilidade da ETA na cidade de Caratinga – MG.

E finalmente no capítulo 5 é abordada a conclusão do trabalho, onde apresenta e discute os resultados assim como as possibilidades de análises considerando a proposição do trabalho.

---

<sup>1</sup> Série de medidas que tornam uma área sadia, limpa, habitável, oferecendo condições adequadas de vida para uma população ou para a agricultura.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Sistemas de Abastecimento de Água**

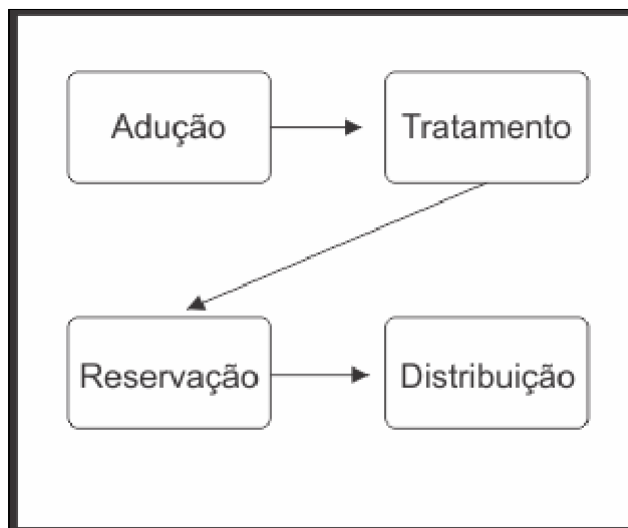
De acordo com a Companhia de Desenvolvimento de Nova Odessa – Coden (2018), a água é essencial à vida tanto animal quanto vegetal, tem papel fundamental no desenvolvimento da civilização humana desde a antiguidade. Todo ser humano necessita de água com boa qualidade e em quantidade suficiente para suprir todas as suas necessidades. Ainda de acordo com a Coden (2018), tanto a quantidade quanto a qualidade da água que será utilizada para o abastecimento estão intimamente ligadas ao tipo de manancial.

Segundo a Companhia de Saneamento de Minas Gerais Copasa (2018), os sistemas de abastecimento de água - SAA são compostos pelos conjuntos de equipamentos, obras e serviços voltados para o suprimento de água potável a comunidades para fins de consumo doméstico, industrial e público que são compostos pelas unidades de captação, tratamento, estação elevatória, adução, reservatórios, rede de distribuição e ligações prediais. O SAA tem importância fundamental nos níveis de saúde da população da cidade ou comunidade, onde está inserido diminuindo a incidência de doenças de veiculação hídrica. A implantação ou o aperfeiçoamento dos serviços de abastecimento somado a um sistema de esgoto adequado proporciona um maior controle e prevenção de doenças, a promoção de hábitos saudáveis e higiênicos, o desenvolvimento econômico e social.

Conforme Heler e Pádua (2010) os SAA são desenvolvidos de modo a atender múltiplas necessidades de usos da água, como uso doméstico, comercial e industrial.

Segundo Gomes (2009), a concepção e o dimensionamento de cada parte do sistema de abastecimento de água ocorrem de forma integrada, apesar de cada unidade possuir sua peculiaridade em termos de projeto de engenharia, o que requer, geralmente, o emprego de uma equipe de profissionais especializados.

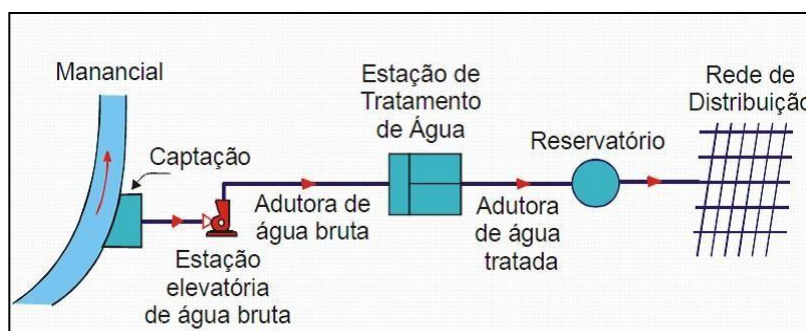
De acordo com a Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal – Adasa (2017), o sistema de abastecimento deverá ter um conjunto de unidades que vão desde a captação, adução, tratamento e reservação até chegar à distribuição conforme organograma da (Figura 1).

**Figura 1:** Organograma – Sistema de Abastecimento

Fonte: As Autoras, (2018).

A sequência mais comum de um sistema de abastecimento de água potável é composta por captação de um manancial, estação elevatória, seguida das adutoras brutas, o tratamento de água em si, seguido por sua vez das adutoras com a água tratada, chegando assim aos reservatórios, distribuição e por fim às residências, conforme (Figura 2).

Segundo Tsutiya (2006), o objetivo principal do sistema de abastecimento de água é fornecer ao usuário água de boa qualidade para seu uso, em quantidade adequada e pressão suficiente.

**Figura 2:** Sistema de Abastecimento de Água.

Fonte: Tsutiya, (2006).

A primeira etapa do tratamento da água inicia-se pela captação da água bruta por meio de mananciais, que geralmente são fontes de água doce. Os mananciais podem ser superficiais, definidos como os que escoam ou acumulam-se na superfície, tais como rios, lagos, represas e córregos, ou ainda, mananciais

subterrâneos, que são aqueles encontrados nas camadas profundas do subsolo. Em ambos os tipos, o manancial deve seguir as diretrizes da legislação específica para o uso da água de acordo com seu padrão de qualidade (SIRHSC, 2013).

O manancial onde é captada a água bruta do abastecimento estudado é um manancial superficial.

De acordo Costa (1998), após ser captada, a água é transportada através de adutoras de água bruta, ou seja, através de canalizações que transportam a água sem tratamento para a Estação de Tratamento de Água - ETA. Na ETA são realizados procedimentos para que a água bruta captada dos mananciais esteja, após o tratamento, em conformidade com o padrão de qualidade para o consumo humano. Após o tratamento, a água é transportada pelas adutoras de água tratada, chegando assim aos reservatórios, que são unidades que armazenam a água para em seguida ir para a fase de distribuição, onde será entregue para os pontos de consumos, como: residências, indústrias, prédios, etc.

A captação é o conjunto de estruturas necessárias para a retirada de água do manancial, no caso específico do trabalho na cidade de Caratinga – MG em que a água é captada no córrego do Lage, conforme (Figura 3).

**Figura 3:** Início da adutora - Caratinga, MG.



Fonte: Copasa, (2018).

## 2.2 Controle e Redução de Perdas

Para Gonçalves e Alvim (2007), sistemas de abastecimento de água geralmente apresentam perdas entre a captação e a estação de tratamento de água, chamadas perdas na produção, e desta até a entrega para o consumidor, denominadas perdas na distribuição.

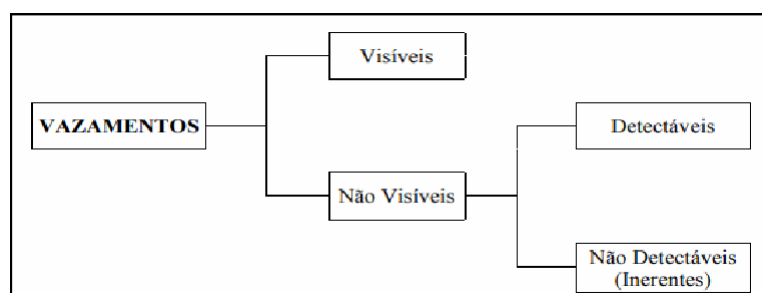
Quando se pensa em perda, a ideia principal são os vazamentos, porém o conceito de “perdas” vai, além disso. Desta forma, torna-se necessário o reconhecimento dos tipos de perdas para a utilização das ferramentas adequadas para o controle. Portanto podem-se identificar dois tipos de perdas: a perda real e a perda aparente (GONÇALVES; ALVIM, 2007).

Segundo Tsutiya (2006), a perda física ou real corresponde à vazão de água produzida e que não chega ao consumidor, que caracteriza um vazamento.

A perda por vazamento ocorre na estrutura da estação de tratamento, no rompimento das tubulações das linhas de adução e também nas redes de distribuição. De acordo com Girol apud Lambert (2000), estes vazamentos podem ser classificados em visíveis e não visíveis, apresentados nas (Figuras 4 e 5):

- Visíveis: são os vazamentos indicados pela própria população ou por técnicos das companhias de abastecimento de água que fazem as inspeções de rotina.
- Não visíveis: são os vazamentos que não afloram a superfície, ou seja, exigem o uso de equipamentos para detectá-los, tais como: geofone eletrônico e sensores de ruído de acordo com ENOPS Engenharia (2012). Existem ainda vazamentos não visíveis que não afloram e não podem ser detectados, e são classificados como inerentes.

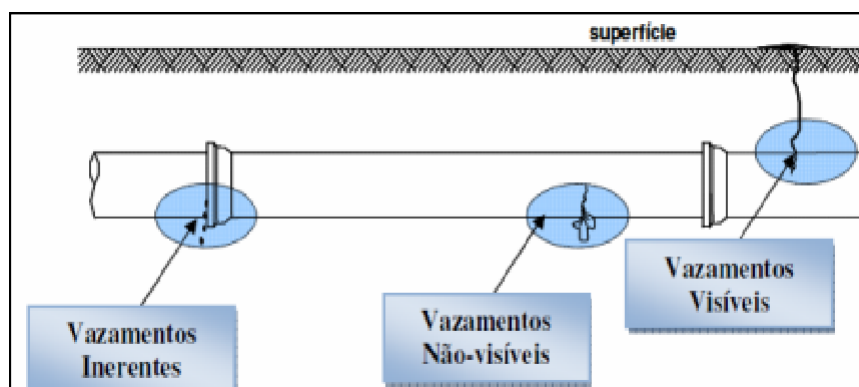
**Figura 4:** Classificação dos Vazamentos



Fonte: Tsutiya (2006), (Adaptado pelos Autores).

A Figura 5 é a ilustração dos vazamentos que ocorre na estrutura da estação de tratamento de acordo (GIROL apud LAMBERT, 2000).

**Figura 5:** Ilustração dos Tipos de Vazamentos



Fonte: Girol, (2008).

As estações de tratamento de água (ETAs) são as unidades responsáveis para tratar a água de acordo com a Norma Brasileira aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR). As normas para captação, tratamento e distribuição de água estão listadas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Normas Brasileiras para Tratamento e Distribuição de Água

NBR 12211	Estudos de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água
NBR 12212	Projeto de Poço para captação de Água Subterrânea
NBR 12213	Projeto de Captação de Água de superfície para Abastecimento Público
NBR 12214	Projeto de Sistema de bombeamento de Água para Abastecimento Público
NBR 12215/NB591	Projeto de Adutora de Água para Abastecimento Público
NBR 12216	Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público
NBR 12217	Projeto de reservatório de Distribuição de Água para Abastecimento Público
NBR 12218	Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público.

Fonte: As Autoras, (2018).



De acordo com Tsutiya (2006), os reservatórios são elementos com objetivo de armazenar água, além de regularizar variações entre vazões de adução e de distribuição, condicionando as pressões na rede de distribuição. Essa que é formada por tubulações e outros acessórios, como válvulas, a levar água potável para o consumidor de forma contínua e em quantidade e pressão determinada pela NBR 12214 – Projeto de Sistema de bombeamento de Água para Abastecimento Público.

### **2.3 Consumos de Água**

De acordo com Jalba et.al. (2010), para garantir que a saúde humana tem uma boa qualidade deve ter como principal aliado um bom sistema de abastecimento de água para consumo humano.

Entretanto, Who (2012), afirma que qualquer água tanto superficial ou subterrânea necessita de tratamento antes do seu consumo de modo a garantir que esta não represente qualquer perigo para a saúde humana. Os perigos de uma água com baixa qualidade resultam da contaminação microbiológica, química, física ou até mesmo radioativa.

A água é de suma importância para o ser humano, impossível imaginar a vida sem a existência da água, apesar da sua importância se a água não for tratada de maneira adequada pode ser um meio de transmitir muitas enfermidades. Sendo assim várias medidas devem ser tomadas para proteger a saúde das pessoas. Abastecimento de água da cidade que tem por finalidade diminuir as impurezas prejudiciais e nocivas para o consumo humano. O controle de qualidade da água que tem como principal objetivo garantir a saúde da população este controle deve ser feito em todas as etapas do processo de abastecimento de água iniciando no manancial e terminando na torneira. (WHO, 2012).

Ainda Who (2012), afirma que o consumo de água de uma população depende de alguns fatores, como a renda familiar, as características do ambiente, do abastecimento de água e culturais. Ainda o uso consumo é diferente se considerarmos o uso doméstico, comercial e industrial.

### **2.4 Abastecimento de Água na Cidade de Caratinga – MG**

2.4.1 Abastecimento de água no município de Caratinga: Implantação, captação e reservatório – (Copasa)

Celebrado em agosto de 1972, o contrato de concessão dos serviços de abastecimento de água da cidade de Caratinga, cujo início de operação em janeiro de 1973 e prazo de vigência de 30 anos a partir da assinatura do mesmo, foi renovado em dezembro de 1998, com término previsto para dezembro 2028. Ressalta-se que o contrato vigente não estabelece metas específicas para a execução de obras de ampliação do sistema, bem como parâmetros de qualidade para a prestação do serviço. (LEI N. 2499/1998). Em 5 de julho de 1963, foi criada, por meio da Lei Estadual nº 2.842, a Companhia Mineira de Água e Esgotos - COMAG, com a finalidade de definir e executar uma política ampla de saneamento básico para o Estado de Minas Gerais (COPASA, 2018).

Prosseguindo com a Copasa (2018), em 1971, o Governo Federal instituiu o Plano Nacional de Saneamento - PLANASA. À mesma época, o Departamento Municipal de Águas e Esgoto de Belo Horizonte - DEMAÉ, responsável pela prestação desses serviços na cidade de Belo Horizonte, incorporou-se à COMAG. A partir daí a COMAG começou a passar por uma série de modificações para se ajustar às necessidades da Política de Saneamento Básico do Estado de Minas Gerais, entre elas, a alteração de seu nome para Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA MG, por meio da Lei 6.475/74.

Ainda Copasa (2018) em 2006, a Companhia realizou sua Oferta Inicial de Ações (Initial Public Offering - IPO), ingressando no Novo Mercado da BMFBOVESPA, segmento diferenciado que exige maior transparência e regras mais rígidas de governança corporativa. Em abril de 2008, foi realizada uma oferta secundária de ações em que o acionista Município de Belo Horizonte alienou a totalidade de suas ações, e o acionista Estado de Minas Gerais vendeu parte de suas ações, sem perder o controle acionário da Empresa.

A água tratada é um produto industrial que exige altos investimentos para a sua produção, preservação, distribuição e controle de qualidade. Para garantir sua quantidade e qualidade dentro dos padrões estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde - OMS, a Copasa exerce um rigoroso controle e investe em programas de preservação dos mananciais de onde a água é retirada para abastecimento público (COPASA, 2018).

## 2.4.2 Captação: Córrego do Lage

De acordo com Copasa (2018), o córrego do Lage está localizado no distrito de Santa Luzia, município de Caratinga – MG, a captação para o sistema de abastecimento de água da cidade de Caratinga começou a ser operado pela Copasa em 1974. A água que é distribuída à população é captada no Córrego do Lage e tratada em uma estação do tipo convencional, onde passa pelos processos de oxidação, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, correção de pH e fluoretação. O sistema possui capacidade de produção de 165 litros de água por segundo.

Ainda de acordo com a Copasa (2018) hoje, a mesma atende em Caratinga uma população de aproximadamente 59.183 habitantes, com uma vazão média de 165 l/s, sendo um total de 32 reservatórios, com perspectiva de 100% de atendimento, decorrente em atendimento atual de 87, 89%. A água chega até os imóveis percorrendo 159.023 metros de redes de distribuição.

Segundo Isaias Borges (2016), analisando a importância do Córrego do Lage para Caratinga, guardadas as devidas proporções, podemos fazer analogia com uma famosa citação. No século V a.c., Heródoto, o famoso historiador grego, ouviu dos sacerdotes egípcios esta frase: “O Egito é uma Dádiva do Nilo”. Ficando claro que sem o Rio Nilo o Egito Antigo, possivelmente não existiria. Assim é Caratinga, o Córrego do Lage é fundamental para sua existência.

## 2.4.3 Reservatório

De acordo com Diário de Caratinga (2016), bem diferente do cenário de anos atrás (quando ainda nem se imaginava que o clichê “A água do planeta vai acabar” pudesse virar realidade), o Córrego do Lage está enfrentando um crítico período de escassez. A falta d’água tem comprometido o abastecimento da cidade, que precisou passar por rodízios para atender à população, uma vez que o município não tem um reservatório ou barragem.

Conforme Isaias Borges (2016), somente no ano de 2015, foi divulgado o estudo de um reservatório para Caratinga, embora muitas pessoas já tivessem alertado para uma possível crise hídrica. Sobre este projeto e as ações do Comitê de Crise Hídrica de Caratinga. Devido ao grande período de estiagem ocorrido no ano de

2015 que se instituiu o Comitê. Nas reuniões, ficaram decididas três prioridades para resolver o problema. “Porque o problema não se resolve somente com o racionamento de água, pra ter o racionamento precisa ter água bruta esgotada e nós não temos em Caratinga um reservatório ou, que seja, uma barragem. Nós precisamos na Bacia do Rio Lage, que seja verificado um local melhora para um reservatório, para que num período de chuva possamos fazer o armazenamento dessa água bruta para usá-la na época da estiagem”.

Isaias Borges (2016), ainda ressalta as providências que devem ser tomadas até a que seja concluído o futuro projeto do reservatório. “Até que seja feito esse reservatório ou barragem em Caratinga, será necessário que a gente capte a água do Rio Preto. A Copasa já fez o pedido de outorga para que seja feita a transposição do Rio Preto para atender ao município de Caratinga”.

#### **2.4.4 O Dilema da falta de água em Caratinga - MG**

Segundo Raquel Borsari (2017), em reportagem para o Super Canal<sup>2</sup>, por determinação judicial, a Copasa deve apresentar, em 45 dias, diagnóstico do sistema de captação e de fornecimento de água de Caratinga - MG, detalhando a capacidade de reserva e de abastecimento dos mananciais e apontando soluções a curto, médio e longos prazos para o problema de escassez de água que vem ocorrendo no município desde 2015. O pedido à Justiça foi feito pelo Ministério Público de Minas Gerais (MPMG).

Ainda de acordo com Raquel Borsari (2017), em reportagem para o Super Canal, a Promotoria de Justiça de Defesa do Consumidor de Caratinga - MG, a Copasa “faltou com o seu dever de planejamento, previsto na Lei 11.445/2007”, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, o que culminou com a eclosão da crise hídrica no município em 2015, 2016 e 2017”. A concessionária ainda teria sido omissa ao não adotar medidas preventivas para manter o abastecimento e o fornecimento de água em Caratinga.

---

<sup>2</sup> Jornal da cidade de Caratinga - MG

Pela decisão do Tribunal de Justiça de Minas Gerais (TJMG), a Copasa ainda está obrigada, caso adote medidas contingenciais de consumo, a justificar a medida e informar aos consumidores o período de limitação do fornecimento de água potável, com antecedência mínima de cinco dias. Mesmo que haja o racionamento, a concessionária deve garantir o fornecimento de água potável aos hospitais do município. Caso a decisão seja descumprida, a empresa será multada diariamente em mil reais (RAQUEL BORSARI, 2017 EM REPORTAGEM PORA O SUPER CANAL).

Segundo a Promotoria de Justiça, a Copasa “permaneceu omissa ao longo dos 42 anos de concessão do fornecimento de água potável em Caratinga, dando causa ao colapso hídrico e, quando a crise hídrica ocorreu, passou a fornecer água de forma precária, racionada e mediante rodízio desigual nos bairros”. Com a interrupção, a concessionária teria infringindo o dever legal de continuidade na prestação do serviço público essencial (RAQUEL BORSARI, 2017 EM REPORTAGEM PORA O SUPERCANAL).

### **3 METODOLOGIA**

O estudo foi desenvolvido no município de Caratinga, localizado na região Sudeste do país. Pertence ao colar metropolitano do vale do Aço, a uma latitude 19°47'24" sul e a uma longitude 42°08'20" oeste, com população de 91.503 mil habitantes, estimado em 2018, de acordo com o Perfil dos Municípios Brasileiros (IBGE, 2018).

Segundo dados da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), atualmente, o município conta com 87,89% da população urbana abastecida com água proveniente do sistema público.

#### **3.4 Forma Do Abastecimento De Água Identificada No Município**

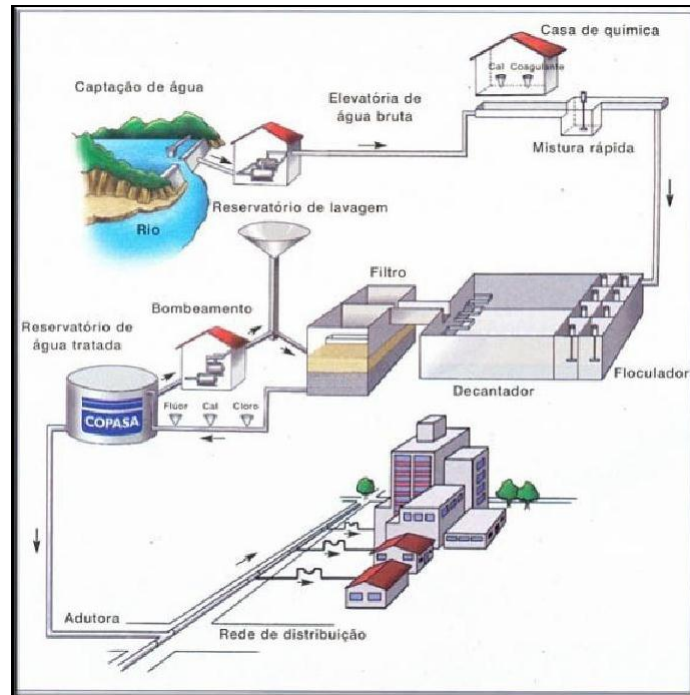
O sistema de abastecimento de água da Cidade de Caratinga começou a ser operado pela COPASA em 1974. A água que é distribuída à população é captada no Ribeirão do Laje e é tratada em uma estação do tipo convencional, onde passam pelos processos de oxidação, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, correção de pH e fluoretação. Hoje, a COPASA atende em Caratinga uma população urbana de aproximadamente 59.183 habitantes. A água chega até seus imóveis e também comércios percorrendo mais de 97.550 metros de redes de distribuição. A capacidade nominal de produção da ETA é de 19,3 milhões de litros de água tratada por dia.

#### **3.5 Etapas Do Tratamento De Água**

A água que consumimos passa por vários processos de tratamento antes de chegar às redes de distribuições para o consumo humano, sendo que primeiramente a captação é feita nos mananciais.

Após a captação da água é realizado o tratamento da mesma contendo várias etapas. De acordo com a Figura 6 a seguir, todos esses processos são fundamentais na qualidade da água para o consumo humano.

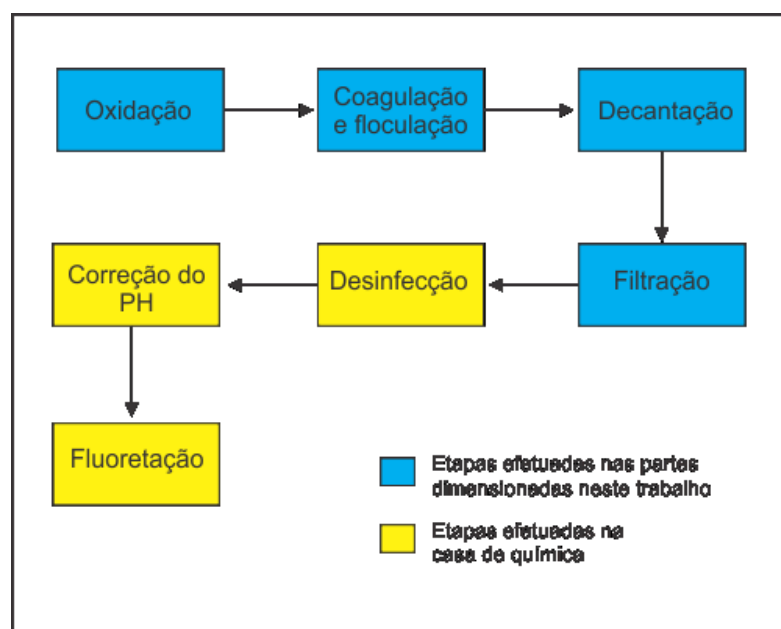
**Figura 6:** Etapas do Tratamento de Água.



Fonte: Copasa, 2018

As etapas do tratamento da água estão representados na Figura 7.

**Figura 7:** Organograma esquemático do tratamento da água



Fonte: As Autoras

Na oxidação é adicionado cloro na água para a ocorrência da oxigenação dos metais compostos (ferro e manganês). Logo após, na coagulação é adicionado o sulfato de alumínio (Al) que tem por objetivo de formar flocos que unem todas as impurezas presentes, auxiliando sua remoção. Já na floculação é feita uma agitação na água através das pás giratórias.

Após a floculação, ocorre a decantação, onde é suspensa toda a movimentação da água, e isso faz com que todos os flocos de impurezas fiquem concentrados no fundo do decantador. Após a passagem no processo de decantação, a água passa pelo filtro onde todas as impurezas existentes são eliminadas, bem como o odor e sabor das substâncias químicas.

Efetua-se então a desinfecção, processo onde é feita a adição do cloro, substância comum com objetivo da remoção de microrganismos ainda presentes na água. Efetua-se então a adição da cal hidratado, para a correção do pH e finaliza-se na fluoretação, onde é adicionado cloro e flúor para a prevenção de cáries.

### **3.6 Estudo Da Nbr 12216: Projeto De Estação De Tratamento De Água Para O Abastecimento Público**

Durante todo o estudo da norma que fixa às condições exigíveis na elaboração de projeto de tratamento de água destinada a produção de água potável para o abastecimento público voltou todos os itens de busca e pesquisa para a cidade de Caratinga - MG.

Visto que o controle do tratamento de água é de vital importância, pois, o fornecimento de água potável, diminui a incidência de doenças, que tem a água com sua via de transmissão.

Levando em consideração todo seu projeto até o funcionamento, tempo esse que a ETA tenha que produzir um volume de água que é demandado em um dia.

As etapas de construção da ETA têm por objetividade que atenda sem sobrecarga as demandas de consumo pela construção ele estabelecida.

De acordo com a (NBR 12211), para estudos de concepção de sistemas públicos de Abastecimento de Água, é necessário que vejamos as condições.



exigíveis de fato para o sistema de abastecimento abranger toda a rede e o que foi verificado nos estudos de concepção.

Levando em consideração os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apresentamos a seguir tabelas comparativas da população urbana de Caratinga, como base selecionou os anos de 2000 e 2010 (Censo), estimativa para a população em 2018 bem como a projeção para daqui 30 anos, 2048, para apresentar qual era o gasto de água nesses anos e fazendo a viabilidade se a ETA atenderá a população projetada em 2048.

No ano de 2000 como visto na Tabela 2 a seguir, retirou-se os dados referentes à população urbana que era abastecida pela COPASA no ano analisado.

**Tabela 2:** População abastecida urbana – Caratinga 2000.

POPULAÇÃO ABASTECIDA - CARATINGA/MG						
ANO	CONSUMO DE ÁGUA POR PESSOA/DIA (L)	POPULAÇÃO URBANA (HAB)	DIÁRIO	SEMANAL	MENSAL	ANUAL
2000	165	62338	1	7	30	365
			102857170	72000390	308573100	3754306050

Fonte: As Autoras, 2018.

Diante, a Tabela 3 indica o consumo populacional urbano de acordo com os dados do censo IBGE de 2010, sempre considerando apenas a área urbana abastecida.

**Tabela 3:** População abastecida urbana – Caratinga 2010.

POPULAÇÃO ABASTECIDA - CARATINGA/MG						
ANO	CONSUMO DE ÁGUA POR PESSOA/DIA (L)	POPULAÇÃO URBANA (HAB)	DIÁRIO	SEMANAL	MENSAL	ANUAL
2010	165	70.474	1	7	30	365
			11628210	81397470	348846300	4244296650

Fonte: As Autoras, 2018.

Como o censo do IBGE faz sua contagem de 10 em 10 anos para saber a estimativa atual da população urbana de Caratinga usamos os dados de pesquisa de 2018 e desconsideramos toda a contagem dos distritos que compõem a zona rural do município, na Tabela 4 indica o consumo de água dos habitantes.

**Tabela 4:** População estimada abastecida urbana – Caratinga 2018.

POPULAÇÃO ABASTECIDA - CARATINGA/MG							
ANO	CONSUMO DE ÁGUA POR PESSOA/DIA (L)	POP. ESTIMADA TOTAL (HAB)	POP. URBANA (HAB)	DIA.	SEMAN.	MENS	ANUA L
2018	165 l	91.503	76.738	1	7	30	365
				12661770	88632390	379853100	4621546050

Fonte: As Autoras, 2018.

Para a projeção da população em 2048, na Tabela 4, foram inseridos os dados obtidos através do censo (IBGE) nos anos de 2000, 2010, estimativa atual de 2018, utilizaram as seguintes fórmulas para efetuar os cálculos, resolveu-se pelo modelo genérico, dado pelas Expressões 1 e 2:

$$P_t = P_0 \cdot e^{K_g(t-t_0)} \quad (1)$$

Onde:

- a)  $P_t$ = População total
- b)  $P_0$ = População inicial
- c)  $e$ = exponencial
- d)  $K_g$ = Taxa de crescimento geométrico
- e)  $t$ = Tempo final
- f)  $t_0$ = Tempo inicial

$$K_g = \frac{\ln(P_2) - \ln(P_0)}{(t_2 - t_0)} \quad (2)$$

- a)  $K_g$ = Taxa de crescimento geométrico
- b)  $P_2$ = População final
- c)  $P_0$ = População inicial
- d)  $t_2$ = Tempo final
- e)  $t_0$ = Tempo inicial

Resolveu-se, então, da seguinte forma:

$$\square_{\square} = \frac{(\ln 76738 - \ln 62338)}{(2018 - 2000)}$$

$$\square_{\square} = \frac{(11,24 - 11,04)}{18} = 0,11$$

$$\square_{\square} = \square_0 \cdot \square^{(\square_{\square}(\square - \square_0))}$$

$$\square_{\square} = 62.338 \cdot \square^{0,011(2048-2000)} \approx 105.696 \text{ hab}$$

Desta forma, foi obtido resultado da população urbana para os próximos 30 anos. A Tabela 5 a seguir indica o consumo de água em projeção que terá o município.

**Tabela 5:** População abastecida urbana – Caratinga 2048.

POPULAÇÃO ABASTECIDA – CARATINGA/MG						
ANO	CONSUMO DE ÁGUA POR PESSOA/DIA (L)	POPULAÇÃO ESTIMADA (HAB)	DIÁRIO	SEMANAL	MENSAL	ANUAL
2048	165 l	105.696	1	7	30	365
			17439840 l	122078880 l	523195200 l	6365541600 l

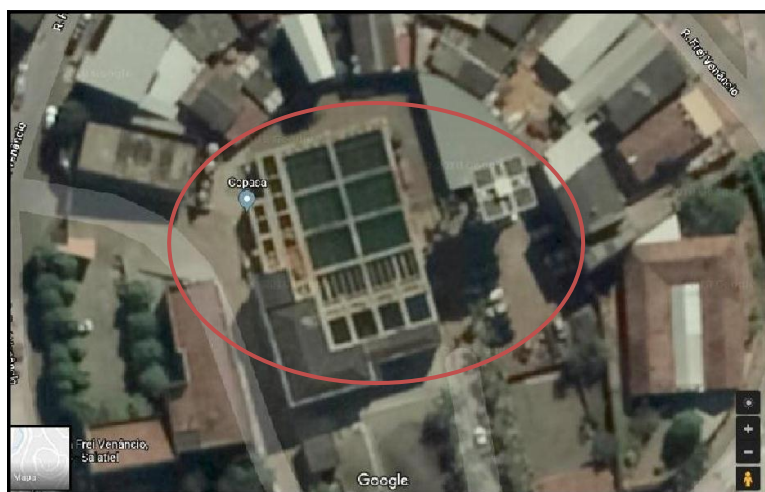
Fonte: As Autoras, 2018.

### 3.7 Desenvolvimento Do Projeto De Sistema De Abastecimento De Água

De acordo com a NBR 12216, para a elaboração da ETA, pressupõe que tenhamos os conhecimentos tais como:

1. A capacidade nominal é a vazão para condições normais que a ETA é projetada.
2. As definições de etapa de construção da ETA tem que ser todas bem alinhadas e projetadas para que não ocorram falhas de projeto durante todo o seu tempo de funcionamento. A ETA de Caratinga começou operar em 1974, está localizado na Rua Frei Venâncio, 228, Bairro Salatiel, Caratinga – MG. A Figura 8 a seguir foi capturada pelo satélite com vista superior da localização acima mencionada.

**Figura 8:** Imagem de satélite da estação de tratamento de água de Caratinga – MG



Fonte: Google Maps, (2018).

### 3.7.3 Atividades necessárias para elaboração do projeto de Abastecimento de Água

De acordo com o item 4.2 da NBR 12216, quando se fala em projeto da estação de tratamento de água para abastecimento público tem-se que levar vários itens em consideração, a saber, das condições gerais.

Para a elaboração do projeto da ETA, a definição em função do tempo de funcionamento tem que ser feito um estudo técnico – econômico muito bem feito, pois se desordenadamente houver um crescimento populacional maior que o previsto poderá ocorrer vários incidentes, dentre eles principalmente a falta de água nos tempos de seca, ou até mesmo pelo fato desordenado de grande população ocorrer racionamento em duas ou mais vezes durante o ano.

Em Caratinga – MG, nos últimos anos esse fato tem se tornado ocorrente, a falta de água nos períodos de seca. Nos anos entre 2005 a 2007, segundo reportagem apresentada pelo Jornal Super Canal de Caratinga, menciona de fato o que tem sido frequente pela população da cidade.

De acordo com os levantamentos, apenas 87, 89% da população de Caratinga hoje são abastecida com água tratada. Fato este, que, em parte se explica devido à falta de hidrometração<sup>3</sup> do município. Ainda, seguindo o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB),

“É válido ressaltar ainda que tanto o índice de perda no sistema quanto o índice de consumo médio per capita não são determinados com ampla precisão, pois o sistema informa dados com relação ao volume produzido. Como agravante ainda existe o fato da inexistência de hidrometração em 17,62% do município, que impede a quantificação com alta precisão do consumo médio per capita e isto incentiva maior gasto de água pela população especialmente nas comunidades rurais.”

Com a falta de hidrômetros, a real necessidade da população não é obtida; se resumindo, por tanto, ao produto do número de habitantes por uma estimativa do consumo *per capita*.

Fontes empíricas apontam que a maior parte da população não atendida com um adequado abastecimento de água se concentra em regiões menos favorecidas. Para mudar este fato, é necessário levar em conta o aumento populacional (calculada no capítulo anterior), e dimensionar uma estação de tratamento adequada, que forneça água suficiente para a população nos próximos anos.

### **3.8 Dimensionamento da ETA**

#### **3.8.3 Vazão de captação**

Para o cálculo da vazão de captação, é necessário que se tenha, além da estimativa populacional, os coeficientes de dia e horário de maior consumo, além das perdas na estação de tratamento, que giram em torno de 3%. A vazão média  $Q_{med}$ , dada em litros por segundo, é calculada pela seguinte Expressão:

---

<sup>3</sup> A hidrometração é a Instalação de um aparelho denominado hidrômetro, que serve para medir o volume de água que passa por uma tubulação.

$$Q_{\text{ETA}} = \frac{P \cdot C}{86400} \quad (3)$$

Onde P é o número de habitantes e C é o consumo *per capita*. Tomando em conta a estimativa populacional para 30 anos, e o consumo médio diário, tem-se:

$$Q_{\text{ETA}} = \frac{105696.165}{86400} = \frac{17439840}{86400} = 201,85 \text{ l/s}$$

Os coeficientes de hora de maior consumo ( $K_1$ ) e dia de maior consumo ( $K_2$ ) são, respectivamente, 1,2 e 1,5. As perdas na ETA é dado pela Expressão:

$$Q_{\text{perdas}} = \frac{Q_{\text{ETA}} \cdot K_1 \cdot K_2}{100} \quad (4)$$

Sendo assim, as perdas giram em torno de 6,0555 litros por segundo. A vazão de captação é dado pelo produto de  $K_1$  pela soma da vazão média com as perdas na estação; logo, tem-se:

$$Q_{\text{captacao}} = K_1 \cdot (Q_{\text{med}} + \text{Perdas}) = 1,2 \cdot (201,851 \text{ l/s} + 6,0555 \text{ l/s}) = 249,488 \text{ l/s}$$

### 3.6 Coagulação

A etapa de coagulação deve ocorrer em um alto nível de agitação da água, para que sejam dispersos os agentes químicos em menor tempo possível. Na Estação de tratamento, esta etapa é feita na chamada Calha de Parshall<sup>4</sup>, que, por meio de um ressalto hidráulico, provoca uma mudança brusca no nível d'água.

A Figura 9, a seguir, apresenta a Calha de Parshall em funcionamento. A parte afinada (garganta da calha) garante a água maior velocidade logo antes de atingir o ressalto hidráulico. Esta mudança brusca na velocidade e pressão da água, garante ao fluido um escoamento turbulento, fazendo com que os agentes químicos necessários sejam misturados à água no menor tempo possível.

<sup>4</sup> Calhas de Parshall são equipamentos aplicados na medição contínua de vazão e/ou mistura rápida de coagulantes em Estações de Tratamento de Água (ETA's) e / ou Estações de Tratamento de Efluentes (ETE's).

**Figura 9: Calha de Parshall**

Fonte: Guia da Engenharia, (2018).

### 3.6.1 Dimensionamento da Calha de Parshall

Na calha, o gradiente de velocidade recomendado deve estar entre  $600s^{-1}$  e  $2000s^{-1}$ , a velocidade da água deve ser maior que  $2\text{ m/s}$  e o tempo de dispersão do reagente devem ser aproximadamente  $1s$ .

Tendo a vazão calculada na seção anterior ( $249,488l/s \approx 0,25m^3/s$ ), obtêm-se os coeficientes e vazão de água em função da largura da garganta ( $W$ ), disponíveis na Tabela 6.

**Tabela 6:** Coeficientes e vazão de água em função da largura da garganta ( $W$ )

<b>W mm</b>	<b>Vazões (L/s) mínima – máxima</b>	<b>K</b>	<b>n</b>
76 (3")	0,85 – 53,8	3,70	0,64
152 (6")	1,52 – 110,4	1,84	0,63
229 (9")	2,55 – 241,9	1,48	0,63
305 (1')	3,11 – 455,6	1,27	0,65
157	4,25 – 696,2	0,96	0,65
610 (2')	11,89 – 936,7	0,79	0,64
915 (3')	17,26 – 1426	0,60	0,63
1220 (4')	36,79 – 1921	0,50	0,63
1525 (5')	62,8 – 2422	0,43	0,63

Fonte: Guia da Engenharia, (2018).

Tem-se, então  $k = 1,276$  e  $n = 0,657$ . Calcula-se então a altura da água na seção de medição, dado pela Expressão 5.

$$h_0 = \frac{Q}{\dots}$$

Onde  $h_0$  é a altura da água e  $Q$  é a vazão. Logo, tem-se:

$$h_0 = 1,276.0,25m^3/s^{0,657} = 0,51m$$

As tabelas apresentadas fornecem dimensões padronizadas para a calha, de forma a facilitar seu respectivo dimensionamento. Uma vez que o dimensionamento geométrico é feito praticamente todo por meio das tabelas, dadas às características da demanda, cabe ao calculista verificar apenas suas características de funcionamento, por meio dos cálculos apresentados, que determinarão ou não se seu funcionamento será satisfatório em todas as etapas necessárias para o tratamento. A largura da calha ( $D'$ ) é dada pela Expressão 6. A variável  $D$  é dado pela Tabela 7.

$$D' = \frac{2}{3} (D - \dots) + \dots \quad (6)$$

**Tabela 7:** Dimensões padronizadas de uma calha de Parshall (A, B, C, D, E, F, G, K E N, em função de W.

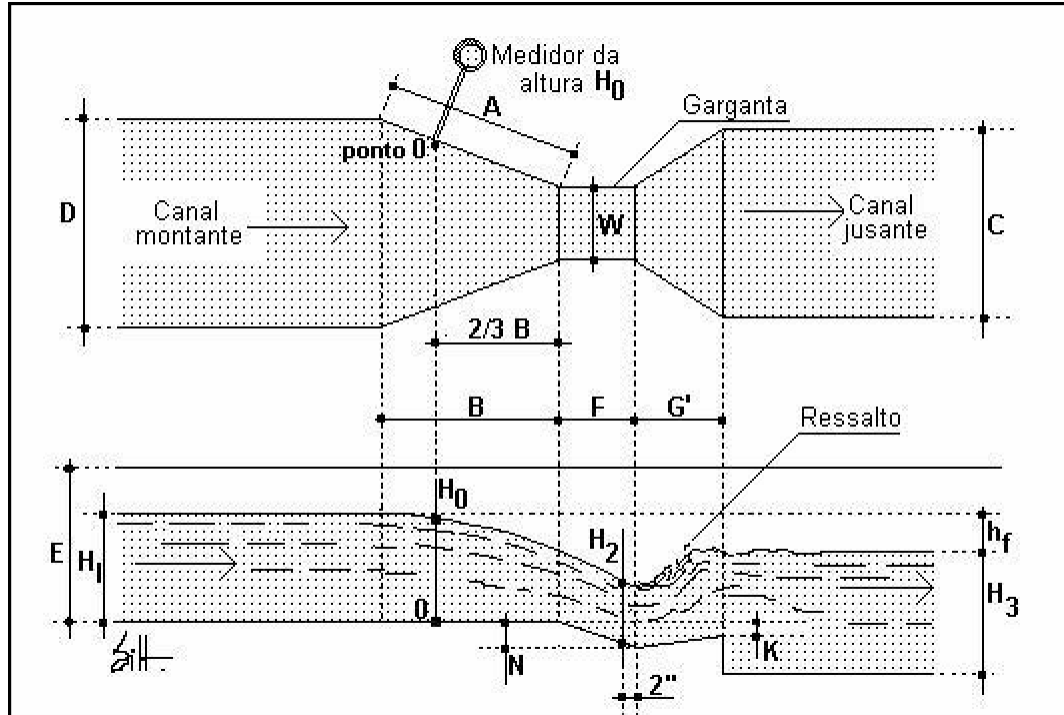
Pol / Pé	(cm)	A	B	C	D	E	F	G'	K	N
1"	2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9
3"	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7
6"	15,2	62,1	61	39,4	40,3	45,7	30,5	61	7,6	11,4
9"	22,9	88	86,4	38	57,5	61	30,5	45,7	7,6	22,9
1'	30,5	137,2	134,4	61	84,5	91,5	61	91,5	7,6	22,9
1,5'	45,7	144,9	142	76,2	102,6	91,5	61	91,5	7,6	22,9
2'	61	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61	91,5	7,6	22,9
3'	91,5	167,7	164,5	122	157,2	91,5	61	91,5	7,6	22,9
4'	122	183	179,5	152,5	193,8	91,5	61	91,5	7,6	22,9
5'	152,5	198,3	194,1	183	230,3	91,5	61	91,5	7,6	22,9
6'	183	213,5	209	213,5	266,7	91,5	61	91,5	7,6	22,9
6'	213	288,8	224	244	303	91,5	61	91,5	7,6	22,9
7'	244	244	239,2	274,5	340	91,5	61	91,5	7,6	22,9
10'	305	274,5	427	366	475,9	122	91,5	183	5,3	34,3

Fonte: Guia da Engenharia, (2018).

A Figura 10 mostra as dimensões padronizadas da calha, em um modelo esquemático:



**Figura 10:** Dimensões padronizadas da Calha de Parshall



Fonte: Guia da Engenharia, (2018).

Convertendo  $W$  (1') em metros, tem-se  $W = 0,3048\text{m}$ . De acordo com a Tabela 6,  $D$  em função de  $W$  é  $0,845\text{m}$ . Tem-se, então:

$$h_0' = \frac{2}{3} (0,845h - 0,3048h) + 0,3048h = 0,563h$$

A velocidade na seção de medição ( $V_0$ ) é dada por:

$$V_0 = \frac{Q}{h_0' \cdot W} \tag{7}$$

Logo,

$$V_0 = \frac{0,25 Q^3 / h}{0,563h \cdot 0,51h} = 0,072 Q^3 / h^3$$

A vazão específica ( $q$ ) na garganta da calha é dado pelo quociente entre a vazão ( $Q$ ) e a largura da garganta ( $W$ ), da seguinte forma:

$$q = \frac{Q}{W} = \frac{0,25 Q^3 / h}{0,3048h} = \frac{0,82 Q^3 / h^3}{h}$$

A carga hidráulica disponível ( $E_0$ ) é dada pela Expressão 8:

$$E_0 = \frac{V_0^2}{2g} + h_0 + z_0 \quad (8)$$

Onde  $g$  é a constante gravitacional e  $N = 22,9$  (Tabela 5). Tem-se, então:

$$E_0 = \frac{(0,72 \text{ m/s})^2}{2,981 \text{ m/s}^2} + 0,51 \text{ m} + 0,229 = 0,739 \text{ m}$$

O próximo passo é determinar o ângulo de inclinação  $\theta$ , determinado pela Expressão 9:

$$\theta = \cos^{-1} \frac{V_0 \cdot z_0}{\left[ \frac{2}{3} \cdot V_0 \cdot E_0 \right]^{1,5}} \quad (9)$$

Logo, tem-se:

$$\theta = \cos^{-1} \frac{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,82 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}}{\left[ \frac{2}{3} \cdot 9,81 \text{ m/s} \cdot 0,73 \text{ m} \right]^{1,5}} = 44,77^\circ$$

A velocidade antes do ressalto ( $V_1$ ) é dada pela Expressão 10:

$$V_1 = 2 \cdot V_0 \cdot \left( \frac{z_0}{3} \right) \cdot \left( \frac{2 \cdot V_0 \cdot E_0}{3} \right)^{0,5} \quad (10)$$

Sendo assim,

$$V_1 = 2 \cdot 0,72 \text{ m/s} \cdot \left( \frac{44,77^\circ}{3} \right) \cdot \left( \frac{2,981 \text{ m/s}^2 \cdot 0,73 \text{ m}}{3} \right)^{0,5} = 4,0655 \text{ m/s}$$

A altura da água antes do ressalto ( $h_1$ ) é o cociente entre a vazão específica na garganta da calha e a velocidade antes do ressalto. Logo,  $h_1 = 0,2m$ . O número de Froud ( $F_1$ ) é dado pela Expressão 11:

$$F_1 = \frac{Q_1}{(g \cdot h_1)^{0,5}} \quad (11)$$

Logo,

$$F_1 = \frac{4,0655 \text{ m}^3/\text{s}}{(9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,2 \text{ m})^{0,5}} = 2,902$$

O próximo passo é calcular a altura do ressalto ( $h_2$ ), que é dada pela Expressão 12.

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \cdot \left[ (1 + 8 \cdot F_1^2)^{1/2} - 1 \right] \quad (12)$$

De acordo com os dados calculados anteriormente, tem-se:

$$h_2 = \frac{0,2 \text{ m}}{2} \cdot \left[ (1 + 8 \cdot 2,0922^2)^{1/2} - 1 \right] = 0,727 \text{ m}$$

A velocidade da água no ressalto é dado pela Expressão 13:

$$V_2 = \frac{Q_1}{h_2} \quad (13)$$

Portanto,

$$V_2 = \frac{0,25 \text{ m}^3/\text{s}}{0,3048 \text{ m} \cdot 0,727 \text{ m}} = 1,128 \text{ m/s}$$

Para o cálculo da altura na seção de saída ( $h_3$ ), é necessário utilizar a variável K, que de acordo com a Tabela 6, é 0,076. Esta altura é dada por  $h_3 = h_2 -$

$(N - K)$ .

Logo,  $h_3 = 0,422m$ . Prosseguindo, é necessário efetuar o cálculo da velocidade na seção de saída, dado pela Expressão 14:

$$V_3 = \frac{C}{h_3} \quad (14)$$

De acordo com a Tabela 6,  $C = 0,61m$ . Sendo assim,  $V_3$  equivale a:

$$V_3 = \frac{0,25 \text{ m}^3/\text{s}}{0,61 \text{ m} \cdot 0,422 \text{ m}} = 0,971 \text{ m/s}$$

A perda de carga no ressalto é dada por:

$$h_r = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4 \cdot h_1 \cdot h_2} \quad (15)$$

Logo,

$$h_r = \frac{(0,727 \text{ m} - 0,2 \text{ m})^3}{4 \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 0,727 \text{ m}} = 0,251 \text{ m}$$

Para o cálculo do tempo de mistura (1), efetua-se o cálculo da Expressão 15, dada por:

$$t = \frac{2 \cdot V'}{V_2 + V_3} \quad (16)$$

Segundo a Tabela 6,  $G' = 0,915m$ . Logo,

$$t = \frac{2 \cdot 0,915 \text{ m}^3}{1,128 \text{ m}^3/\text{s} + 0,971 \text{ m}^3/\text{s}} = 0,87 \text{ s}$$

O último passo é calcular o gradiente de velocidade. Para tal, devemos considerar que a água possui  $\gamma = 1000 \text{ kgf/m}^3$  e sua viscosidade<sup>5</sup>  $\mu = 1,17 \cdot 10^{-4} \text{ kgf} \cdot \text{s/m}^2$ . Este gradiente é dado pela seguinte Expressão:

$$G = \left( \frac{\gamma}{\mu} \cdot \frac{h}{L} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

Logo,

$$G = \left( \frac{1000 \text{ kgf/m}^3}{1,17 \cdot 10^{-4} \text{ kgf} \cdot \text{s/m}^2} \cdot \frac{0,251 \text{ m}}{0,87 \text{ s}} \right)^{\frac{1}{2}} = 1570,306 \text{ s}^{-1}$$

Para a vazão de captação, foi dimensionada uma calha que confere a água uma velocidade de 4,0655m/s com tempo de mistura de 0,87s, e gradiente de velocidade de 1570,3s<sup>-1</sup>, atendendo aos parâmetros das normas vigentes.

### 3.6.2 Dimensionamento do floculador

Para o dimensionamento do floculador, considerou-se o tempo de detenção de 25 minutos (1500 segundos); gradientes dos 3 canais em série escalonados, 80s<sup>-1</sup>, 50s<sup>-1</sup> e 20s<sup>-1</sup>; profundidade do floculador de 3 metros; 2 unidades floculadoras e largura do decantador, próxima etapa de cálculos, de 7 metros.

Como existem 2 floculadores na estação, considerou-se, para cada um deles, 50% da vazão de captação (0,125m<sup>3</sup>/s).

Com estes dados, calcula-se o volume de cada floculador ( $V_f$ ), equivalente ao produto da vazão (Q) pelo tempo ( $\theta$ ).

$$V_f = Q \cdot \theta = 1500 \text{ s} \cdot 0,125 \text{ m}^3/\text{s} = 187,5 \text{ m}^3$$

A área superficial do floculador ( $A_s$ ) é dada pelo quociente entre o volume e a

<sup>5</sup> Propriedade física que caracteriza a resistência de um fluido ao escoamento

profundidade considerada (3 metros), de acordo com a Expressão 18.

$$B_f = \frac{A_f}{h} \quad (18)$$

Logo,

$$B_f = \frac{187,5 \text{ m}^3}{3 \text{ m}} = 62,5 \text{ m}^2$$

A largura dos flocladores ( $B_f$ ) é dada pelo quociente entre a área superficial e a largura do decantador, de acordo com a Expressão 19.

$$B_f = \frac{A_f}{h} \quad (19)$$

Dessa forma, a largura dos flocladores é de 9,357m. A seguir, calcula-se o número de espaçamentos em cada câmara. Como existem 3 canais para cada floclador, consideraram-se os seguintes dados:

- $n = \frac{B_f}{b} = \frac{9,357}{3} = 3,119$
- $n = \frac{B_f \cdot h}{3} = \frac{25}{3} = 8,333$

Onde  $a$  é o espaçamento de cada canal e  $\theta_c$  é o tempo de retenção. O número de espaçamentos é dado pela Expressão 20.

$$n = 0,045 \cdot \left[ \left( \frac{a \cdot \theta_c \cdot n^2}{a} \right) \cdot n \right]^{\frac{1}{3}} \quad (20)$$

Portanto,

$$n_1 = 0,045 \cdot \left[ \left( \frac{3,119 \cdot 7 \cdot 80^{-1} \cdot 2}{0,125 \cdot 3 / 3} \right) \cdot 8,333 \right]^{\frac{1}{3}} = 52,92$$

$$x_2 = 0,045 \cdot \left[ \left( \frac{3,119 \cdot 7 \cdot 50 \cdot x^{-1}}{0,125 \cdot x^3 / x} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot 8,333 \cdot x \right] = 38,69$$

$$x_3 = 0,045 \cdot \left[ \left( \frac{3,119 \cdot 7 \cdot 20 \cdot x^{-1}}{0,125 \cdot x^3 / x} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot 8,333 \cdot x \right] = 21$$

O espaçamento entre as chicanas é dado pela Expressão 21:

$$x = \frac{x}{x} \quad (21)$$

Segundo a Expressão 19, calcula-se:

$$x_1 = \frac{7}{53} = 0,132$$

$$x_2 = \frac{7}{39} = 0,179$$

$$x_3 = \frac{7}{21} = 0,333$$

Calcula-se então a velocidade nos trechos retos, dada pela Expressão 22:

$$x_1 = \frac{x}{x} \quad (22)$$

Calculando a velocidade para os 3 canais, tem-se:

$$x_{1,1} = \frac{0,125 \cdot x^3 / x}{3,119 \cdot 0,132} = 0,304 \cdot x / x$$

$$x_{1,2} = \frac{0,125 \cdot x^3 / x}{3,119 \cdot 0,179} = 0,224 \cdot x / x$$

$$v_{1,3} = \frac{0,125 \text{ m}^3/\text{s}}{3,119 \text{ m} \cdot 0,333 \text{ s}} = 0,120 \text{ m/s}$$

Para a velocidade nos trechos curvos ( $V_2$ ), considera-se dois terços da velocidade nos trechos retos. A partir de então, calcula-se a extensão dos canais ( $L_t$ ), considerando o tempo de retenção em cada floculador ( $\theta_c$ ), de 8,333 minutos (500 segundos). A extensão é dada pela Expressão 23.

$$L_t = \theta_c \cdot v_1 \quad (23)$$

Para os 3 canais, têm-se:

$$L_{t1} = 500 \text{ s} \cdot 0,304 \text{ m/s} = 152 \text{ m}$$

$$L_{t2} = 500 \text{ s} \cdot 0,224 \text{ m/s} = 112 \text{ m}$$

$$L_{t3} = 500 \text{ s} \cdot 0,120 \text{ m/s} = 60 \text{ m}$$

Calcula-se, então, o raio hidráulico ( $R_h$ ), dado pela Expressão 24.

$$R_h = \frac{b \cdot h}{2(b+h)} \quad (24)$$

Calculando para os 3 canais:

$$R_{h1} = \frac{3,119 \text{ m} \cdot 0,132 \text{ m}}{2(3,119 \text{ m} + 0,132 \text{ m})} = 0,0633 \text{ m}$$

$$R_{h2} = \frac{3,119 \text{ m} \cdot 0,179 \text{ m}}{2(3,119 \text{ m} + 0,179 \text{ m})} = 0,0846 \text{ m}$$

$$R_{h3} = \frac{3,119 \text{ m} \cdot 0,333 \text{ m}}{2(3,119 \text{ m} + 0,333 \text{ m})} = 0,15 \text{ m}$$

A seguir, calcula-se a perda de carga unitária ( $j$ ) dada pela Expressão 25.

(25)



$$C = \left( \frac{K \cdot L}{2} \right)^2 \cdot \frac{1}{h^3}$$

Onde C é um coeficiente que depende da natureza do material (Tabela8).

**Tabela 8:** Valores de C da Fórmula de Hazen-Willians

<b>MATERIAIS</b>	<b>C</b>
Aço corrugado(chapa ondulada)	60
Aço com junta lock-bar(tubos novos)	130
Aço com junta lock-bar(em serviço)	90
Aço galvanizado	125
Aço rebitado novos	110
Aço rebitado, em uso.	85
Aço soldado, novos.	130
Aço soldado, em uso.	90
Aço soldado com revestimento	130
Chumbo	130
Cimento-amianto	140
Cobre	130
Concreto com bom acabamento	130
Concreto com acabamento comum	120
Ferro fundido novo	130

Fonte: Unicamp, (2018).

Deve-se calcular a perda de carga para cada um dos 3 canais, da seguinte forma:

$$C_1 = \left( \frac{0,125 Q^3 / 0,013}{3,119 \cdot 0,132 \cdot 0,0633 Q^3} \right)^2 = 5,806 \cdot 10^{-4} Q / Q$$

$$C_2 = \left( \frac{0,125 Q^3 / 0,013}{3,119 \cdot 0,179 \cdot 0,0846 Q^3} \right)^2 = 2,281 \cdot 10^{-4} Q / Q$$

$$C_3 = \left( \frac{0,125 Q^3 / 0,013}{3,119 \cdot 0,333 \cdot 0,15 Q^3} \right)^2 = 3,07 \cdot 10^{-5} Q / Q$$

O próximo passo é calcular a perda de carga distribuída ( $\Delta H_d$ ), de acordo com a fórmula 26.

$$\lambda \frac{L}{D} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \quad (26)$$

Calculou-se a perda de carga para os canais, da seguinte forma:

$$\lambda \frac{L}{D}_1 = 5,806 \cdot 10^{-4} \frac{152}{0,152} = 0,0882$$

$$\lambda \frac{L}{D}_2 = 2,281 \cdot 10^{-4} \frac{112}{0,112} = 0,0255$$

$$\lambda \frac{L}{D}_3 = 3,071 \cdot 10^{-5} \frac{60}{0,060} = 0,00184$$

A seguir, calcula-se a perda de carga localizada ( $\Delta H_l$ ), de acordo com a Expressão 27.

$$\Delta H_l = \frac{\lambda \frac{L}{D} + (\lambda \frac{L}{D} - 1) \cdot \frac{L}{D}}{2} \quad (27)$$

Considerando a constante gravitacional  $g$  equivalente a  $9,81 \text{ m/s}^2$ , tem-se:

$$\Delta H_{l1} = \frac{53,0304 \frac{152}{0,152} + (53 - 1) \cdot 0,203^2}{2 \cdot 9,81 \frac{152}{0,152}} = 0,359$$

$$\Delta H_{l2} = \frac{39,0224 \frac{112}{0,112} + (39 - 1) \cdot 0,149^2}{2 \cdot 9,81 \frac{112}{0,112}} = 0,143$$

$$\Delta H_{l3} = \frac{21,0120 \frac{60}{0,060} + (21 - 1) \cdot 0,08^2}{2 \cdot 9,81 \frac{60}{0,060}} = 0,0219$$

Enfim, calcula-se o gradiente de velocidade ( $G$ ), considerando-se a perda de carga total ( $\Delta H_t$ ), de acordo com a expressão  $\Delta H_t = \Delta H_d + \Delta H_l$ . Para os 3 trechos, têm-se:

- $\Delta H_{t,1} = 0,447m$
- $\Delta H_{t,2} = 0,169m$
- $\Delta H_{t,3} = 0,023m$

Considerou-se, ainda, o coeficiente de viscosidade da água, neste estágio  $\mu = 1,07 \cdot 10^{-4} \text{kgf. s/m}^2$ , e  $\gamma = 1000 \text{kgf/m}^3$ . O gradiente é calculado pela Expressão 28.

$$G = \left( \frac{\gamma \cdot \Delta H}{\mu \cdot \nu} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (28)$$

É necessário calcular o gradiente para os 3 canais, da seguinte forma:

$$G_1 = \left( \frac{1000 \cdot 0,447}{1,07 \cdot 10^{-4} \cdot 0,500^2} \right)^{\frac{1}{2}} = 91,4 \text{ s}^{-1}$$

$$G_2 = \left( \frac{1000 \cdot 0,169}{1,07 \cdot 10^{-4} \cdot 0,500^2} \right)^{\frac{1}{2}} = 56,2 \text{ s}^{-1}$$

$$G_3 = \left( \frac{1000 \cdot 0,023}{1,07 \cdot 10^{-4} \cdot 0,500^2} \right)^{\frac{1}{2}} = 21,05 \text{ s}^{-1}$$

Desta forma, foram calculado 2 unidades flocculadoras, cada uma com 3 canais, com gradientes de velocidade escalonados de  $80 \text{s}^{-1}$ ,  $50 \text{s}^{-1}$  e  $20 \text{s}^{-1}$ .

Cada um desses canais, conforme cálculo terá que ter 53, 39 e 21 espaçamentos de 0,132m; 0,179m e 0,333m de distância, respectivamente para que obedeçamos gradientes de velocidade especificados na questão.

### 3.7 Dimensionamento Do Decantador

Para o dimensionamento dos decantadores, efetuaram-se as seguintes considerações:

- Velocidade de sedimentação: 35m/dia;

- Número de unidades: 04;
- Profundidade: 4m;
- Vazão (Q):  $0,125\text{m}^3/\text{s} = 10800\text{m}^3/\text{dia}$ .

O primeiro passo é calcular a área mínima ( $A_s$ ) de cada decantador, que é dado pelo quociente entre a vazão e a velocidade de sedimentação. Logo, a área mínima dos decantadores é  $308,57\text{m}^2$ .

Prosseguiu-se, então, com o cálculo do tempo de detenção hidráulico ( $\theta_h$ ), dado pela Expressão 29:

$$\theta_h = \frac{V_{dec}}{Q} \quad (29)$$

Onde  $V_{dec}$  é o volume dos decantadores, dado pelo produto entre a área e a altura. Logo,  $V_{dec}$  equivale a  $1234,28\text{m}^3$ . Logo,

$$\theta_h = \frac{1234,28\text{m}^3}{0,125\text{m}^3/\text{s}} = 154,285\text{s}$$

Calculou-se, então, a largura do decantador, por meio de dedução matemática. Como a largura (B) equivale ao quociente da área pelo comprimento (L), e considerando a condição  $L = 4B$ , efetuou-se o seguinte cálculo:

$$B = \frac{A_s}{L} \leftrightarrow B = \frac{308,57\text{m}^2}{4B} \rightarrow B = 8,783\text{m}, L = 35,132\text{m}$$

Calcula-se, então, a área de escoamento superficial, dado pela seguinte Expressão.

$$A_{es} = \frac{A_s}{B} \quad (30)$$

Logo,

$$Q = \frac{10800 \text{ m}^3}{9 \text{ m} \cdot 36 \text{ m}} = 33,333 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Dimensionou-se 2 unidades de decantação de 9m de largura e 36m de comprimento. Essas dimensões garantem a sedimentação das partículas, pois a taxa de escoamento superficial, neste caso, é menor que a velocidades de sedimentação.

### 3.8 Dimensionamento Dos Filtros

Para o dimensionamento dos filtros, considerou-se a taxa de filtração igual a  $240 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ . O primeiro passo é a determinação do número mínimo de filtros (N). Para o cálculo deste número, utilizou-se a Expressão 31:

$$N = 1,2 \cdot Q^{0,5} \quad (31)$$

A vazão calculada na Expressão 29 é dada em milhões de galões por dia (mgd). Logo, para uma vazão de  $10800 \text{ m}^3/\text{dia}$ , tem-se 2,853 milhões de galões por dia.

$$N = 1,2 \cdot 2,853^{0,5} = 2,026$$

Como o número mínimo de filtros é ligeiramente maior que 2, adotamos-se como  $N = 3$ . Usou-se, no entanto, 2 filtros por decantador, dando um total de 4 filtros. Calculou-se, em seguida, a área de filtração, dada pela Expressão 32.

$$A_{\text{filtração}} = \frac{Q}{q} \quad (32)$$

Logo,

$$A_f = \frac{10800 \text{ m}^3 / \text{m}^2}{240 \text{ m}^3 / \text{m}^2} = 45 \text{ m}^2$$

### 3.8.1 Dimensionamento geométrico dos filtros

Para o dimensionamento geométrico dos filtros, adotou-se a Expressão 33 para o cálculo da área.

$$A_f = \frac{A}{4} \quad (33)$$

Logo,

$$A_f = \frac{45 \text{ m}^2}{4} = 11,25 \text{ m}^2$$

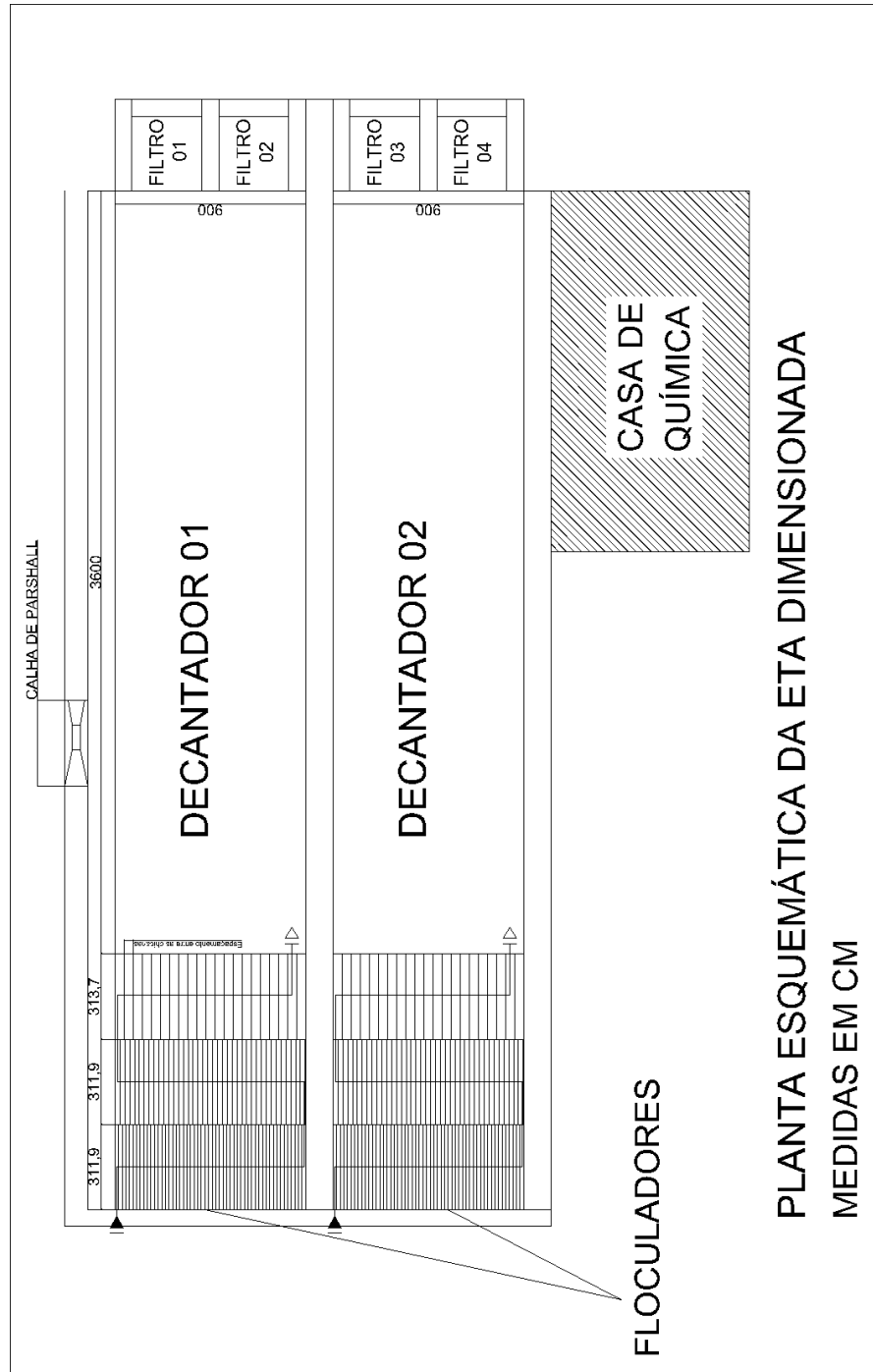
Para a largura do filtro, considerou-se a largura do decantador, que é de 9m. Como existem dois filtros por decantador, considerou-se o largura do filtro  $L = 3,5\text{m}$ . Para o comprimento do filtro, adotou-se a seguinte dedução:

$$A_f = L.B \iff 11,25 \text{ m}^2 = 3,5 \cdot B \implies B = 3,2143 \text{ m}$$

Onde B é o comprimento do filtro. Como resultado, têm-se 4 filtros com dimensões de 3,5m de largura por 3,3m de comprimento.

A critério de análise e futuros estudos fica disponível o croqui da estação dimensionada (Figura 11), para auxílio de futuros estudos.

**Figura 11:** Planta Esquemática da ETA dimensionada.



Fonte: As Autoras, (2018).

#### 4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No Capítulo 3 foi dimensionado a estação de tratamento de água que, estatisticamente, é capaz de atender a cidade de Caratinga-MG nos próximos 30 anos. Porém, com a falta de detalhamento dos dados fornecidos referentes à atual estação que atende a localidade, fica inviável o uso da mesma para fins de comparação no que diz respeito a dimensões físicas (o documento apresentado não oferece informações quanto ao dimensionamento das diferentes partes da Estação, Anexo A).

Os aumentos da população bem como fatores econômicos e culturais aumentam proporcionalmente o consumo de água (Rodrigues, 2008). De acordo com os dados disponibilizados pela companhia de abastecimento Copasa, a mesma atua com uma vazão de captação de 165 litros por segundo, atendendo a um total de 87,89% da população. O que se nota numa análise empírica dos resultados, é que a principal dificuldade no abastecimento da cidade deve-se a falhas da rede, além da ineficácia da estação, uma vez que a vazão necessária (de captação) para atender a demanda populacional nos próximos 30 anos é de 250 litros por segundo (aproximadamente 34% a mais do que os valores atuais). Além do mais, a falta de hidrometração torna o estudo da demanda populacional praticamente impossível, especialmente em zonas rurais ou fora do centro urbano (PMSB). Por sete motivos, o dimensionamento da ETA foi feito com base em estatísticas populacionais apresentadas no Capítulo 3.

Obteve-se, no capítulo anterior, o dimensionamento da estação com dois decantadores e quatro filtros, suficientes para atender a população de 105696 habitantes, com vazão de captação de  $10800\text{m}^3/\text{dia}$ . Oferta de similarmente eficiente, dadas às proporções, à população da Região Metropolitana Administrativa de São Paulo, cujo número de habitantes (segundo Vicente, 2005) é de 18,02 milhões, sendo abastecidos com  $67,6\text{ m}^3/\text{s}$ .

Para a ETA dimensionada, calculou-se uma Calha de Parshall que confere a água uma velocidade de  $4,0655\text{m/s}$ , tempo de mistura de  $0,87\text{s}$  e gradiente de velocidade de  $1570\text{s}^{-1}$ .

Dimensionaram-se dois flocculadores, cada um possuindo 3 canais com.



gradientes de velocidade escalonados de  $80s^{-1}$ ,  $50s^{-1}$  e  $20s^{-1}$ . Também foram dimensionados dois decantadores com dimensões de 9 metros de largura e 36 metros de comprimento, garantindo a sedimentação das partículas. Para cada decantador, dimensionaram-se dois filtros de 3,5m de largura por 3,3m de comprimento, totalizando 4 filtros para a estação.

Foi previsto, ainda, um aumento de 27,4% da população, gerando aumento significativo na demanda de água da cidade. O consumo tende a crescer em fase a este aumento populacional (Martins, 2016). As estações do ano são as principais responsáveis pela variação do consumo (Martins, 2016) e, como forma de prever estas variações, utilizou-se dos coeficientes de dia e hora de maior consumo. Os reservatórios de cada bairro não foram dimensionados.

Vale ressaltar que o abastecimento adequado de toda a população depende da disponibilidade do recurso. O uso consciente da água e a preservação de seus meios são de suma importância para que haja a garantia do abastecimento (VÍTOR, 2015).

A Tabela 9 faz um comparativo entre a ETA dimensionada e a ETA em operação, na cidade de Caratinga - MG.

**Tabela 9:** Comparativo entre a ETA em operação, e a ETA dimensionada.

	ETA Atual	ETA
Pop. Abastecida (%)	87,9%	100%
Pop. Abastecida (hab)	80431 hab	105.696 hab
Pop. Atual/Estimada	91.503 hab	105.696 hab
Eficiência nos próximos anos	-	30 anos
Consumo diário	12661770 l	17439840 l
Captação ( $m^3/s$ )	0,165 $m^3/s$	0,250 $m^3/s$
Floculadores	Não informado	2
Decantadores	Não informado	2
Filtros	Não informado	4

Fonte: As autoras, (2018).

Como visto na Tabela 8, a atual estação de tratamento em funcionamento no município de Caratinga está longe de atingir a eficácia necessária para operar nos próximos anos. Com o consumo diário aumentando a cada ano, a vazão de captação.

deve seguir proporcional a este aumento, para cumprir toda a demanda de consumo. A Estação dimensionada neste trabalho visa estas mudanças populacionais, sendo, teoricamente, capaz de satisfazer as necessidades da cidade em estudo.

## 5 CONCLUSÃO

Por intermédio da pesquisa científica, dimensionou-se uma estação de tratamento de água, em observação a crescente expansão populacional. Observou-se o desempenho da atual estação de tratamento em operação, levando-a em comparação com uma ETA suficientemente eficaz para atender a população nos próximos 30 anos, com cálculo detalhado de suas diferentes partes.

De acordo com a análise dos resultados obtidos na ETA estudada, pode-se concluir que as características da atual estação, bem como sua rede não são suficientes para atender toda a demanda populacional, trazendo consigo uma grande variedade de aspectos a serem melhorados; entre eles, a vazão de distribuição e o estudo detalhado da demanda populacional. Portanto, percebe-se que não somente a capacidade da estação, bem como o estudo da população e sua forma de distribuição são fundamentais na fase de planejamento e projeto do abastecimento de água. Por isso, devem-se analisar criteriosamente os fatores que possam interferir e inviabilizar o funcionamento da estação de tratamento, para garantir um sistema que seja eficaz durante a perspectiva de tempo estipulada para a operação.

À vista de todos os problemas relatados, pode-se constatar que não apenas a capacidade da atual ETA, mas também a impossibilidade de um estudo mais detalhado da população são responsáveis pelo atual *déficit* de abastecimento. Portanto, a ETA dimensionada neste trabalho baseia-se na estimativa populacional e de seu consumo, podendo esta sofrer variações de acordo com a real necessidade da população, que não pôde ser estipulada. Apesar disso, a estação dimensionada com base nos cálculos apresentados no capítulo 3, atende a uma população 34% maior que a atual (dadas às estimativas de consumo), garantindo desempenho satisfatório durante longo período de tempo.

Portanto, entende-se que a elaboração de uma nova ETA para o município se faz necessário, uma vez que a atual estação não será capaz de atender toda a demanda populacional crescente. Ressalta-se também que a disponibilidade do recurso é essencial para que a ETA funcione satisfatoriamente.

Constata-se que a ação mais indicada no momento é a adoção de uma rede de distribuição mais eficiente, e a hidrometração da população que atualmente não.

possui o equipamento de medição (17,62%). Uma vez confirmadas às necessidades da população presentes neste estudo, o próximo passo será a adoção de uma ETA mais eficiente, a fim de garantir para toda a população um abastecimento de água contínuo e de qualidade, como é direito de todo cidadão.

Sugestiona-se, para futuros autores de trabalhos acadêmicos, buscar novas soluções para o melhor aproveitamento da água, com foco na sustentabilidade; formas de reduzir os resíduos humanos, a fim de preservar este importante recurso. É necessário abordar linhas de pesquisa que foquem na preservação do meio e de seus ecossistemas, para a adoção de práticas que vizam a manutenção dos recursos naturais; área que ainda necessita de estudos nos tempos atuais.

Também é importante visar o estudo da conservação do reservatório de acumulação no local de captação, face à sua importância na preservação do ambiente, contenção natural de resíduos e erosão do solo. Uma vez que o problema do tratamento de água em quantidade suficiente para atender a demanda populacional pode ser resolvida com a implantação de uma estação mais eficaz, a oferta desse recurso natural depende da preservação do meio e do uso sustentável da água.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, Gleice da Silva; SANTOS, Karine Veiga; FARIAS Felipe Matos; TEIXEIRA, Telma C S. **Abastecimento de Água em Municípios Baianos com Tarifa Social: Uma Abordagem Acerca do Uso Racional**. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/abastecimento-de-agua-tarifa-social/>>, acesso em 17 de novembro de 2018.

COELHO, Isabela Carolina Lopes; RIBEIRO, Ayane Aparecida da Silva; SANTANA, Rosinele de Andrade; BEZERRA, Saulo de Tarso Marques; COUTINHO, Artur Paiva. **Análise do Abastecimento de Água e sua Relação com Indicadores Sociais e de Saúde: Um Estudo de Caso no Agreste Pernambucano**. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/abastecimento-de-agua-agreste-pernambucano/>>, acesso em 17 de novembro de 2018.

ESMERALDO, Adriano. **Abastecimento de Água – A Inovação da Gestão da Operação**. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/abastecimento-de-agua-gestao/>>, acesso em 17 de novembro de 2018.

GAVIOLLI, Juliane. **Abastecimento Público de Água na Região Metropolitana de São Paulo: Escassez Demanda e Aspectos de Saúde Pública**. Universidade De São Paulo, 2013.

MARTINS, Felipe Mendes. **Estudo de Caso do Sistema de Abastecimento e Distribuição de Água da Cidade de Viçosa - MG**. Universidade Federal de Viçosa, 2016.

NBR 12211 – **Estudos de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água**

NBR 12212 – **Projeto de Poço para captação de Água Subterrânea**

NBR 12213 – **Projeto de Captação de Água de superfície para Abastecimento Público**

NBR 12214 – **Projeto de Sistema de bombeamento de Água para Abastecimento Público**

NBR 12215/NB591 – **Projeto de Adutora de Água para Abastecimento Público**

NBR 12216 – **Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público**

**NBR 12217 – Projeto de reservatório de Distribuição de Água para Abastecimento Público**

**NBR 12218 – Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público**

OLIVEIRA, Thiago Forteza. **Tratamento de Água Para Abastecimento Público por Sistema de Operação por Membrana de Ultrafiltração: Estudo de Caso na ETA Alto da Boa Vista (São Paulo, SP)**. Universidade De São Paulo - Escola Politécnica, 2010.

RODRIGUES, Murilo Rogério. **A Escassez de Água Para Abastecimento Público e Seus Reflexos Socioeconômicos no Município de Itu-SP**. Universidade De São Paulo, 2008.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve de alto desempenho modificado com sb para pré-fabricados esbeltos – dosagem, produção, propriedades e microestrutura**. São Carlos, USP, 2003.

SAMPAIO, Paulo Victor Melo. **Métodos para o dimensionamento de redes de abastecimento de água**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Centro Técnico Aeroespacial, São José dos Campos, 2005.

SILVA, Thales do Nascimento. **Uma Arquitetura Para Descoberta de Conhecimento a Partir de Bases Textuais**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

SOARES, Ana Carolina Cordeiro. **Abastecimento e Consumo de Água por Soluções Individuais em Viçosa - MG: Identificação de Perigos e Percepção da População Consumidora**. Universidade Federal de Viçosa, 2010.

TUCCI, Carlos E. M. **Água no Meio Urbano**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

TUCCI, Carlos E. M. **Gerenciamento da Drenagem Urbana**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

VICENTE, Rosmeiry Vanzella. **Modelo de Operação Para Centros de Controle de Sistemas de Abastecimento de Água - Estudo de Caso: Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo**. Universidade De São Paulo - Escola Politécnica, 2005.

VÍTOR, Andréiza Azevedo. **Qualidade da Água de Abastecimento da Comunidade dos Pimentas, Lavras - MG**. Universidade Federal de Lavras, 2015.

**APÊNDICE A - OFÍCIO DE SOLICITAÇÃO****Companhia de Saneamento de Minas Gerais**

Comunicação Externa Nº 1294/2018 – DTCA

Caratinga, 18 de outubro de 2018.

Exmo Senhor  
João Moreira de Oliveira Júnior  
Coordenador do Curso de Engenharia Civil  
Faculdades Doctum  
Caratinga- MG

Referência/assunto: Informação da localidade de Caratinga.

Senhor Coordenador:

Em atenção ao ofício em referência, informamos que a COPASA MG atende com abastecimento de água, no município de Caratinga, 59.183 habitantes, com uma vazão média de 165 l/s, com um total de 32 reservatórios, com perspectiva de 100% de atendimento, sendo o atendimento atual de 87,89%.


Informamos que os reservatórios são distribuídos ao longo da malha de abastecimento.

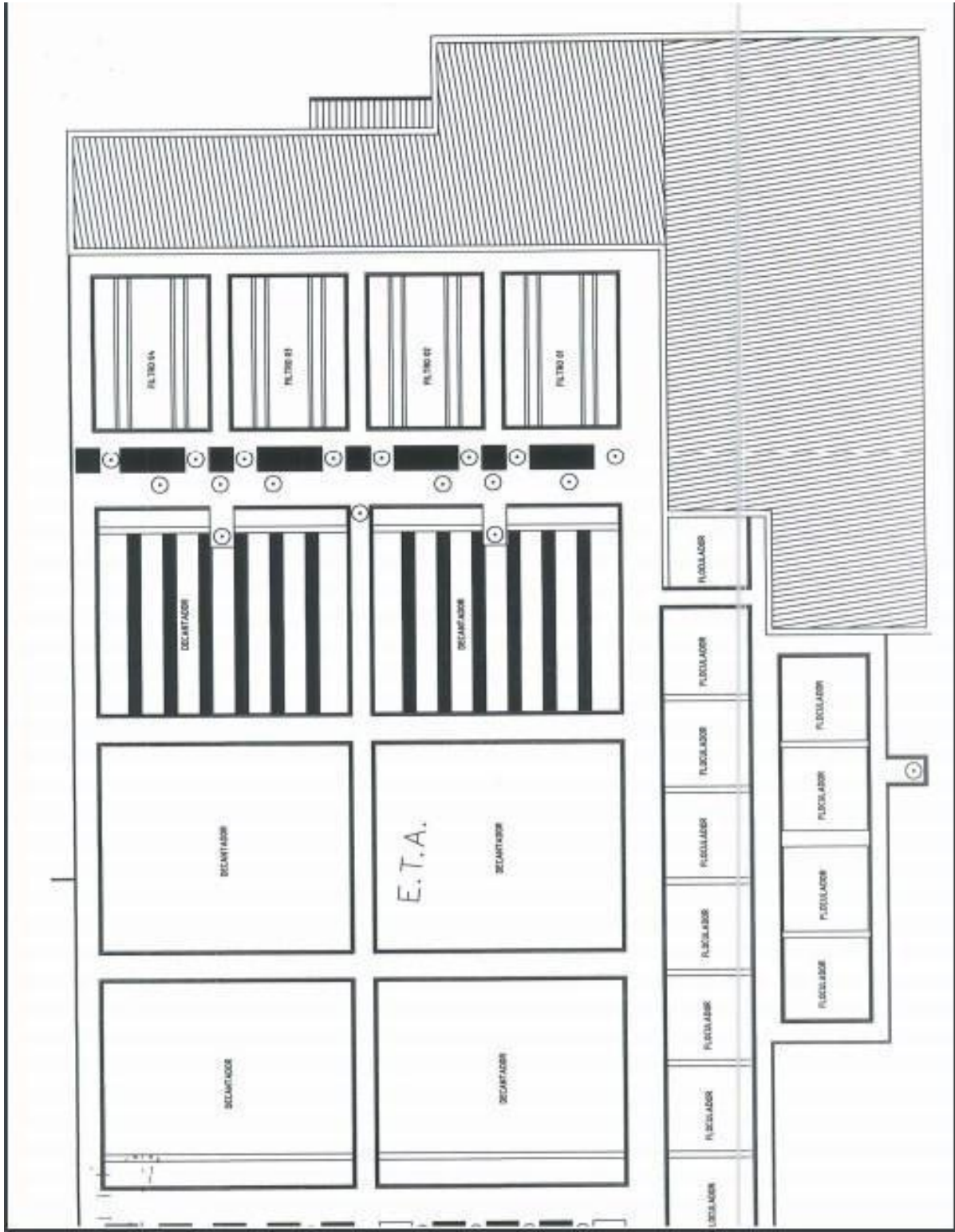
Sem mais para o momento, colocamo-nos à disposição para quaisquer esclarecimentos que se fizerem necessários.

Anexos:

- Localização de reservatórios;
- Planta Estação de Tratamento de Água de Caratinga – ETA.

Atenciosamente,

  
José Augusto Neves dos Reis  
Gerente do Distrito Regional Caratinga





RELAÇÃO DE RESERVATÓRIOS DOS SISTEMAS DO DTCA						
CIDADE / SISTEMA	RESERVATÓRIO	IDENTIFICAÇÃO	ENDEREÇO	RESERVAÇÃO M³	COORDENADAS	VOLUME TOTAL DE RESERVAÇÃO M³
CARATINGA	REN	R-01	ETA	1.300	-19.780142 -42.134833	7.837
	REN	R-02	ETA	1.300	-19.780112 -42.134710	
	REL	R-03	ETA	300	-19.779754 -42.134782	
	RAP	R-04	AMÉRICA	1.500	-19.786891 -42.144845	
	RAP	R-05	AMÉRICA	500	-19.792095 -42.150066	
	RAP	R-06	SANTA ZITA	300	-19.786775 -42.131852	
	RAP	R-07	SANTA ZITA	300	-19.779279 -42.146684	
	REL	R-08	SANTA ZITA	25	-19.779279 -42.146684	
	RAP	R-09	BOM PASTOR	800	-19.779279 -42.146684	
	RAP	R-10	BOM PASTOR	100	-19.779279 -42.146684	
	RAP	R-11	DOUTOR EDUARDO	200	-19.776653 -42.146347	
	REL	R-12	R. ARIELDES MARTINS	100	-19.794265 -42.142858	
	REL	R-13	R. SEBASTIANA MARIA JESUS	20	-19.800261 -42.145238	
	RAP	R-14	MONTE VERDE	50	-19.802513 -42.145012	
	REL	R-15	QUEROSENE	14	-19.797346 -42.151127	
	REL	R-16	ESCORPIÃO	14	-19.786408 -42.137572	
	REL	R-17	ESPLANADA	60	-19.779423 -42.134540	
	REL	R-18	ANTENA	14	-19.784938 -42.155365	
	RAP	R-19	BELVEDERE	30	-19.778432 -42.141785	
	REL	R-20	SANTO ANTONIO	14	-19.791326 -42.158254	
	RAP	R-21	SEMINARIO	5	-19.785271 -42.121463	
	REL	R-22	BAIRRO DAS GRAÇAS	15	-19.744475 -42.130406	
	RAP	R-23	MORADA LAGO	50	-19.772770 -42.145879	
	RAP	R-24	FAZENDA ITAUNA (Santa Zita)	15	-19.789040 -42.138066	
	RAP	R-25	BANDEIRANTES (Zacarias)	50	-19.772473 -42.125809	
	REL	R-26	JACI JUNQUEIRA	50	-19.784213 -42.138129	
	REL	R-27	IZALTIMO (Rebovaltas)	56	-19.794842 -42.134162	
	RAP	R-28	MOLINOS MARTA	60	-19.774429 -42.144310	
	REL	R-29	TACZYNHO VILELA (Conf. Habit.)	60	-19.789178 -42.151088	
	REL	R-30	TACZYNHO VILELA (Conf. Habit.)	60	-19.772473 -42.125809	
	REL	R-31	SILVA ARAUJO	50	-19.795218 -42.135322	
	REL	R-32	JARDINS LA VIE	75	-19.773976 -42.141860	