



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ DE ANCHIETA MARTINS JÚNIOR

**DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONSUMO E PERDAS DE ESTAÇÕES  
DE TRATAMENTO DE ÁGUA**

João Pessoa - PB

2020

JOSÉ DE ANCHIETA MARTINS JÚNIOR

**DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONSUMO E PERDAS DE ESTAÇÕES  
DE TRATAMENTO DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal da  
Paraíba - PB, como requisito parcial para a  
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Júnior

João Pessoa - PB

2020

## FICHA CATALOGRÁFICA

### Catálogo na publicação Seção de Catalogação e Classificação

M386d Martins Júnior, José de Anchieta.  
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONSUMO E PERDAS DE  
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA / José de Anchieta  
Martins Júnior. - João Pessoa, 2020.  
36 f. : il.

Orientação: Gilson Barbosa Athayde Júnior.  
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Coeficiente de consumo e perdas. 2. Cálculo de  
vazões em SAA. 3. Perdas de água. 4. Sistemas de  
abastecimento de água. I. Athayde Júnior, Gilson  
Barbosa. II. Título.

UFPB/BC

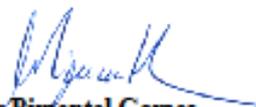
## FOLHA DE APROVAÇÃO

JOSÉ DE ANCHIETA MARTINS JÚNIOR

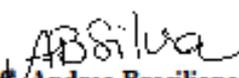
### DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONSUMO E PERDAS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Trabalho de conclusão de curso submetido em 06/04/2020 perante a seguinte comissão julgadora:

  
Prof. Gilson Barbosa Athayde Júnior Aprovado  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

  
Prof. Heber Pimentel Gomes Aprovado  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

  
Prof. Aline Flávia Nunes Remigio Antunes Aprovado  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

  
Prof. Andrea Brasiliano Silva  
Matrícula Siape: 1549557  
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

## DEDICATÓRIA

Aos meus pai e mãe, pelo apoio incondicional e amor sem limites; meus alicerces sem  
os quais eu nada seria.

*“Honra teu pai e tua mãe, a fim de que tenhas vida longa na terra que o Senhor, o teu Deus, te dá” (Êxodo 20:12)*

*"Se não houver frutos, valeu a beleza das flores; se não houver flores, valeu a sombra das folhas; se não houver folhas, valeu a intenção da semente". (Henfil)*

## AGRADECIMENTOS

Toda glória e louvor seja dada ao nosso senhor Jesus Cristo, minha fonte inesgotável de inspiração e força para superar todas as inúmeras adversidades que se apresentam. Seguirei sempre leal a tua palavra pai.

A dona Josefa, avó querida que tenho perto de mim, e a Joaquim, Antônio e Geraldina (in memoriam). Sou muito grato a Deus por ter tido a oportunidade de crescer ouvindo seus ensinamentos.

Ao meu pai Anchieta, pelo exemplo de homem dedicado a família e perfeccionista em tudo que faz e a Margarida, minha mãe, por nortear meu viver e jamais me deixar desistir. És a flor que perfuma minha vida.

A minha companheira Maurília, pelo amor e paciência durante todos esses anos de luta.

A todos os meus professores pelos inúmeros conhecimentos transmitidos e pela experiência profissional partilhada.

Ao prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Júnior, pela confiança e orientação no trabalho.

Aos Professores Dr. Héber Pimentel Gomes e Dra. Aline Flávia Nunes Remígio Antunes pela participação na banca examinadora.

A companhia de saneamento responsável pelos sistemas analisados, por ter cedido os dados essenciais para a realização deste estudo.

## RESUMO

Dimensionar um sistema de abastecimento de água é uma tarefa bastante complexa, que demanda conhecimento e atenção do projetista acerca das diversas variáveis envolvidas no processo. Entre estas, o coeficiente de consumo e de perdas, previsto nas fórmulas de determinação das vazões de projeto, assume grande importância, pois contabiliza o consumo hídrico essencial à realização do tratamento de água, além das perdas físicas existentes nas ETAs. Diante disto, este trabalho objetiva determinar um coeficiente de consumo e perdas baseado na análise de vazões em duas ETAs de diferentes características, haja vista que a metodologia presente na literatura apenas estima esse valor de forma empírica pela experiência prática dos autores. Os resultados obtidos evidenciam que os valores empregados de 3 a 15%, são bem inferiores aos verificados na prática, 12,27 e 26,54% para uma ETA convencional e uma compacta, respectivamente. Este fato contribui diretamente para a ineficiência dos sistemas em ofertar água para a população a ser atendida, principalmente quando se aproximam do período final para os quais foram concebidos. Percebe-se assim que os valores sugeridos precisam ser revistos para melhor previsão da vazão de dimensionamento e que as companhias de saneamento devem implementar sistemas de reaproveitamento de água para minimizar os impactos econômicos e ambientais que os desperdícios causam.

**Palavras-chave:** Coeficiente de consumo e perdas. Cálculo de vazões em SAA. Perdas de água. Sistemas de abastecimento de água.

## ABSTRACT

Dimensioning a water supply system is a very complex task, which requires knowledge and attention from the designer about the various variables involved in the process. Among these, the consumption and loss coefficient, provided for in the formulas for determining project flows, assumes great importance since it accounts for the essential water consumption for carrying out water treatment in addition to the physical losses existing in the ETAs. In view of this, this work aims to determine a consumption and loss coefficient based on the flow analysis in two ETAs of different characteristics, considering that the methodology present in the literature only estimates this value empirically by the authors' practical experience. The results obtained showed that the values used from 3 to 15%, are much lower than those verified in practice, 12.27 and 26.54% for a conventional and a compact ETA respectively. This fact directly contributes to the inefficiency of the systems in offering water to the population to be served, especially when they approach the final period for which they were designed. It is clear that the suggested values need to be revised to better forecast the design flow and that sanitation companies should implement systems for reusing water to minimize the economic and environmental impacts that waste causes.

**Keywords:** Consumption and loss coefficient. Flow calculation in SAA. Water losses. Water supply systems.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Técnicas mais usuais de Tratamento de Água.....	20
Figura 2 - Exemplo de estação de tratamento de água convencional ou ciclo completo .....	21
Figura 3 - Esquema de ETA compacta de dupla filtração.....	22
Figura 4 - Medidor eletromagnético tipo 1 (ETA A) .....	28
Figura 5 - Medidor eletromagnético tipo 2 (ETA B).....	28

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Vazão de captação, estação elevatória e adutora até a ETA (Inclusive) .....	23
Equação 2 - Vazão da ETA até o reservatório.....	23
Equação 3 - Vazão do reservatório até a rede .....	23

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Coeficiente de consumo e perdas mensal da ETA A em 2018 .....	30
Gráfico 2 - Coeficiente de consumo e perdas mensal da ETA A em 2019 .....	30
Gráfico 3 - Coeficiente de consumo e perdas mensal da ETA B em 2018 .....	31
Gráfico 4 - Coeficiente de consumo e perdas mensal da ETA B em 2019 .....	32

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Volumes acumulados mensais de entrada e saída da ETA A e percentuais de consumo e perdas associados em 2018 .....	29
Tabela 2 - Volumes acumulados mensais de entrada e saída da ETA A e percentuais de consumo e perdas associados em 2019 .....	29
Tabela 3 - Volumes acumulados mensais de Entrada e Saída da ETA B e percentuais de consumo e perdas associados em 2018 .....	31
Tabela 4 - Volumes acumulados mensais de Entrada e Saída da ETA B e percentuais de consumo e perdas associados em 2019 .....	31
Tabela 5 - Média e mediana dos coeficientes de consumo e perdas das ETAs pesquisadas...	32

## LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ceta	Consumo de água na Estação de Tratamento
ddp	Diferença de potencial
DN	Diâmetro nominal
ETA	Estação de Tratamento de Água
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
mm	Milímetro
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
WWAP da Água)	World Water Assessment Programme (Programa mundial de Avaliação

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
2	<b>OBJETIVOS</b> .....	17
2.1	OBJETIVO GERAL .....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
3	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
3.1	SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....	18
3.2	ELEMENTOS DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	18
3.3	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA).....	19
3.3.1	<b>Estações de tratamento de água convencionais ou de ciclo completo</b> .....	19
3.3.2	<b>Estações de tratamento de água compacta de dupla filtração</b> .....	21
3.4	VAZÕES DE DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA .....	22
3.5	CONSUMO E PERDAS DE ÁGUA EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO .....	24
4	<b>METODOLOGIA</b> .....	26
4.1	IDENTIFICAÇÃO E BREVE DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS ANALISADOS. 26	
4.1.1	<b>ETA A</b> .....	26
4.1.2	<b>ETA B</b> .....	27
4.2	EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO .....	27
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	29
5.1	RESULTADOS DA ETA A .....	29
5.2	RESULTADOS DA ETA B .....	30
5.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE O COEFICIENTE DE CONSUMO E PERDAS...32	
6	<b>CONCLUSÕES</b> .....	34
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	35

## 1 INTRODUÇÃO

A água é o recurso natural mais importante para os seres vivos e fomenta o desenvolvimento humano desde os primórdios da sua existência. A alocação humana em determinadas regiões sempre foi condicionada à existência desse líquido e com o advento das sociedades contemporâneas, meios racionais de consumo e tratamento tornam-se cada vez mais necessários. A urgência em garantir minimamente o fornecimento deste insumo às populações é um dos grandes desafios globais vindouros haja vista o preocupante cenário exposto pela UNESCO que três entre cada dez pessoas não têm acesso a água potável segura (WWAP, 2019, p. 2).

A potabilização das águas efetuada de uma forma adequada possui vantagens estratégicas de cunho econômico e social. "Estima-se que no período de 2016 a 2036 serão investidos R\$ 395,582 bilhões na universalização do saneamento no Brasil, que trarão em todo o país um retorno R\$ 1,521 trilhão no período, indicando um balanço social bastante promissor para o país" (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2018). Como ganhos sociais, TSUTIYA (2006) destaca que "O tratamento da água traz enormes benefícios à população em todos os estratos sociais, ao proporcionar as mesmas oportunidades de higiene, conforto e bem estar".

Neste contexto, fica evidenciada a necessidade de criação de novos complexos e a otimização dos já existentes, em que o líquido proveniente de corpos d'água sem tratamento possa ser adequadamente tratado para que se adeque aos padrões de potabilidade mínimos exigidos para o consumo. Tais complexos denominam-se Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) e suas concepções apresentam um espectro bem mais amplo, compreendendo dessa forma "Um conjunto de estudos e conclusões referentes ao estabelecimento de todas as diretrizes, parâmetros e definições necessárias e suficientes para a caracterização completa do sistema a projetar" (TSUTIYA, 2006).

Segundo (GOMES, 2009) "Os sistemas de Abastecimento Urbano de Água são compostos, de maneira geral, pelas unidades de captação, tratamento, estação elevatória, adução, reservatórios, rede de distribuição e ligações prediais". Ao dimensionar tais unidades, o projetista deve fazer uma análise criteriosa de todas as variáveis envolvidas no processo, pois um possível subdimensionamento pode acometer o seu funcionamento e fornecer vazões insuficientes para a população a ser abastecida, sobretudo no fim de plano. Por outro lado, um superdimensionamento causa danos ao erário público visto que maiores vazões demandam equipamentos mais robustos, encarecendo assim a sua implantação.

Dentre os inúmeros fatores a serem observados nos cálculos supracitados, a quantidade de água a ser dispendida na operação da ETA em lavagem de filtros e decantadores ganha destaque por representar uma parcela bastante significativa do total demandado pelo processo.

Segundo (MACKA et al., 2004 **apud SILVA, 2007**) "Essas perdas estão associadas aos volumes operacionais gastos no processo de tratamento e lançados no corpo receptor, sem reaproveitamento, volumes operacionais excedentes àquele estritamente necessário à boa operação da ETA e volumes devidos a vazamentos".

A vazão da captação, estação elevatória, adutora e estação de tratamento são acrescidas desse valor, que geralmente é citado na literatura como de 1 a 5% do volume tratado (TSUTIYA, 2006). Este percentual pode variar bastante entre ETAs, conforme o nível operacional e outras peculiaridades inerentes a cada estação. Conforme as condições das instalações e a eficiência operacional, os percentuais de perdas de água em ETAs podem variar de 2 a 10% (Brasil, 2004b). Sendo assim, computando-se o consumo de água na ETA e as perdas que ocorrem na mesma, vislumbra-se que esse percentual possa variar de 3 (1+ 2) a 15 % (5 +10).

Desse modo, a definição de um coeficiente de consumo e perdas mais condizente com a prática tornou-se o princípio motivador deste trabalho, que pretende utilizar dados de vazões de entrada e saída macromedidos em Estações de Tratamento de Água para recomendar valores representativos da realidade brasileira.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar o coeficiente de consumo e perdas para duas ETAs no processo de tratamento de água para fins de comparação com os valores presentes na bibliografia.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar o volume de água dispendido em Estações de Tratamento de portes distintos por verificação da diferença entre valores cumulativos de vazões.
- Observar possíveis fatores geradores de discrepâncias entre o coeficiente de consumo e perdas teórico e os percentuais observados na prática.
- Propor melhorias nas Estações de tratamento de modo a reduzir as perdas físicas e operacionais.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Compreende-se como Sistema de Abastecimento de Água o "conjunto de equipamentos, obras e serviços voltados para o suprimento de água a comunidades para fins de consumo doméstico, industrial e público". (GOMES, 2009). Tais instalações objetivam fornecer água com a qualidade, quantidade e regularidade necessárias para o atendimento das demandas dos usuários de acordo com os padrões exigidos para a proteção da saúde pública (PEREIRA; CONDURÚ, 2014).

Dado o caráter industrial desse sistema, onde a produção de água potável é o objetivo buscado, a análise integrada das diversas partes que o compõe é fator preponderante para a otimização do processo. Contudo, seus diversos componentes apresentam singularidades que divergem entre si e necessitam de uma análise criteriosa, pois influenciam diretamente nos gastos de implementação e operação.

#### 3.2 ELEMENTOS DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Os principais elementos que compõem um SAA são o manancial, captação, estação elevatória, adutora, estação de tratamento de água, reservatório e rede de distribuição (TSUTIYA, 2006). Uma forma de agrupar esses componentes de modo bastante elucidativo foi proposto por (PEREIRA; CONDURÚ, 2014). Segundo os autores:

- Grupo de Obtenção - Tem por finalidade a extração e o transporte da matéria-prima do manancial até a primeira unidade do grupo de processamento, sendo constituído basicamente pelas unidades de captação, elevação e adução de água bruta.
- Grupo de Processamento - objetiva converter a água bruta (sem tratamento) em produto (água tratada) com todas as exigências sociais e normativas atendidas. É constituído pelas unidades de tratamento, reservação, elevação e adução de água tratada.
- Grupo de distribuição - Possibilita realizar a entrega do produto aos clientes da área de atendimento contemplada pelo SAA. Compreende as unidades de reservação, elevação e distribuição de água tratada.

Pode-se afirmar então que a intenção maior de um sistema de abastecimento de água é disponibilizar o líquido em condições sanitárias adequadas aos usuários, sem interrupções e com volume suficiente para a plena realização das atividades a que se destine.

### 3.3 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA)

De todos os elementos citados, um tem importância estratégica para o projetista ao planejar um sistema de abastecimento de água público. Trata-se da Estação de Tratamento de Água (ETA), que é o conjunto de unidades destinadas a purificar a água de modo a adequar as suas características aos padrões de potabilidade (TSUTIYA, 2006). Suas instalações e equipamentos seguem procedimentos sequenciais bem estabelecidos, com etapas operacionais distintas e interligadas. Destacam-se principalmente nesse processo as etapas de micro peneiramento, oxidação, aeração, adsorção, coagulação, floculação, sedimentação, decantação, filtração e desinfecção, sendo que em determinadas ETAs alguns desses processos podem vir a ser substituídos por outros equivalentes de modo a otimizar seu funcionamento ou mesmo ser dispensados devido as características locais dos mananciais (HELLER; PÁDUA, 2006, com adaptações).

Na fase de idealização desta instalação, uma compreensão mais ampla acerca das inúmeras variáveis que influenciam o dimensionamento dos componentes se faz necessária. Pereira e Condurú (2014) afirmam que "no projeto da ETA é preciso considerar a tecnologia de tratamento, a rotina de limpeza das unidades e a qualidade pretendida para a água final pois esses fatores contribuem para o consumo e a despesa de energia elétrica".

Quanto ao porte, a diferença existente entre uma estação grande e uma pequena não reside apenas no efeito de escala, mas há muitas outras diferenças decorrentes de aspectos técnicos, de condições econômicas e de recursos operacionais justificados pela magnitude dos investimentos (RITCHER; AZEVEDO NETTO, 1991).

#### 3.3.1 Estações de tratamento de água convencionais ou de ciclo completo

No ano de 2008 o Brasil tinha 6040 ETAs em operação, valor este que correspondeu a um aumento de pouco mais de 32% se comparado às 4560 registradas no ano de 2000 (PNSB..., 2010). As técnicas de tratamento utilizadas pelas mesmas são esclarecidas por

(HELLER; PÁDUA, 2006, p. 549) em "destacam-se no Brasil aquelas denominadas tratamento convencional (ou de ciclo completo) e a filtração direta, embora outras, como a filtração lenta, a flotação e a filtração por membranas também sejam utilizadas ainda que em menor número".

O esquema abaixo aclara a análise acerca da tipologia de ETA empregada em função das fases de tratamento existentes:

Figura 1 - Técnicas mais usuais de Tratamento de Água

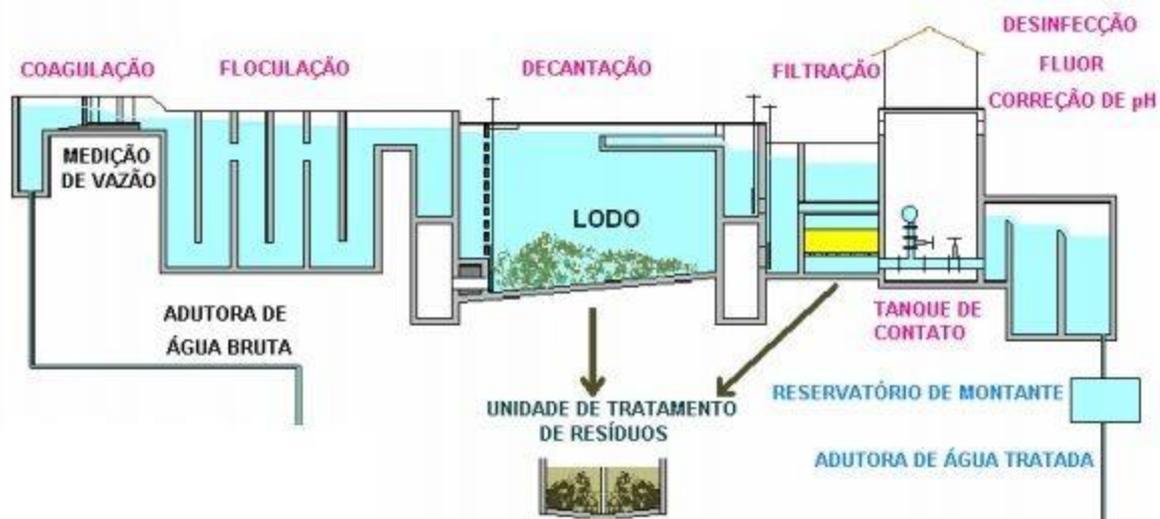


Fonte: Extraído de Heller e Pádua (2006, p. 550)

É importante salientar que em todos os processos listados, a etapa de desinfecção constitui a sua fase final. Nela micro-organismos patogênicos como bactérias, protozoários, vírus e algas serão removidos por agentes saneantes como Ozônio, radiação ultravioleta e Cloro, sendo este último o mais largamente utilizado por apresentar vantagens no seu custo e aplicação (SILVA, 2007). Contudo, Di Bernardo, Dantas e Voltan (2017) alertam para o caráter seletivo desse processo, pois nem todos os seres vivos presentes na água serão extintos tampouco os organismos nocivos serão completamente eliminados.

Os elementos constitutivos de uma ETA convencional e os insumos a ser aplicados no tratamento devem ser dimensionados segundo metodologias expressas na NBR 12216/1992 pois uma série de variáveis devem ser levadas em consideração. A figura abaixo apresenta um modelo de Estação de tratamento de água e sua configuração varia conforme o local onde é instalada.

Figura 2 - Exemplo de estação de tratamento de água convencional ou ciclo completo



Fonte: Costa (2003)

### 3.3.2 Estações de tratamento de água compacta de dupla filtração

Sistema de tratamento caracterizado pela existência de filtros pressurizados podendo ser em PVC ou metálicos e rápida mistura entre o coagulante e a água bruta sem que para esta etapa se faça necessário a existência de floculadores. Outra característica peculiar desse sistema é o favorecimento da acumulação de lodo suspenso entre as camadas de partículas com diferentes granulometrias, particularidade esta que exerce um papel essencial na clarificação da água a ser tratada.

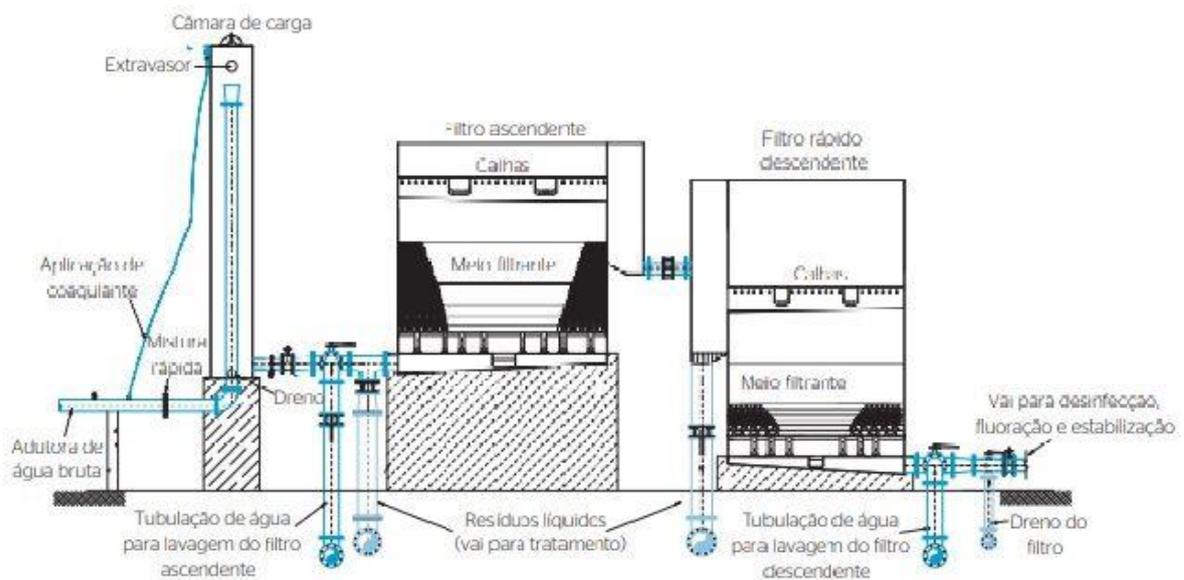
No processo de tratamento, a água bruta recebe o coagulante e é encaminhada seguidamente à câmara de carga de cada filtro ascendente. O efluente dessa câmara entra pelo fundo do filtro ascendente para remover parte das impurezas contidas. A água pré-filtrada é coletada e encaminhada ao filtro rápido descendente (FRD), responsável por retirar as impurezas remanescentes. Por fim, a água filtrada é conduzida às unidades seguintes para desinfecção, fluoretação e estabilização (SABOGAL-PAZ et al., 2015, p. 525).

A lavagem dos filtros é feita através da aplicação de água potável no sentido contrário ao fluxo usual de tratamento, processo esse que desprende boa parte dos sedimentos que haviam ficado retidos nos poros das camadas do leito filtrante, de modo a desobstruí-lo e evitar a sua completa saturação.

As características desse sistema o fazem ser indicado para vazões menores e segundo Di Bernardo e Sabogal Paz (2008) "essa tecnologia se mostra vantajosa quando a água bruta tem valores altos de densidade de algas, cor verdadeira, turbidez e coliformes".

A Figura 3 apresenta um modelo de ETA compacta com dupla filtração e sua configuração pode variar conforme as peculiaridades do local onde a mesma será instalada.

Figura 3 - Esquema de ETA compacta de dupla filtração



Fonte: Sabogal-Paz et al. (2015, p. 526)

### 3.4 VAZÕES DE DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Uma metodologia de dimensionamento amplamente difundida no meio acadêmico e presente nas obras tidas como referência da área aborda uma série de considerações e variáveis que devem ser analisadas criteriosamente seguindo as especificações e peculiaridades de cada projeto. Dentre estas, destaca-se a determinação das vazões de dimensionamento das partes integrantes do sistema, haja vista que as mesmas são essenciais para a correta concepção e alocação dos seus elementos constituintes.

Essas vazões supracitadas são obtidas segundo o componente específico do sistema a que se destina e sua marcha de cálculo segue uma sequência de fórmulas como as propostas por TSUTIYA (2006, p. 64). São elas:

Equação 1 - Vazão de captação, estação elevatória e adutora até a ETA (Inclusive)

$$Q_1 = \left( \frac{K_1 * P * q}{86400} + Q_{esp} \right) * C_{ETA}$$

Fonte: TSUTIYA (2006, p. 64)

Equação 2 - Vazão da ETA até o reservatório

$$Q_2 = \left( \frac{K_1 * P * q}{86400} \right) + Q_{esp}$$

Fonte: TSUTIYA (2006, p. 46)

Equação 3 - Vazão do reservatório até a rede

$$Q_3 = \frac{K_1 * K_2 * P * q}{86400} + Q_{esp}$$

Fonte: TSUTIYA (2006, p. 64)

onde: P = População no fim de plano  
 q = Consumo per capita de água  
 K<sub>1</sub> = Coeficiente do dia de maior consumo  
 K<sub>2</sub> = Coeficiente da hora de maior consumo  
 Q<sub>esp</sub> = Vazão específica  
 C<sub>ETA</sub> = Consumo na ETA

Neste trabalho, o C<sub>ETA</sub> será considerado como a soma dos volumes gastos na limpeza bem como aqueles referentes às perdas propriamente ditas.

Com exceção do coeficiente supracitado, todas as demais variáveis apresentam métodos de determinação bem elucidativos, seja através de formulações estatísticas, verificações experimentais ou consulta a tabelas expressas em normas específicas. A demanda de água na

ETA se mostra uma ressalva devido a ausência de diretrizes consistentes para a sua definição. Essa carência se evidencia até nas normas técnicas que direcionam a prática da engenharia, uma vez que (ABNT..., 1992, p. 4) cita apenas que "Os valores adotados para o dimensionamento do sistema de abastecimento devem ser baseados em condições locais" e nenhuma estimativa percentual de fato é apresentada, restando ao projetista utilizar-se de dados empíricos encontrados na literatura que podem não expressar as reais condições de operação a que seu sistema será submetido.

### 3.5 CONSUMO E PERDAS DE ÁGUA EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO

Em todas as etapas do tratamento, parte da própria água potável produzida pelo sistema é consumida no processo. Esse recurso é convertido em água de serviço, sendo utilizada na preparação e dosagem de produtos químicos, na manutenção das unidades e na retrolavagem de filtros (PEREIRA; CONDURÚ, 2014). TSUTIYA (2006) estima que "A estação de tratamento de água geralmente consome cerca de 1 a 5% do volume tratado para lavagem dos filtros" mas em toda a literatura pesquisada nada foi encontrado que pudesse precisar esses termos percentuais. Parsekian (1998) inclusive reitera essa deficiência de informações ao relatar que essa taxa de volume utilizado é, dificilmente medida, até pelas empresas responsáveis pelo abastecimento.

No processo de filtração, as partículas sólidas em suspensão que não ficaram retidas nos decantadores vão se depositando no leito filtrante e obstruindo seus poros, aumentando consideravelmente sua perda de carga e inviabilizando o fluxo de passagem. Esse cenário exige que água tratada seja introduzida sob pressão no sentido contrário ao fluxo de trabalho do filtro, com velocidade tal que promova a expansão do meio filtrante e crie forças cisalhantes superiores as forças de adesão que mantêm as partículas aderidas aos grãos do meio filtrante (HELLER; PÁDUA, 2006). Quanto a periodicidade dessa ação, Pereira e Condurú (2014) esclarecem que "a retrolavagem de cada filtro é realizada em períodos entre 18 a 30 horas" e sua duração depende da granulometria do material empregado e da temperatura da água sendo efetuada geralmente de 3,5 a 5,5 minutos com uma vazão inicial menor (RITCHER; AZEVEDO NETTO, 1991). A operação de lavagem dos filtros envolve questões relativas a quantidade de água utilizada, perdas operacionais, recuperação de água e possíveis impactos na descarga direta dos mesmos em cursos d'água (PARSEKIAN, 1998).

As diversas partes que compõem um Sistema de abastecimento humano inevitavelmente ocasionarão perdas hídricas no cumprimento de suas finalidades. Contudo, se a ETA for projetada, construída e operada corretamente, isso tende a ser minimizado.

Conforme as condições das instalações e a eficiência operacional das ETAs, os percentuais de perdas de água podem variar de 2 a 10% (Brasil, 2004b). Nesse contexto, é importante destacar que essas perdas não se confundem com a água estritamente necessária a realização da retro lavagem dos filtros e decantadores pois tal volume é essencial nesse processo. Os motivos geradores desse dado podem ser trincas e problemas na impermeabilização ou na estrutura das instalações físicas da ETAs (PEREIRA; CONDURÚ, 2014) como também "volumes utilizados de forma inadequada na operação de tais unidades, gerando consumo superiores ao estritamente necessário" (HELLER; PÁDUA, 2006). A prática de manutenção corretiva, adotada por muitas companhias de saneamento, também gera muito desperdício uma vez que peças são reparadas ou substituídas somente quando estão em fase de deterioração avançada, acarretando muitas vezes em vazamentos significativos.

Através da análise do volume de água potável utilizado em uma ETA, Silva (2007) estimou um  $C_{ETA}$  de 2,14% sendo este a somatória da água de lavagem dos filtros, decantadores e floculadores com as perdas físicas da própria estação de tratamento. No entanto, a autora reitera que esses valores sofrem alterações conforme a época do ano, pois variações sazonais demandam uma modificação no número de operações de limpeza dos elementos filtrantes, bem como a inexistência de equipamentos que indiquem o final do procedimento de retro lavagem, ficando este a critério da sensibilidade do operador pela percepção visual.

Neste contexto, este trabalho reitera a necessidade de uma análise criteriosa acerca do volume de água dispendido nas ETAs ( $C_{ETA}$ ) visando a obtenção de valores representativos para esta variável.

## 4 METODOLOGIA

O presente trabalho consistiu na análise de uma série diária de volumes afluentes e efluentes, durante os anos de 2018 e 2019, em duas ETAs de diferentes características, de modo a identificar a quantidade de água consumida e desperdiçada nas mesmas em termos percentuais. Essa informação foi obtida através da diferença entre o volume de água bruta que chega na ETA através da captação dos mananciais e toda a água potável recalçada para o reservatório elevado após finalizado o tratamento. Todos esses valores são informados diariamente pelos operadores das referidas estações a um centro de controle que os registra em planilhas eletrônicas para controle da produção e eventuais dados inconsistentes ou inexistentes foram excluídos do estudo.

Os dois sistemas analisados neste trabalho são gerenciados por uma companhia de abastecimento da região nordeste do Brasil e encontram-se em localidades geograficamente favorecidas por altas precipitações pluviométricas e boa disponibilidade hídrica.

### 4.1 IDENTIFICAÇÃO E BREVE DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS ANALISADOS

#### 4.1.1 ETA A

Trata-se de um sistema integrado que atende 8 municípios e 4 distritos com uma vazão de produção média de 230 l/s.

Sua operação iniciou-se em 2014 e o mesmo possui uma barragem de acumulação com capacidade estimada de 14.000.000 m<sup>3</sup>. Uma característica a salientar, é que este sistema é dotado de acionamento pneumático de válvulas e registros que o fazem ser uns dos sistemas mais modernos operados pela concessionária.

A ETA A foi projetada e construída segundo a concepção convencional ou de ciclo completo e é dotada das seguintes etapas operacionais: mistura rápida com sulfato de alumínio líquido como agente coagulante e pré-cloração aplicados em calha Parshall, floculação por meio de dois conjuntos paralelos de flocladores hidráulicos tipo chicana; sedimentação através de dois conjuntos paralelos de decantadores, filtração com 4 filtros descendentes de areia, cascalho e carvão ativado e desinfecção final com cloro gasoso.

Para a realização da pesquisa, a empresa responsável pela administração da ETA A forneceu dados cumulativos diários de vazões no período de 01/01/2018 a 15/12/2019. Alguns

desses dados inexisteram ou apresentaram inconsistências como medidores defeituosos ou erros de preenchimento, sendo estes desconsiderados nos cálculos realizados. A chegada de água bruta se dá por uma única tubulação e os 689 valores informados foram agrupados mensalmente de modo a se obter o volume acumulado mensal de entrada. Processos análogos foram realizados para as duas tubulações de saída existentes e o volume mensal de saída se deu pela soma destes valores a cada mês.

#### 4.1.2 ETA B

A ETA B atende cerca de 70% de um município do nordeste do Brasil. Este município é de pequeno porte e, segundo o (IBGE), tem população estimada em 18.018 habitantes para 2019. Seu sistema de tratamento foi implementado na década de 80 e segue o modelo compacto de dupla filtração, composto por dispersor hidráulico com injeção de coagulante na tubulação de entrada, dois flocculadores/decantadores pressurizados tipo manto de lodo com fluxo ascendente, dois filtros clarificadores de areia e desinfecção final com cloro. A oferta de água por ele gerada é da ordem de 15 l/s, sendo menor que a vazão da ETA A.

A companhia de abastecimento responsável informou dados de vazões obtidos diariamente de 01/01/2018 a 15/12/2019, mas os meses de fevereiro/2018 e fevereiro, junho e agosto de 2019 tiveram que ser excluídos pois o macromedidor de entrada forneceu informações inconsistentes. Por fim, 564 valores de entrada e igual quantidade de saída foram organizados mensalmente de forma a se obter o percentual de consumo e perdas.

#### 4.2 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

As leituras cumulativas de vazão são observadas em equipamentos denominados macromedidores eletromagnéticos. (TSUTIYA, 2006, p. 215) explica seu funcionamento ao dizer que "Quando um fluido é imerso em um campo magnético há a indução de corrente e conseqüentemente uma diferença de potencial, essa ddp é proporcional à velocidade do escoamento que atravessa esse campo". Conhecida assim essa velocidade do fluxo, pode-se determinar a vazão instantânea e contabilizar o volume de água que percorre a tubulação ao longo do tempo.

Os modelos de macromedidores são os mais diversos nas estações de tratamento pesquisadas, mas para fins de ilustração, dois modelos adotados pela companhia são mostrados nas Figuras 4 e 5.

Figura 4 - Medidor eletromagnético tipo 1 (ETA A)



Fonte: O autor (2020)

Figura 5 - Medidor eletromagnético tipo 2 (ETA B)



Fonte: O autor (2020)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A determinação de um coeficiente de consumo e perdas consistiu inicialmente na análise de dados de volumes cumulativos diários em duas ETAs de diferentes portes e métodos de tratamento. Esses dados contemplam o biênio 2018/2019 e foram dispostos mensalmente a fim de que eventuais variações pontuais fossem diluídas e pudessem oferecer uma real noção da oscilação existente entre esses intervalos temporais.

Uma das estações de tratamento avaliadas apresentou mais de um trecho adutor responsável por recalcar a água potável (saída), sendo necessário somar os valores informados para obter o volume total tratado da referida ETA. Diversas incoerências foram observadas durante a análise individual das informações, sejam elas por falha no preenchimento ou problemas no equipamento de medição e optou-se por excluí-las.

### 5.1 RESULTADOS DA ETA A

As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados do volume mensal acumulado macromedido para os anos de 2018 e 2019 além do percentual de consumo e perdas obtidos pela razão entre a diferença nos volumes de entrada e saída e os valores de entrada de água bruta.

Tabela 1 - Volumes acumulados mensais de entrada e saída da ETA A e percentuais de consumo e perdas associados em 2018

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Entrada água bruta	586923	520386	614625	427359	390352	485483	562031	555926	617781	735198	458514	658310
Saída Cidades	502341	443834	522222	353417	319991	401409	470981	463871	509685	601093	372511	545817
Saída Distritos	15274	13200	13782	13491	18372	18532	19163	19288	17588	18737	16350	18106
Total Saída	517615	457034	536004	366908	338363	419941	490144	483159	527273	619830	388861	563923
Percentual C <sub>eta</sub>	11,81%	12,17%	12,79%	14,15%	13,32%	13,50%	12,79%	13,09%	14,65%	15,69%	15,19%	14,34%

Tabela 2 - Volumes acumulados mensais de entrada e saída da ETA A e percentuais de consumo e perdas associados em 2019

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Entrada água bruta	663503	567750	593289	541976	566845	501349	507692	514879	498370	529863	484051	238417
Saída Cidades	549242	470850	500578	453954	473503	419664	420746	444692	438426	466340	445797	221371
Saída Distritos	18782	16275	18860	14876	17322	17251	15159	16598	16041	17684	16566	8332
Total Saída	568024	487125	519438	468830	490825	436915	435905	461290	454467	484024	462363	229703
Percentual C <sub>eta</sub>	14,39%	14,20%	12,45%	13,50%	13,41%	12,85%	14,14%	10,41%	8,81%	8,65%	4,48%	3,65%

Os Gráficos 1 e 2 ilustram as informações obtidas e possibilitam a visualização das variações mensais do coeficiente de consumo e perdas.

Gráfico 1 – Coeficiente de consumo e perdas mensal da ETA A em 2018

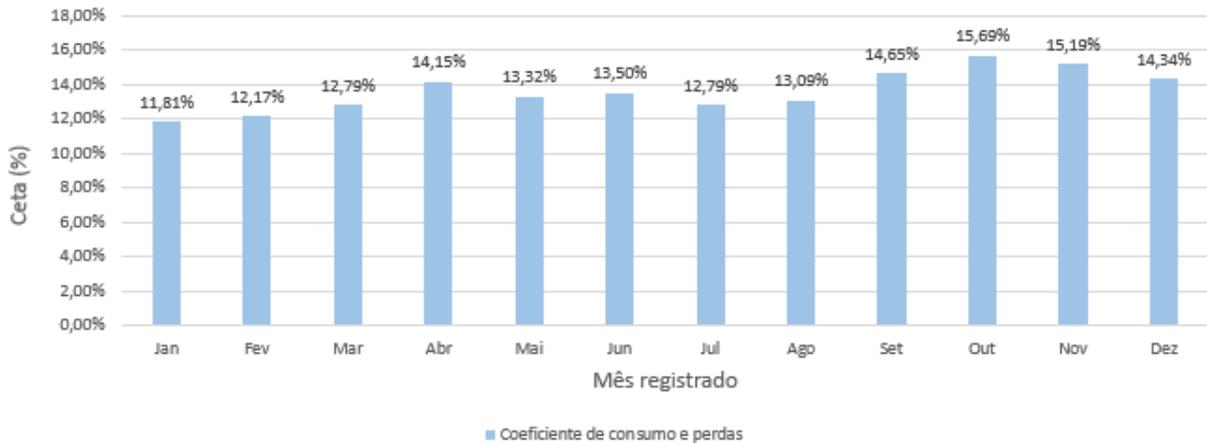
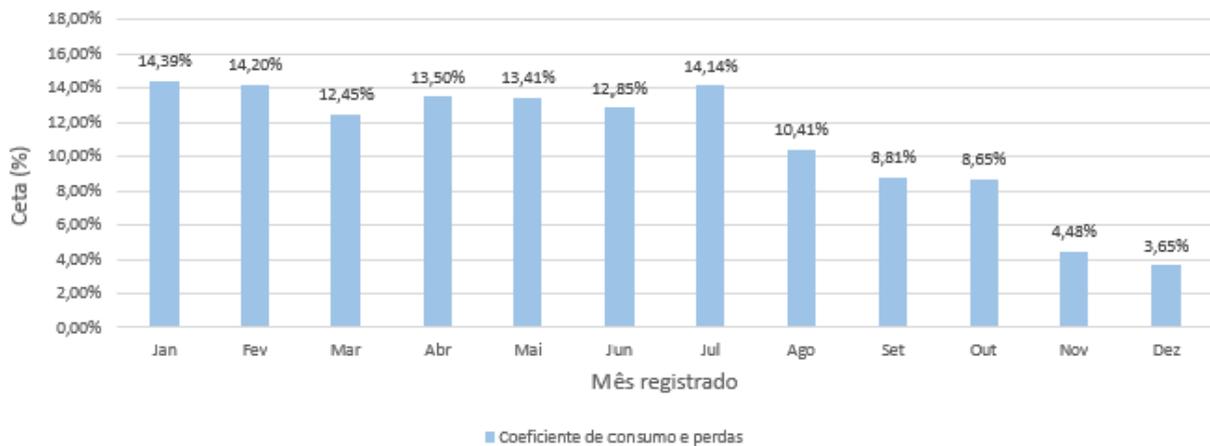


Gráfico 2 - Coeficiente de consumo e perdas mensal da ETA A em 2019



## 5.2 RESULTADOS DA ETA B

As Tabelas 3 e 4 apresentam os resultados obtidos para a ETA B através da análise dos volumes diários informados pela companhia de abastecimento durante os anos de 2018/2019. Vale salientar que os meses que não apresentam dados concisos foram devidamente descartados.

Tabela 3 - Volumes acumulados mensais de Entrada e Saída da ETA B e percentuais de consumo e perdas associados em 2018

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Entrada	26748		10284	23586	35953	37985	38999	40640	40721	45415	51087	50576
Saída	22210		9205	18840	22150	22279	30497	33229	34099	29573	32137	39565
Ceta	16,97%		10,49%	20,12%	38,39%	41,35%	21,80%	18,24%	16,26%	34,88%	37,09%	21,77%

Tabela 4 - Volumes acumulados mensais de Entrada e Saída da ETA B e percentuais de consumo e perdas associados em 2019

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Entrada	47815		41126	20230	40581		21796		27375	24609	25386	17195
Saída	31373		33775	17410	31459		19575		17314	16889	12605	11455
Ceta	34,39%		17,87%	13,94%	22,48%		10,19%		36,75%	31,37%	50,35%	33,38%

A partir dessas informações, elaborou-se os Gráficos 3 e 4 para elucidar a variação temporal do coeficiente de consumo e perdas para a ETA B.

Gráfico 3 - Coeficiente de consumo e perdas mensal da ETA B em 2018

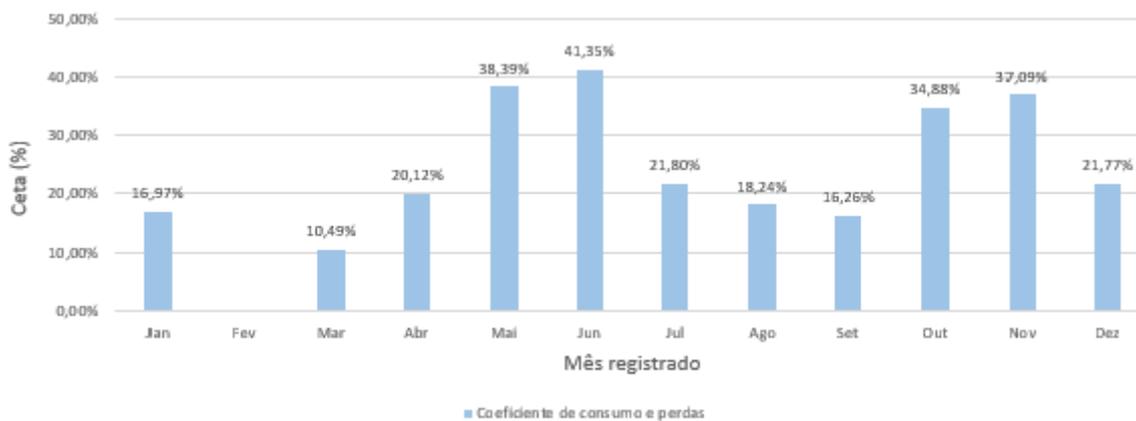
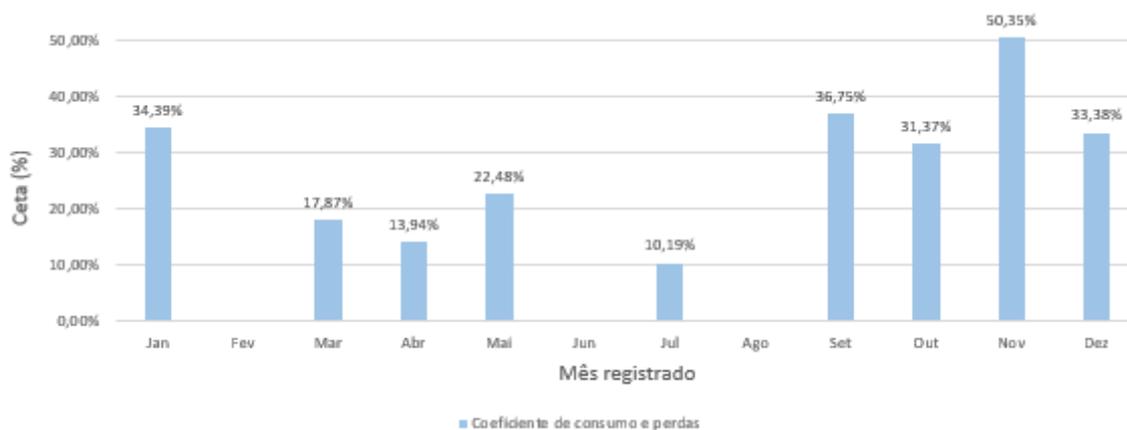


Gráfico 4 - Coeficiente de consumo e perdas mensal da ETA B em 2019



Por fim, determinou-se a média e a mediana desses dados para obter um valor representativo total para o coeficiente de consumo e perdas em estações de tratamento de água. Os valores finais obtidos estão apresentados na Tabela 5:

Tabela 5 - Média e mediana dos coeficientes de consumo e perdas das ETAs pesquisadas

	Ceta A	Ceta B
Média 2018	13,62%	25,22%
Média 2019	10,91%	27,86%
Média total	12,27%	26,54%
Mediana	13,20%	22,14%

### 5.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O COEFICIENTE DE CONSUMO E PERDAS

Percebe-se portanto, que o tipo de tratamento escolhido na idealização do sistema é uma variável a ser considerada logo na fase de determinação das vazões de captação, estação elevatória e adutora até a ETA, pois coeficientes de consumo e perdas subdimensionados podem comprometer a oferta de água do sistema, sobretudo no fim de plano para o qual foi projetado.

É extremamente necessário que as empresas de saneamento invistam na construção de sistemas de reaproveitamento de água e redução de perdas, pois os volumes dispendidos são vultosos e geram inúmeros prejuízos de caráter econômico e ambiental.

A discrepância existente entre os valores obtidos para o coeficiente pesquisado neste trabalho e na tese elaborada por (SILVA, 2007) sugere que o mesmo varia substancialmente conforme o sistema escrutinado. Diversos são os fatores que geram essa problemática e a

análise de um número maior de amostras, segundo a técnica de tratamento empregada, propiciaria valores ainda mais confiáveis.

LUSTOSA et al. (2016) obtiveram um coeficiente de consumo e de perdas médio de 8,2%, sendo este obtido através da análise de dados de uma estação de tratamento que segue o modelo de dupla filtração por um período de janeiro/2013 a setembro/2014. Esse percentual e sua significativa diferença em relação ao valor encontrado para a ETA B reforça o caráter variável desse coeficiente conforme o sistema analisado.

## 6 CONCLUSÕES

1. O coeficiente de consumo e perdas médio da ETA A de 12,27% encontrou-se dentro da faixa prevista de 3 a 15% confirmando as expectativas traçadas para ETAs que seguem o esquema de ciclo completo ou convencional.
2. O valor médio de 26,45% encontrado para a ETA B se mostrou bem acima da faixa, indicando que estações de tratamento que seguem o modelo compacto apresentam dinâmicas de lavagens de filtros distintas e demandam maior volume de água nesse processo.
3. Há uma necessidade latente de se adequar os valores sugeridos na literatura para a estimativa do coeficiente de consumo de ETA, de maneira que as perdas físicas sabidamente existentes nesse tipo de instalação possam ser contabilizadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216 - Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público**, Rio de Janeiro, 1992.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água: Documento Técnico de apoio: DTA A2. 2004b. Disponível em:  
[http://www.pmss.gov.br/downloads/biblioteca/pncda/dta/dta\\_a2\\_2003.zip](http://www.pmss.gov.br/downloads/biblioteca/pncda/dta/dta_a2_2003.zip). Acesso em: 18 nov. 2019.

COSTA, E.R.H. Otimização dos processos de coagulação e floculação (Apresentação). **Encontro Técnico da Copasa**, Belo Horizonte, 2003.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. B.; VOLTAN, P. E. N. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 3ª. ed. São Carlos: LDiBe Editora, 2017.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. São Carlos: LDIBE LTDA, 2008.

GOMES, Héber Pimentel. **Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias**. 3. ed. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2009. 277 p.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de . **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. 859 p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em:  
<https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 fev. 2020.

Instituto Trata Brasil. Benefícios econômicos e sociais da expansão do saneamento no Brasil. **EX ANTE CONSULTORIA ECONÔMICA**, São Paulo, novembro 2018.

LUSTOSA, J. B.; BRACARENSE, D. C.; CASTRO, F. M. S.; QUEIROZ, S. C. B.; SILVA, G. G. (2017). Tratamento e aproveitamento de água de lavagem de filtros em estação de tratamento de água. **Revista DAE**, edição 206, maio/2017. Pag. 44 a 61. São Paulo – SP.

PARSEKIAN, M.P.S. **Análise e proposta de formas de gerenciamento de estações de tratamento de água de abastecimento completo em cidades de porte médio do estado de São Paulo**. 1998. Dissertação - Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1998.

PEREIRA, J. A. R.; CONDURÚ, M. T. **ABASTECIMENTO DE ÁGUA: Informação para Eficiência Hidroenergética**. João Pessoa: Editora Universitária - UFPB, 2014. 127 p.

PNSB - PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO. Brasil, 2010. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45351.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2019.

RITCHER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **TRATAMENTO DE ÁGUA**: Tecnologia atualizada. São Paulo: Blucher, 1991.

SABOGAL-PAZ, L. P. et al. Avaliação técnico-econômica da tecnologia de tratamento de água de dupla filtração. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 20, n. 4, outubro 2015.

SILVA, Ofélia de Lira Carneiro. **Viabilidade técnica econômica, econômica e ambiental no reaproveitamento de água de lavagem de ETAs - estudo de caso: ETA Gravatá - Campina Grande/PB**. Campina Grande, f. 196, 2007. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de Água**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

WWAP. Relatório Mundial sobre o Desenvolvimento de Recursos Hídricos: Não deixar ninguém para trás. **Resumo executivo**, Genebra, 19 Mar 2019. Disponível em: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367303\\_por](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367303_por). Acesso em: 15 out. 2019.