



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

MATHEUS DA NÓBREGA BRAGA BARROSO

**APLICAÇÃO DE ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA *FUZZY* E ÍNDICE DE
CONFORMIDADE PARA VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS BRUTA E
TRATADA EM SISTEMAS NA BACIA DO SALGADO**

FORTALEZA

2018

MATHEUS DA NÓBREGA BRAGA BARROSO

APLICAÇÃO DE ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA *FUZZY* E ÍNDICE DE
CONFORMIDADE PARA VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS BRUTA E
TRATADA EM SISTEMAS NA BACIA DO SALGADO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B285a Barroso, Matheus da Nóbrega Braga.
Aplicação de Índice de Concordância Fuzzy e Índice de Conformidade para verificação da qualidade das águas bruta e tratada em sistemas na Bacia do Salgado / Matheus da Nóbrega Braga Barroso. – 2018.
64 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva.

1. Número Fuzzy Triangular. 2. Índice de Conformidade. 3. Concordância. 4. Água Bruta. 5. Água Tratada. I. Título.

CDD 628

MATHEUS DA NÓBREGA BRAGA BARROSO

APLICAÇÃO DE ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA *FUZZY* E ÍNDICE DE CONFORMIDADE PARA VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS BRUTA E TRATADA EM SISTEMAS NA BACIA DO SALGADO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovado em ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Anderson Borghetti Soares
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Me. Maria Patrícia Sales Castro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais.

Aos meus avós.

Aos meus tios.

À minha madrinha.

Ao Professor Fernando.

Ao Professor Anderson.

À Cida.

À Ingrid.

Aos amigos e colegas.

Ao Criador.

O homem tem muito para saber e pouco para viver; e não vive se não souber nada.

Baltasar Gracián y Morales (1601 – 1658)

RESUMO

Garantir água de qualidade para a população é de fundamental importância. Frequentemente, notam-se irregularidades nos padrões exigidos pelas normas. A falta de tratamento adequado, atrelada às falhas de garantia, estão ligadas à falta de monitoramento e previsão de desempenhos. A gestão hídrica, por meio do efetivo controle, principalmente dos sistemas de tratamento de água e redes de abastecimento de água, se faz de suma importância para garantir a qualidade da água tratada que chega nas casas, hospitais, indústrias, comércios, empresas e escolas. Ademais, além da importância do monitoramento e controle de água tratada, se faz importante colher dados e verificar o cumprimento das normas para água bruta, possuindo o objetivo de produzir informações que orientem os usuários na adequabilidade da água bruta aos múltiplos usos, promover a conservação da qualidade da água e prover informações que tornem possível prever a qualidade da água e subsidiar novos empreendimentos e usuários. Com o intuito de assegurar o eficaz cumprimento dos limites determinados por normas específicas, ferramentas de modelagem matemática podem ser utilizadas para prever ou constatar a ocorrência desse fenômeno sanitário e econômico. No presente trabalho, utilizou-se dois métodos matemáticos para averiguar a qualidade dos sistemas e açudes nos anos de estudo. O primeiro, Índice de Concordância *Fuzzy*, foi realizado pela implementação dos princípios da Lógica *Fuzzy* por meio do método Número *Fuzzy* Triangular (NFT), que despontou como um modelo viável, capaz de lidar com as incertezas e estudar a garantia das águas do estudo, sendo o NFT uma metodologia de simples e fácil interpretação, possuindo um baixo esforço computacional. O segundo, Índice de Conformidade, serviu para reforçar os resultados obtidos pelo NFT, demonstrando o grau de falha e intensidade dos dados coletados em relação aos seus valores máximos permitidos (VMPs). O estudo foi realizado por meio da análise de dados coletados para os parâmetros de Cloreto, Cloro Residual Livre, Coliformes Totais, Cor Aparente, Dureza Total, pH e Turbidez nas ETAs, redes e açudes dos municípios de Várzea Alegre, Altaneira e Cedro, constituintes da Bacia do Salgado, nos anos de 2015, 2016 e 2017. A partir dos resultados obtidos, foi-se observado uma boa garantia e conformidade, de forma geral, para os parâmetros de Cloreto, Cloro Residual Livre, Dureza Total e pH. Os parâmetros Coliformes Totais, Cor Aparente e Turbidez apresentaram baixa performance de qualidade. Os sistemas não apresentaram constância, variando, de ano para ano, a qualidade média ofertada, o que demonstra uma não regularidade no tratamento e monitoramento.

Palavras-chave: Garantia. Número *Fuzzy* Triangular. Índice de Conformidade. Concordância. Água Tratada. Água Bruta. Parâmetros.

ABSTRACT

Ensuring quality water for population is of fundamental importance. Frequently, irregularities are noted in the standards required by the regulations. The lack of appropriated treatment, attached to warranty failures, are linked to the lack of monitoring and prediction of performance. Water management, through effective control, mainly of water treatment systems and water supply networks, is extremely important to guarantee the quality of treated water that arrives at homes, hospitals, industries, businesses, companies and schools. Moreover, beyond the importance of monitoring and controlling treated water, it is important to collect data and check the compliance with raw water regulations, aiming to produce informations that guides users in the suitability of raw water for multiple uses, promote the conservation of water quality and provide informations that make it possible to predict water quality and to subsidize new ventures and users. In order to ensure the effective compliance of the limits determined by specific standards, mathematical modeling tools are used to predict or verify the occurrence of this sanitary and economic phenomenon. In the present work, two mathematical methods were used to ascertain the quality of the systems and dams in the years of study. The first, Fuzzy Concordance Index, was performed by the implementation of Fuzzy Logic principles using the Triangular Fuzzy Number (TFN) method, which emerged as a viable model, able to deal with the uncertainties and study the warranty of the waters in the study, being the TFN a methodology of simple and easy interpretation, possessing a low computational effort. The second, Compliance Index, served to support the results obtained by the NFT, demonstrating the rate of failure and intensity of the data collected in relation to it's limits. The study was carried out by analyzing data collected for the parameters of Chloride, Free Residual Chlorine, Total Coliforms, Apparent Color, Total Hardness, pH and Turbidity in water treatment plants, networks and dams of Várzea Alegre, Altaneira and Cedro municipalities, constituents of the Salgado's Basin, in the years 2015, 2016 and 2017. From the results obtained, a good guarantee and compliance, in general, was observed for the parameters of Chloride, Free Residual Chlorine, Total Hardness and pH. The parameters Total Coliforms, Apparent Color and Turbidity presented poor quality performance. The systems did not present constancy, varying from year to year, the average quality offered, which demonstrates a non-regularity in the treatment and monitoring.

Keywords: Warranty. Triangular Fuzzy Number. Compliance Index. Concordance. Treated Water. Raw Water. Parameters.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Divisão do consumo de água no Brasil.....	17
Figura 2 – Etapas do processo de tratamento de água convencional.....	23
Figura 3 – Distribuição e características das impurezas presentes nas águas.....	25
Figura 4 – Representação da Lógica <i>Fuzzy</i>	27
Figura 5 – Exemplos de representações de conjuntos <i>Fuzzy</i>	28
Figura 6 – Número <i>Fuzzy</i> Triangular em forma gráfica.....	29
Figura 7 – Bacia do Salgado, em destaque, junto às bacias hidrográficas do Ceará.....	33
Figura 8 – Número <i>Fuzzy</i> Triangular (NFT) formado entre um número difuso e o VMP, como número não difuso, para o cálculo do Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> (I_{CF}).....	35
Figura 9 – Número <i>Fuzzy</i> Triangular (NFT) formado entre números difusos e os VMP e VMIP, como números não difusos, para o cálculo do Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> (I_{CF}).....	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Divisão das classes de usos preponderantes pela Resolução CONAMA 357/05.....	20
Quadro 2 – Conteúdos encontrados na Portaria 2914/11 – MS.....	21
Quadro 3 – Processo de Clarificação e suas etapas.....	24
Quadro 4 – Processos de Desinfecção, Fluoretação e Correção de Acidez.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Tratada (2015)	40
Tabela 2: Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Tratada (2015) - Valores Médios	40
Tabela 3: Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Tratada (2016)	41
Tabela 4: Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Tratada (2016) - Valores Médios	41
Tabela 5: Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Tratada (2017)	42
Tabela 6: Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Tratada (2017) - Valores Médios	42
Tabela 7: Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Bruta (2015)	43
Tabela 8: Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Bruta (2015) - Valores Médios	43
Tabela 9: Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Bruta (2016)	44
Tabela 10: Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Bruta (2016) - Valores Médios	44
Tabela 11: Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Bruta (2017)	44
Tabela 12: Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Bruta (2017) - Valores Médios	45
Tabela 13: Índice de Conformidade por Grau de Falha para todos os sistemas e parâmetros (2015) – Água Tratada.....	46
Tabela 14: Interpretação dos Índices de Conformidade por Grau de Falha para todos os sistemas e parâmetros (2015) - Água Tratada	46
Tabela 15: Índice de Conformidade por Grau de falha para todos os sistemas e parâmetros (2016) – Água Tratada.....	47

Tabela 16: Interpretação dos Índices de Conformidade por Grau de Falha para todos os sistemas e parâmetros (2016) - Água Tratada	47
Tabela 17: Índice de Conformidade por Grau de falha para todos os sistemas e parâmetros (2017) - Água Tratada	48
Tabela 18: Interpretação dos Índices de Conformidade por Grau de Falha para todos os sistemas e parâmetros (2017) - Água Tratada	48
Tabela 19: Índice de Conformidade por Grau de falha para todos os sistemas e parâmetros (2015) - Água Bruta	49
Tabela 20: Média dos Índices de Conformidade por Grau de Falha para todos os sistemas e parâmetros (2015) - Água Bruta	49
Tabela 21: Índice de Conformidade por Grau de falha para todos os sistemas e parâmetros (2016) - Água Bruta	49
Tabela 22: Média dos Índices de Conformidade por Grau de Falha para todos os sistemas e parâmetros (2016) - Água Bruta	49
Tabela 23: Índice de Conformidade por Grau de falha para todos os sistemas e parâmetros (2017) - Água Bruta	50
Tabela 24: Média dos Índices de Conformidade por Grau de Falha para todos os sistemas e parâmetros (2017) - Água Bruta	50
Tabela 25: Índice de Conformidade por Fração de Máximo Permitido (2015) – Água Tratada.....	51
Tabela 26: Tabela 26: Interpretação dos Índices de Conformidade por Fração de Máximo Permitido para todos os sistemas e parâmetros (2015) - Água Tratada	51
Tabela 27: Índice de Conformidade por Fração de Máximo Permitido (2016) – Água Tratada.....	51
Tabela 28: Interpretação dos Índices de Conformidade por Fração de Máximo Permitido para todos os sistemas e parâmetros (2016) - Água Tratada	52
Tabela 29: Índice de Conformidade por Fração de Máximo Permitido (2017) - Água Tratada.....	52
Tabela 30: Interpretação dos Índices de Conformidade por Fração de Máximo Permitido para todos os sistemas e parâmetros (2017) - Água Tratada	52
Tabela 31: Índice de Conformidade por Fração de Máximo Permitido (2015) - Água Bruta	53
Tabela 32: Média dos Índices de Conformidade por Fração de Máximo Permitido para todos os sistemas e parâmetros (2015) - Água Bruta	53

Tabela 33: Índice de Conformidade por Fração de Máximo Permitido (2016) - Água Bruta	53
Tabela 34: Média dos Índices de Conformidade por Fração de Máximo Permitido para todos os sistemas e parâmetros (2016) - Água Bruta	54
Tabela 35: Índice de Conformidade por Fração de Máximo Permitido (2017) - Água Bruta	54
Tabela 36: Média dos Índices de Conformidade por Fração de Máximo Permitido para todos os sistemas e parâmetros (2017) - Água Bruta	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CAP	Cor Aparente
Cl ⁻	Cloreto
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
CRL	Cloro Residual Livre
CT	Coliformes Totais
DT	Dureza Total
ETA	Estação de Tratamento de Água
ICF	Índice de Concordância <i>Fuzzy</i>
ICONF	Índice de Conformidade
MS	Ministério da Saúde
mg/L	Miligrama por litro
NFT	Número <i>Fuzzy</i> Triangular
OMS	Organização Mundial da Saúde
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
Turb	Turbidez
VMP	Valor Máximo Permitido
VMIP	Valor Mínimo Permitido
uH	Unidade Hazen de Cor
uT	Unidade de Turbidez

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
<i>1.1 Considerações Iniciais</i>	18
<i>1.2 Motivações do Estudo</i>	19
<i>1.3 Objetivos</i>	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
<i>2.1. Qualidade da Água</i>	20
<i>2.2 Tratamento de Água</i>	23
<i>2.3 Importância do Controle da Qualidade da Água</i>	23
<i>2.4 Lógica Fuzzy (Lógica Dispersa ou Lógica Nebulosa)</i>	27
<i>2.5 Elemento Fuzzy</i>	29
<i>2.6 Número Fuzzy Triangular (NFT)</i>	29
<i>2.7 Análise de Garantia e Risco de Falha</i>	32
3 METODOLOGIA	33
<i>3.1 Área de Estudo</i>	33
<i>3.2 Parâmetros Analíticos de Monitoramento</i>	34
<i>3.3 Enfoque do Estudo</i>	35
<i>3.3.1 Índice de Concordância Fuzzy (ICF)</i>	35
<i>3.3.2 Índice de Conformidade (ICONF)</i>	37
<i>3.3.2.1 Índice de Conformidade por Grau de Falha</i>	38
<i>3.3.2.2 Índice de Conformidade por Fração de Máximo Permitido</i>	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
<i>4.1 Garantias</i>	39
<i>4.1.1 Resultados Garantia Índice de Concordância Fuzzy</i>	39
<i>4.1.2 Resultados Garantia Índice de Conformidade por Grau de Falha</i>	46
<i>4.1.3 Resultados Garantia Índice de Conformidade por Fração de Máximo Permitido</i>	57
5. CONCLUSÃO	57

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
7. ANEXOS.....	59

1. INTRODUÇÃO

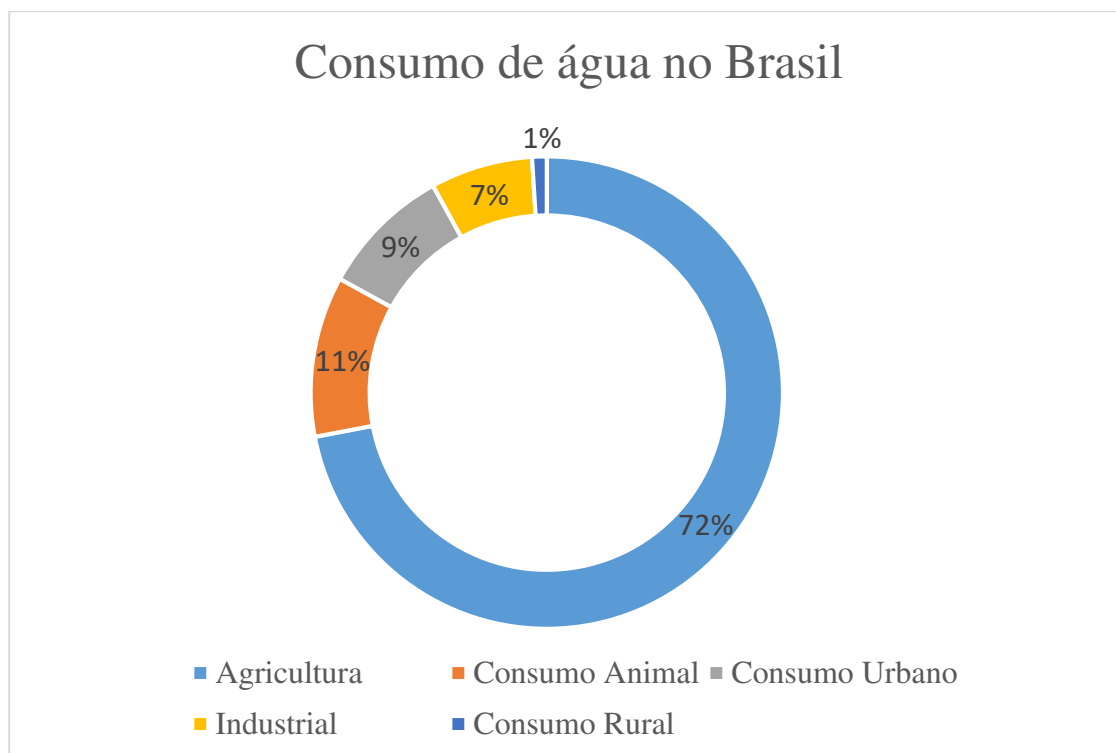
1.1. Considerações Iniciais

A água é de vital importância para os seres vivos sob o ponto de vista biológico. Todas as reações naturais envolvem, ou seja, utilizam ou produzem, direta ou indiretamente, o elemento hídrico. Em relação aos seres humanos, a água perfaz nove décimos do volume total do corpo humano e cerca de dois terços do seu peso médio (RUTKOWSKI, 1999).

A importância da água não está atrelada somente ao ponto de vista biológico, mas também cultural, sanitário e econômico para os seres humanos. No âmbito da cultura, podemos destacar a função fundamental da água no desenvolvimento de civilizações localizadas no Oriente Médio e litoral do Mediterrâneo Oriental devido às condições de fertilidades oferecidas, mediante terras áridas e vastos desertos, por grandes rios, tais como o Nilo, o Tigre, o Jordão e o Eufrates, sendo essas civilizações chamadas de “Civilizações Hidráulicas”.

Com o desenvolvimento econômico e advento tecnológico da sociedade, a utilização da água se deu de forma mais intensa e diversificada, atendendo às necessidades do mercado e de novas tecnologias. Contudo, quando realizada de forma inapropriada, essa maior diversidade multifinalitária para o uso da água gera modificações na qualidade da mesma, comprometendo os recursos hídricos e, conseqüentemente, seus usos para os mais diversos fins.

Toda forma de atividade do ser humano que modifique as condições naturais das águas é considerada um tipo de uso. Os tipos de uso podem ser classificados como uso consuntivo ou não consuntivo. Os usos consuntivos são aqueles que retiram água do manancial para sua destinação, como a irrigação, a utilização na indústria e o abastecimento humano, resultando em perdas entre o volume de água captado e o volume que retorna ao curso de água. Os usos não consuntivos, por outro lado, não envolvem o consumo direto da água. A geração de energia hidrelétrica, o lazer, a pesca e a navegação, são alguns exemplos, pois aproveitam o curso da água sem consumi-la, embora possam implicar em alteração no regime hidrológico ou na qualidade desses recursos. Os usos de água no Brasil são supervisionados pela ANA e são distribuídos conforme a Figura 1:

Figura 1 – Divisão do consumo de água no Brasil.

Fonte: ANA (2012). Adaptado pelo autor.

Nesse contexto de progresso da sociedade, somado aos fenômenos econômicos e tecnológicos, podemos destacar o crescimento acelerado da população brasileira, acarretando uma distribuição não uniforme populacional, o que agrega para as companhias de água um maior esforço para o seu devido tratamento e distribuição, além de um maior rigor na regulamentação dos padrões de uso da água atrelado a um sistema eficaz de políticas públicas para um arrojado sistema de fiscalização dos parâmetros físicos e químicos da água, que representam o nível de confiabilidade para o uso e consumo das pessoas e animais. Nestas condições, torna-se imprescindível que sua presença no ambiente esteja em quantidade e qualidade apropriadas para sua posterior utilização (REBOUÇAS, 2002).

1.2. Motivações do Estudo

Assegurar a qualidade do resultado de uma ETA, ou seja, água tratada, se faz necessário, pois é responsável por fornecer a água dentro dos padrões, de forma que a mesma atenda todos os fins que a população a dá. De maneira geral, pode-se dizer que a qualidade de uma água é função das condições naturais e da interferência dos seres humanos (SPERLING,

2005). Dessa forma, com a garantia da qualidade da água, evita-se doenças de veiculação hídrica e por poluentes físico-químicos.

Com o intuito de atender às necessidades da população de uma eficaz qualidade da água, usam-se ferramentas e métodos para projetar as instalações e equipamentos necessários, além de analisar os parâmetros físicos e químicos da água obtidos por meio de análise laboratorial. Do ponto de vista operacional, analisar padrões por meio de métodos estatísticos ou probabilísticos é uma abordagem viável.

Dessa forma, sabendo a viabilidade para análise da água por métodos estimativos, entramos em questão com a Lógica *Fuzzy*, por meio Índice de Concordância *Fuzzy* em paralelo à aplicação do Índice de Conformidade, garantindo uma visão de resultados sustentada por abordagens diferentes. Esse método auxiliará no estudo do controle da qualidade da água, mensurada através dos parâmetros de Cloreto, Cloro Residual Livre, Coliformes Totais, Cor Aparente, pH, Turbidez e Dureza Total nos sistemas de Altaneira, Várzea Alegre e Cedro, localizados na Bacia do Salgado, Estado do Ceará.

1.3. Objetivos

Demonstrar aplicações de técnicas auxiliares, com base em Lógica *Fuzzy* e Índice de Conformidade, para verificar a garantia da qualidade das águas bruta e tratada na Bacia do Salgado, estimando a garantia dos seus sistemas e revelando seus atuais estados de confiabilidade.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. *Qualidade da Água*

Com o decorrer do tempo, a oferta de água de qualidade potável, sem causar riscos à saúde e sem rejeição ao consumo, se tornou um espectro ambivalente. Por um lado, sua oferta foi dificultada devido ao constante crescimento da sociedade, gerando uma maior demanda de água, com pontos de demanda desiguais, ocasionados pela distribuição não uniforme da população, atrelada aos meios para os quais a água é utilizada, tais como: consumos humano, agrícola, industrial e uso em atividades recreativas. Por outro lado, o avanço da tecnologia permitiu o aprimoramento de técnicas e desenvolvimento de sistemas capazes de atender à grande parte das edificações e às normas de qualidade da água impostas. As normas e o padrão de potabilidade da água foram instituídos pela portaria nº 56/Bsb/1977, que se constituiu na primeira legislação federal sobre a potabilidade de água para consumo humano editada pelo MS (FREITAS; FREITAS, 2005).

Para assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição de águas, mediante ações preventivas e permanentes, foi criada a Resolução CONAMA 357/05 em 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências, que classifica os corpos d'água em águas doce, salobra e salina, adotando as seguintes definições:

- I – águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5‰
- II – águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5‰ e inferior a 30‰
- III – águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30‰

Além das definições em relação à porcentagem de salinidade, a Resolução também as divide em classes de usos preponderantes, conforme o Quadro 1:

Quadro 1 – Divisão das classes de usos preponderantes pela Resolução CONAMA 357/05.

<i>Águas Salinas</i>	
Classe	Uso Preponderante
Classe 1	Destinadas à recreação de contato primário, conforme a Resolução CONAMA nº 274 de 2000; à proteção das comunidades aquáticas e a aquicultura e a atividade de pesca.
Classe 2	Destinadas à pesca amadora e recreação de contato secundário.
Classe 3	Destinadas à navegação e a harmonia paisagística
Classe Especial	Destinadas à preservação dos ambientes aquáticos localizadas em unidades de conservação de proteção integral e a preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
<i>Águas Salobras</i>	
Classe	Uso Preponderante
Classe 1	Destinadas à recreação de contato primário, conforme a Resolução CONAMA nº 274 de 2000; à proteção das comunidades aquáticas e a aquicultura e a atividade de pesca; ao abastecimento público destinado ao consumo humano após tratamento convencional ou avançado; irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e a irrigação de parques, jardins na qual o público tenha contato direto.
Classe 2	Destinadas à pesca amadora e recreação de contato secundário.
Classe 3	Destinadas à navegação e harmonia paisagística.
Classe Especial	Destinadas à preservação dos ambientes aquáticos localizadas em unidades de conservação de proteção integral e a preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
<i>Águas Doces</i>	
Classe	Uso Preponderante
Classe 1	Destinada ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário (natação, mergulho, etc.) conforme a resolução CONAMA nº 274 de 2000; à irrigação de hortaliças e frutas e a proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
Classe 2	Destinadas ao abastecimento para o consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação e contato primário (natação, mergulho etc.) conforme resolução do CONAMA nº 274 de 2000; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques e jardins; à aquicultura e a pesca.
Classe 3	Destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas cerealíferas e forrageiras; pesca amadora; recreação de contato secundário e dessedentação de animais.
Classe 4	Destinadas à navegação e a harmonia paisagística.
Classe Especial	Destinada ao abastecimento para consumo humano com desinfecção; à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

Fonte: Resolução CONAMA 357 (2005). Adaptado pelo autor.

Em conformidade com a Resolução CONAMA 357/05 e como parte integrante dos instrumentos de análise e controle da qualidade da água, em dezembro de 2011 foi implementada a Portaria 2914/2011, sendo consolidada em 28 de setembro de 2017, tornando-se Portaria de Consolidação nº 5, o que não trouxe mudanças ao conteúdo, pois nenhum requisito foi alterado, a frequência e os parâmetros de análises continuaram os mesmos. Essa

portaria versa sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, trazendo importantes diretrizes ligadas à captação, tratamento e análise da água para consumo humano, incluindo, também, as atribuições do governo federal, estadual e municipal no que tange as suas funcionalidades. A frequência de amostragem, número de amostras e padrão de potabilidade para substâncias químicas que fazem mal à saúde e padrão organoléptico de potabilidade também estão presentes, entre outros, como consta no Quadro 2:

Quadro 2 – Conteúdos encontrados na Portaria 2914/11 – MS.

<i>Anexos</i>	<i>Conteúdo</i>
I	Tabela de padrão microbiológico da água para consumo humano.
II	Tabela de padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção.
III	Tabela de metas progressivas para atendimento ao valor máximo permitido de 0,5 uT para filtração rápida e de 1,0 uT para filtração lenta.
IV	Tempo de contato mínimo (minutos) a ser observado para a desinfecção por meio da cloração, de acordo com concentração de cloro residual livre, com a temperatura e o pH da água.
V	Tempo de contato mínimo (minutos) a ser observado para a desinfecção por meio de cloraminação, de acordo com concentração de cloro residual combinado (cloraminas) e com a temperatura da água, para valores de pH da água entre 6 e 9.
VI	Tempo de contato mínimo (minutos) a ser observado para a desinfecção com dióxido de cloro, de acordo com concentração de dióxido de cloro e com a temperatura da água, para valores de pH da água entre 6 e 9.
VII	Tabela de padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde.
VIII	Tabela de padrão de cianotoxinas da água para consumo humano.
IX	Tabela de padrão de radioatividade da água para consumo humano.
X	Tabela de padrão organoléptico de potabilidade.
XI	Frequência de monitoramento de cianobactérias no manancial de abastecimento de água.
XII	Tabela de número mínimo de amostras e frequência para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial.
XIII	Número mínimo de amostras mensais para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises microbiológicas, em função da população abastecida
XIV	Tabela de número mínimo de amostras mensais para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises microbiológicas, em função da população abastecida.
XV	Tabela de número mínimo de amostras e frequência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de solução alternativa coletiva, para fins de análises físicas, químicas e microbiológicas, em função do tipo de manancial e do ponto de amostragem.

Fonte: MS (2011). Adaptado pelo autor.

2.2 Tratamento de Água

O tratamento de água tem como enfoque, geralmente, a transformação da água denominada bruta (sem tratamento e imprópria para o consumo humano) em água denominada potável (tratada e adequada ao consumo humano). Para realizar esse processo, existem as estações de tratamento de água (ETAs), que são um arranjo de instalações e equipamentos, que possuem o intuito de realizar o tratamento de água bruta.

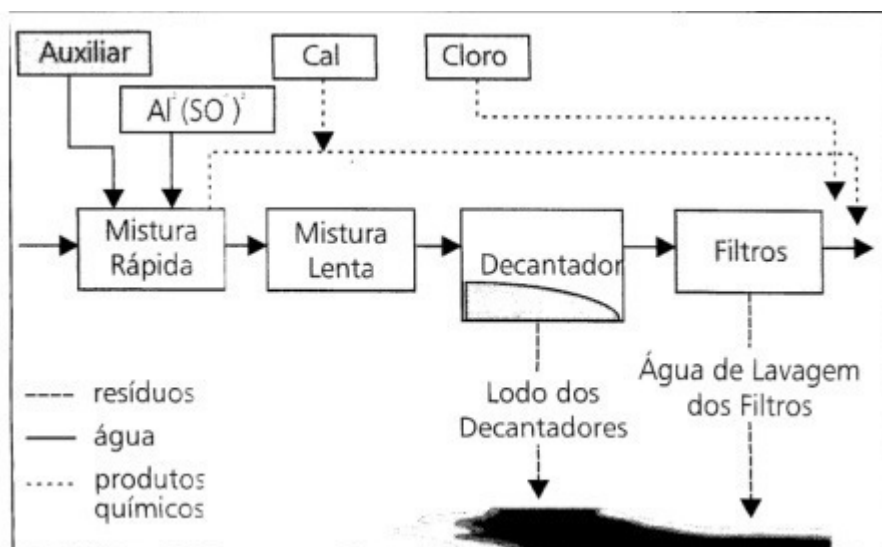
A distribuição da água tratada é dada em sistemas de abastecimento de água. O abastecimento de água, em quantidade e qualidade, é de suma importância para a sociedade, uma vez que tem influência direta na área da saúde e meio ambiente, o que, conseqüentemente, altera a qualidade de vida e a capacidade de desenvolvimento da população (IWA, 2005). O tipo de tratamento adotado deve ser dimensionado de acordo com a qualidade da água do manancial, da população que será abastecida, dos recursos econômicos disponíveis para o processo e das condições de operação e manutenção da ETA. Do ponto de vista tecnológico, a água de qualquer qualidade pode ser, teoricamente, transformada em água potável, porém, os custos envolvidos e a confiabilidade na operação e manutenção podem inviabilizar totalmente o uso de um determinado curso de água como fonte de abastecimento (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008).

No Brasil, existem diversas técnicas de tratamento de água para abastecimento público, destacando-se aquelas denominadas tratamento convencional (ou de ciclo completo) e a filtração direta, embora outras, como a filtração lenta, a flotação e a filtração em membrana também sejam empregadas, mas em um número ainda relativamente pequeno de ETAs. (HELLER; PÁDUA, 2010).

Segundo Reali (1999), a tecnologia convencional é utilizada na maioria das estações de tratamento de água existentes no Brasil. O processo de tratamento de água por ciclo completo é constituído pelas seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração, fluoretação e ajuste de pH, conforme ilustrado na Figura 2.

Em linhas gerais, o tratamento convencional possui maior flexibilidade operacional, é hidraulicamente estável e requer menos atenção do operador do que outros tipos de tecnologias de tratamento de água. Outra consideração ao selecionar um processo convencional é a disponibilidade de área, pois as taxas de aplicação superficiais são geralmente baixas, resultando em grandes requisitos de espaço no processo.

Figura 2 – Etapas do processo de tratamento de água convencional.



Fonte: PROSAB (1999).

O comprometimento da qualidade da água tratada está relacionado diretamente com o mau funcionamento ou desempenho de uma das etapas ou processos envolvidos no tratamento convencional de água, pois trata-se de um sistema sequencial, que compromete a eficiência dos subsequentes. Para o efetivo monitoramento da eficiência e eficácia do processo, de possíveis eventuais falhas e da qualidade da água, se faz essencial uma medida, que é a determinação de indicadores de referência específicos para cada uma das etapas envolvidas no processo de tratamento de água. O controle rigoroso dos fatores que influenciam na eficiência da ETA e das condições favoráveis garante que as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação tenham desempenho maximizado. Os Quadros 3 e 4 relacionam as etapas do tratamento convencional, além de etapas adicionais ao processo tradicional, com seus objetivos, atrelando-as com os seus parâmetros indicativos e fatores que influenciam a eficiência do processo em questão.

Quadro 3 – Processo de Clarificação e suas etapas.

Processo	Objetivo	Etapa	Indicadores de referência	Fatores que influenciam a eficiência
Clarificação	Remoção de turbidez, cor e, de forma secundária, matéria orgânica natural.	Coagulação	Volume de coagulante e custos operacionais.	Concentração de matéria suspensa, coloidal e dissolvida, pH, temperatura, dosagem de coagulante e tempo de mistura rápida
		Floculação	Tamanho e densidade dos flocos, custos operacionais.	Eficiência da etapa anterior, quantidade de agitação, concentração de flocos
		Decantação	Turbidez, cor, sólidos dissolvidos e suspensos, quantidade de lodo decantado e velocidade de decantação, custos operacionais.	Eficiência das etapas anteriores, tamanho e densidades dos flocos, quantidade de agitação.
		Filtração	Turbidez, cor, sólidos suspensos e dissolvidos	Escolha do tipo de filtro, o tamanho do material a ser filtrado, o método de filtração escolhido

Fonte: Heller e Pádua (2006).

Quadro 4 – Processos de Desinfecção, Fluoretação e Correção de Acidez.

Processo	Objetivo	Etapa	Indicadores de Referência	Fatores que influenciam a eficiência
Desinfecção	Eliminação de microrganismos patogênicos	-	Número mais provável de coliformes, quantidade de desinfetante e outros produtos usados.	Tempo de contato com a água, tipo de agente químico, intensidade e natureza do agente físico utilizado como desinfetantes e tipos de organismos
Fluoretação	Combate e prevenção à cárie	-	Concentração de flúor	-
Correção de acidez	Combate a corrosão e incrustação nos encanamentos	-	Volume de cal hidratada ou carbonato de sódio	-

Fonte: Heller e Pádua (2006).

2.3 Importância do Controle da Qualidade da Água

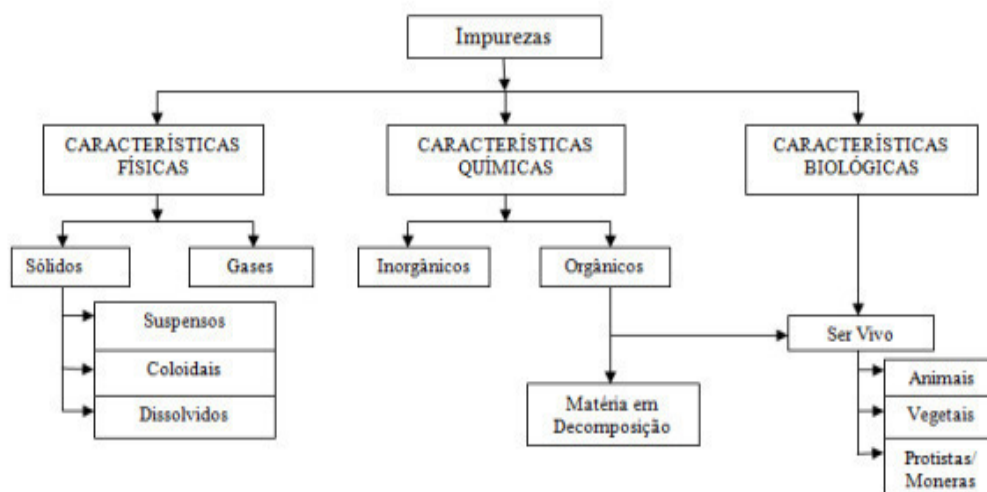
A qualidade da água é uma concepção relativa que está ligada de forma direta com o uso a que se destina: seja esse para irrigação, dessedentação de animais, balneabilidade, consumo humano, produção, transporte e manutenção de vida aquática. Assim, não existe

nenhuma água cuja qualidade, em termos absolutos, seja adequada para todos os fins. Portanto, não há água cuja qualidade, de forma absoluta, seja apropriada para todo e qualquer fim. Esse conceito é de fundamental importância para os seres vivos. Nestas condições, torna-se imprescindível que sua presença no ambiente esteja em quantidade e qualidade apropriadas para sua posterior utilização (REBOUÇAS, 2002).

Em um primeiro contato, para o consumidor, a qualidade da água é avaliada pelas suas qualidades organolépticas. Com o intuito de que seja bebida sem repugnância, deverá ser incolor, inodora e insípida. Entretanto, uma água que apresente tais características pode não ser adequada para o consumo humano, visto, poder, por exemplo, estar contaminada com microrganismos patogênicos. Para poder ser consumida sem restrições, deverá respeitar muitas outras exigências, não possíveis de avaliar sensorialmente.

As impurezas encontradas na água podem ser subdivididas em três grupos padrões segundo suas características básicas: químicas, físicas e biológicas. As principais impurezas encontradas são: sólidos dissolvidos em forma ionizada, gases dissolvidos, compostos orgânicos dissolvidos e matéria em suspensão, tais como microrganismos (bactérias, algas e fungos) e coloides (PAVANELI, 1996). A Figura 3 ilustra a distribuição das impurezas nas águas quanto às suas características:

Figura 3: Distribuição e características das impurezas presentes nas águas.



Fonte: Von Sperling (1996).

Dado o exposto acima, o monitoramento da qualidade da água possibilita uma visão sistêmica das características das impurezas contidas no corpo hídrico, possibilitando aos

gestores realizar uma avaliação do quadro ambiental do manancial, auxiliando nas tomadas de decisão, o que demonstra a importância de um efetivo controle da qualidade da água.

2.4 Lógica Fuzzy (Lógica Dispersa ou Lógica Nebulosa)

O tema da lógica foi, primeiramente, abordado pelos sofistas e Platão. Contudo, o trabalho mais amplo, rigoroso e sistematizado, chamado *Organon* (instrumento), conferiu a Aristóteles o título de “pai da lógica”. Dessa forma, surgiu a chamada Lógica Aristotélica, que se baseia no foco comum referente à harmonia do raciocínio. Dois dos princípios centrais da lógica aristotélica são a lei da não-contradição e a lei do terceiro excluído, em que a lei do terceiro excluído afirma que, para qualquer proposição, ou essa proposição é verdadeira, ou sua negação é verdadeira e o princípio da não contradição afirma que duas afirmações contraditórias não podem ser verdadeiras ao mesmo tempo sob o mesmo aspecto.

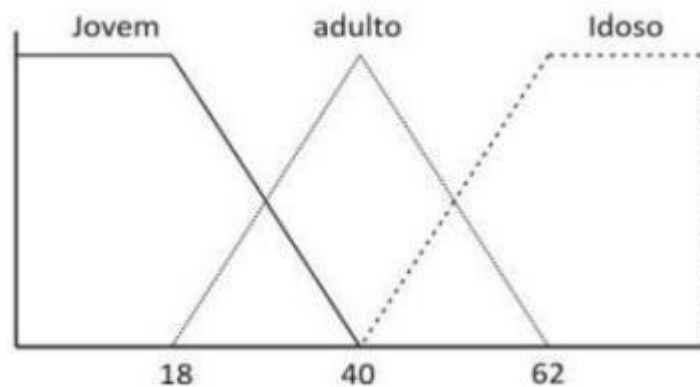
Apesar do avanço no nível de racionalidade alcançado por Aristóteles, o filósofo enfrentou grande dificuldade em relação aos significados das palavras e gramáticas devido às regras gramaticais engessadas de forma singular e com pouca diversidade semântica, o que não permitia a clareza do pensamento. Foi necessário esperar mais de 2000 anos para que o inglês George Boole, por meio da sua obra chamada *The Mathematical Analysis of Logic*, conhecida por Álgebra de Boole, desenrolasse o problema com o qual Aristóteles se deparou, introduzindo, assim, a independência relativa à semântica e gramática, funcionando fora do significado e da conjugação das palavras de todas as línguas.

Ao contrário da Lógica Convencional, também chamada de Lógica *Booleana*, a Lógica *Fuzzy* utiliza a ideia de que todas as coisas (temperatura, altura, velocidade, etc.) admitem graus de pertinências. Com isso, a Lógica *Fuzzy* tenta modelar o senso de palavras, tomada de decisão ou senso comum do ser humano (MARRO et al. 2010). A lógica tradicional apresenta apenas valores “0” ou “1”, não há “meio termo”, a teoria *Fuzzy* apresenta uma proposta do uso de funções que operem dentro de um intervalo de números reais [0,1] (BEZERRA, 2009).

A Lógica Dispersa tem como enfoque primordial identificar, quantificar e correlacionar valores ambíguos, imprecisos e vagos, que fazem parte da atividade corriqueira do ser humano. Referências que envolvem termos como muito, pouco, alto, médio e baixo apresentam uma certa subjetividade, sendo difícil de representá-los de forma correta. Expressões como “Já vai! Só um minuto!” ou “Ele é alto! Tem mais de 1,80 m.” representam

valores diferentes para pessoas diferentes, podendo esse minuto e essa altura variarem em diferentes graus de concordância entre muito e pouco, alto e baixo. De forma ilustrativa, na Figura 4 abaixo, representa-se um exemplo clássico e descreve-se o tempo de vida, a idade de uma pessoa através de três conjuntos: jovem, adulto e idoso.

Figura 4: Representação de Lógica *Fuzzy*.



Fonte: Bezerra (2009).

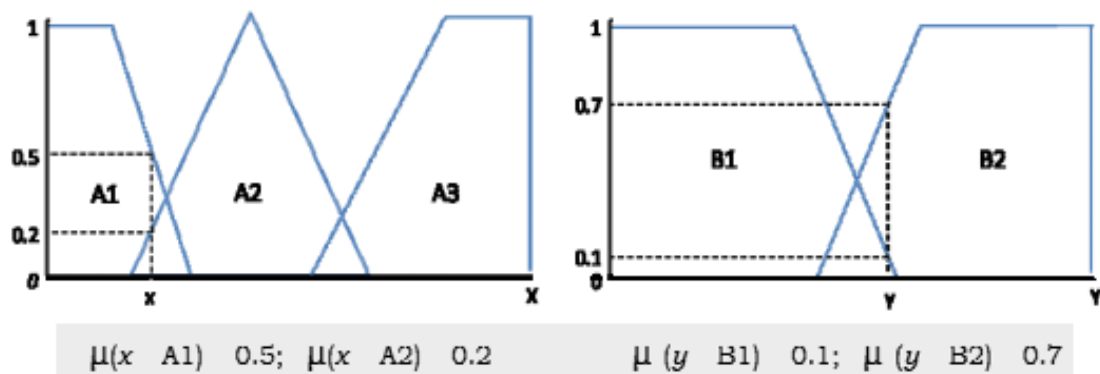
Nesse exemplo, dado um elemento x qualquer, o mesmo pertencerá a um dos conjuntos do gráfico ou em mais de um conjunto ao mesmo tempo; por exemplo, se $x = 30$ anos, então x pertence ao conjunto jovem e adulto, ou seja, um elemento pertence a um determinado conjunto e, além disso, tal elemento pertence a mais de um conjunto, mudando apenas o grau de pertinência. Caso isso ocorresse em um modelo de lógica clássica, esse elemento pertenceria à apenas um único conjunto.

Além disso, ainda tendo a figura acima como objeto de exemplo e pondo em questão a Lógica *Booleana*, caso fossem dados dois elementos $x_1 = 59$ e $x_2 = 61$, se a lógica clássica fosse utilizada, em que se é adulto dos 18 aos 59 anos e idoso a partir dos 60 anos, esses dois elementos pertenceriam à duas classes diferentes, sendo x_1 pertencente à classe dos adultos e x_2 à classe dos idosos. Entretanto, na Lógica *Fuzzy*, pode-se dizer que ambos os elementos pertencem às classes jovem e idoso com graus de pertinência distintos, pois uma diferença tão pequena não os adequa exclusivamente em apenas uma única categoria.

2.5 Elemento Fuzzy

Seja U um conjunto qualquer denominado conjunto universo. Um subconjunto *fuzzy* F de U é caracterizado por uma função $\mu: U \rightarrow [0,1]$, chamada função de pertinência do conjunto *fuzzy* F . O valor $\mu(x) \in [0,1]$ indica o grau com que o elemento x de U está no conjunto *fuzzy* F , com $\mu(x) = 0$ e $\mu(x) = 1$ indicando, respectivamente, a não pertinência e a pertinência completa de x ao conjunto *fuzzy* F (ZADEH, 1965). Um elemento *fuzzy* admite imprecisão nas suas informações e pode fazer parte de dois conjuntos ao mesmo tempo, o que mudará será o grau em que esse elemento pertence para cada conjunto chamado de função de pertinência. Para cada elemento $u \in U$, essa função especifica o grau de pertinência u no conjunto *fuzzy* e está dentro de um intervalo unitário $[0, 1]$. A seguir, na Figura 5, está demonstrado um exemplo de representação de um conjunto *fuzzy* e os graus de pertinência dos elementos x e y , onde o eixo das abscissas representa o domínio e as ordenadas correspondem aos graus de pertinência.

Figura 5: Exemplos de representações de conjuntos *Fuzzy*.



Fonte: Marro et al (2010).

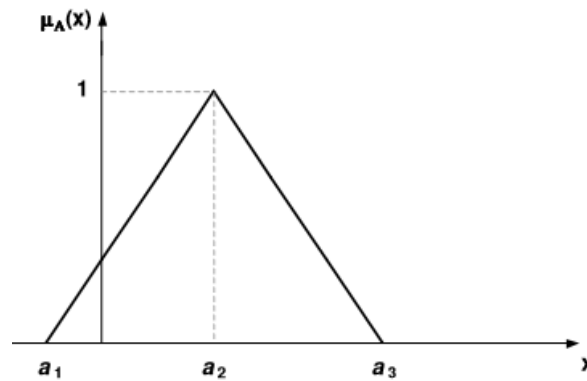
2.6 Número Fuzzy Triangular (NFT)

A entrada dos dados, aliada com o grau de pertinência de um conjunto *fuzzy*, é limitada no universo do discurso em questão através do conhecimento do especialista, que fornece o formato da função de pertinência a ser usado, podendo esse formato ser triangular, trapezoidal, gaussiano, sigmoidal, entre outros, sendo o número *fuzzy* triangular o mais empregado dentre as distintas formas de algoritmos *fuzzy*. Há diferentes formas de representar números *fuzzy*, porém o número *fuzzy* triangular (NFT) é o mais recomendado para simplificar as operações aritméticas (MARRO et al, 2010). Um número *fuzzy* A é dito triangular se sua função de pertinência é, para $a_1 < a_2 < a_3$, da forma:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (1)$$

Pelas condições dadas acima, o Número *Fuzzy* Triangular (NFT) é representado pelo gráfico ilustrado pela Figura 5:

Figura 5: Número *Fuzzy* Triangular em forma gráfica.



Fonte: Renteria (2006).

O gráfico de um número *fuzzy* triangular tem a forma de um triângulo, tendo como base o intervalo $[a_1, a_3]$ e, como único vértice fora da base, o ponto $(a_2, 1)$. Deste modo, os números reais a_1 , a_2 e a_3 definem o número *fuzzy* triangular A .

Através dessa teoria de números difusos, podem ser feitas operações que englobam conceitos subjetivos e imprecisos com aqueles mais objetivos baseados em modelos matemáticos (DUBOIS, 1991). A seguir são apresentados dois números *fuzzy* triangulares expressos em intervalos como instrumento de demonstração das principais operações algébricas com números *fuzzy*. Sendo $\forall a_1, a_3, b_1, b_3 \in \mathbb{R}$, $A = [a_1, a_3]$, $B = [b_1, b_3]$, temos:

a) Adição:

$$A + B = [a_1, a_3] (+) [b_1, b_3] = [a_1 + b_1, a_3 + b_3]$$

b) **Subtração:**

$$A - B = [a_1, a_3](-)[b_1, b_3] = [a_1 - b_3, a_3 - b_1]$$

c) **Multiplicação:**

$$A \bullet B = [a_1, a_3](\bullet)[b_1, b_3]$$

Ou seja:

$$A \bullet B = [a_1 \bullet b_1 \wedge a_1 \bullet b_3 \wedge a_3 \bullet b_1 \wedge a_3 \bullet b_3, a_1 \bullet b_1 \vee a_1 \bullet b_3 \vee a_3 \bullet b_1 \vee a_3 \bullet b_3]$$

Isto é:

$$A \bullet B = [\min\{a_1 \bullet b_1, a_1 \bullet b_3, a_3 \bullet b_1, a_3 \bullet b_3\}, \max\{a_1 \bullet b_1, a_1 \bullet b_3, a_3 \bullet b_1, a_3 \bullet b_3\}]$$

d) **Divisão:**

$$A / B = [a_1, a_3](/)[b_1, b_3]$$

$$A / B = [a_1 / b_1 \wedge a_1 / b_3 \wedge a_3 / b_1 \wedge a_3 / b_3, a_1 / b_1 \vee a_1 / b_3 \vee a_3 / b_1 \vee a_3 / b_3]$$

Isto é:

$$A / B = [\min\{a_1 / b_1, a_1 / b_3, a_3 / b_1, a_3 / b_3\}, \max\{a_1 / b_1, a_1 / b_3, a_3 / b_1, a_3 / b_3\}]$$

e) **Inversa de um intervalo:**

$$A^{-1} = 1/A = [a_1, a_3]^{-1}$$

$$A^{-1} = \left[\frac{1}{a_1} \wedge \frac{1}{a_3}, \frac{1}{a_1} \vee \frac{1}{a_3} \right]$$

Isto é:

$$A^{-1} = \left[\min\left\{ \frac{1}{a_1}, \frac{1}{a_3} \right\}, \max\left\{ \frac{1}{a_1}, \frac{1}{a_3} \right\} \right]$$

f) Multiplicação de um intervalo por um escalar

$$\forall \lambda \in R$$

$$se \ \lambda > 0$$

$$\lambda A = \lambda [a_1, a_3] = [\lambda a_1, \lambda a_3]$$

$$se \ \lambda < 0$$

$$\lambda A = \lambda [a_1, a_3] = [\lambda a_3, \lambda a_1]$$

2.7 Análise de Garantia e Risco de Falha

As estações de tratamento estão sujeitas às incertezas desde a concepção de seu projeto até durante sua operação. O nível de incerteza de cada sistema dita seu risco de falha. Tal risco deve ser previamente projetado em um intervalo aceitável (OLIVEIRA; VON SPERLING, 2007) para que maiores surpresas durante o funcionamento de uma ETA sejam evitadas. Deste modo, o seu grau é inversamente proporcional à sua confiabilidade. A confiabilidade de um sistema pode então ser definida como a probabilidade em que o mesmo não apresenta falha no funcionamento do processo em um determinado período. De uma forma prática, a falha ocorre no momento em que a água de saída do sistema e de rede de abastecimento apresenta parâmetros fora das condições padrões, como demonstrado a seguir.

$$\text{Garantia (\%)} = 1 - \text{Probabilidade de falha} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Falha} = (\text{Valor do parâmetro} > \text{Valor limite máximo do parâmetro}) \quad (3)$$

Métodos confiáveis de análise de garantia e risco de falha são capazes de facilitar interpretações sobre desempenhos passados, aplicando-se os dados obtidos a sistemas de distribuição acessíveis, com o intuito de se prever posteriores comportamentos. Um sistema possui garantia total quando ele é capaz de desempenhar a função para o qual ele foi projetado sem nenhuma falha.

3 METODOLOGIA

3.1 *Área de Estudo*

A Bacia do Salgado se localiza no estado do Ceará, abrangendo grande parcela da região sul do estado, possuindo capacidade de acumulação de águas superficiais de 447,41 milhões de m³, sendo composta por 23 municípios e 13 açudes, cercada pelas Bacias Alto Jaguaribe e Médio Jaguaribe (Figura 7).

Para efeitos de controle e análise, os dados escolhidos para análise da água tratada, foram retirados das ETAs Sítio São Vicente, Sítio Serra do Valério e Alameda José Quintino, referentes, respectivamente, às localidades de Várzea Alegre (06° 47' 20" S, 39° 17' 0" O), Altaneira (07° 00' 07" S, 39° 44' 27" O) e Cedro (06° 36' 25" S, 39° 03' 43" O), junto aos dados coletados em diferentes pontos da rede de distribuição de cada município para os anos de 2015, 2016 e 2017. Além disso, para efeito de análise da qualidade da água bruta, os dados foram retirados dos açudes Dep. Otacílio Correia, Valério e Ubaldinho, referentes, respectivamente, às localidades de Várzea Alegre, Altaneira e Cedro para os anos de 2015, 2016 e 2017. Os sistemas analisados neste estudo foram selecionados pela maior disponibilidade de dados a fim de que conferissem uma base maior de informações para melhores interpretações acerca do desempenho de cada sistema. Cada conjunto de dados foi analisado pela sua qualidade. A qualidade refere-se à garantia de conformidade com a norma vigente para os parâmetros de água bruta e tratada.

Figura 7: Bacia do Salgado, em destaque, junto às bacias hidrográficas do Ceará.



Fonte: COGERH (2017). Adaptado pelo autor.

3.2 Parâmetros Analíticos de Monitoramento

Para a análise da qualidade de água bruta e tratada em sistemas da Bacia do Salgado, foram considerados os seguintes parâmetros no monitoramento: Cloreto (Cl⁻), Cloro Residual Livre (CRL), Coliformes Totais (CT), Cor Aparente (CAp), Dureza Total (DT), pH e Turbidez (Turb).

As coletas das amostras de água tratada na ETA Sítio São Vicente, ETA Sítio Serra do Valério e ETA Alameda José Quintino, juntamente às redes de distribuição de Várzea Alegre, Altaneira e Cedro foram realizadas mensalmente entre janeiro de 2015 a dezembro de

2017. Ademais, as coletas das amostras de água bruta nos açudes Dep. Otacílio Correia, Valério e Ubaldinho também se deram de forma mensal entre janeiro de 2015 a dezembro de 2017.

3.3 Enfoque do Estudo

As garantias das qualidades de água tratada da saída do sistema, água tratada da rede de distribuição e água bruta em Várzea Alegre, Altaneira e Cedro foram analisada de duas maneiras:

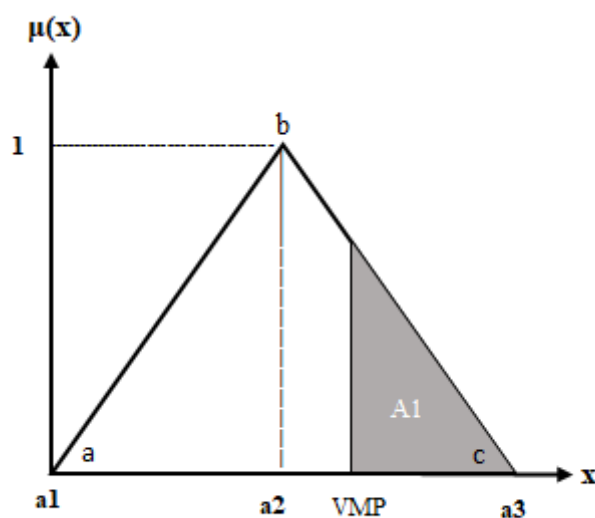
- a) Índice de Concordância *Fuzzy* (I_{CF}) através de Número *Fuzzy* Triangular;
- b) Índice de Conformidade (I_{CONF}), sendo adaptado em 2 versões: Índice de Conformidade por Grau de Falha e Índice de Conformidade por Fração de Máximo Permitido.

3.3.1 Índice de Concordância *Fuzzy* (I_{CF})

Com o intuito de análise de riscos de falhas ou garantia, o I_{CF} atende bem a necessidade quando utilizado para analisar o quanto os resultados obtidos na análise de cada parâmetro dos sistemas em estudo encontram-se próximos ao permitido, pois é uma ferramenta de baixo esforço computacional, que pode ser utilizada com uma pequena base de dados. Pode-se fazer correlações entre números *fuzzy* (difusos) ou entre um número difuso e outro não difuso (KAUFMANN; GUPTA, 1991). Os números não difusos, também chamados de *crisp*, criam um intervalo definido à sua direita ou à sua esquerda. Nesse caso, chama-se de Índice de Concordância *Fuzzy* a relação entre a área delimitada pelo número não difuso e a área do número difuso.

Os números *fuzzy* empregados nos cálculos dos parâmetros das águas encontradas nas ETAs, redes e açudes foram do tipo triangular. Os Números *Fuzzy* Triangulares (NFTs) (Figura 6), formados pelos valores mínimos (a_1), médios (a_2) e máximos (a_3) de cada parâmetro, delimitam uma área triangular de altura $\mu_{(x)} = [0,1]$ no eixo das ordenadas e o valor máximo permitido definido pela norma (VMP), assim como o valor mínimo permitido (VMIP), também definido pela norma, fazem a função do número não difuso. Os parâmetros Cloreto, Cor Aparente, Coliformes Totais, Dureza Total e Turbidez apresentam, pela norma, apenas limites máximos (VMP), conforme a Figura 8:

Figura 8: Número *Fuzzy* Triangular (NFT) formado entre um número difuso e o VMP como número não difuso para o cálculo do Índice de Concordância *Fuzzy* (I_{CF}).



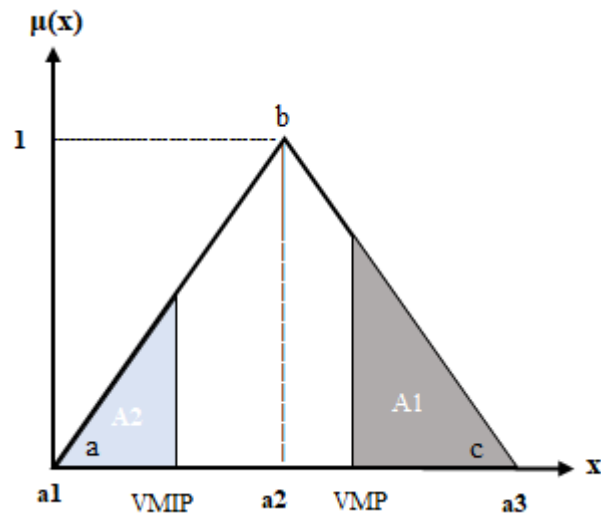
Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

O Índice de Concordância *Fuzzy* foi calculado pela razão entre a área A_1 e a área do triângulo Δabc (A_t).

$$I_{CF} = 1 - \left(\frac{A_1}{A_t} \right) \quad (4)$$

Os parâmetros de pH e Cloro Residual Livre, de acordo com a norma, têm limites mínimos e máximos. Por conseguinte, os Números *Fuzzy* Triangulares foram compostos pelo valor mínimo permitido (VMIP) e o valor máximo permitido (VMAP), conforme a Figura 9:

Figura 9: Número *Fuzzy* Triangular (NFT) formado entre números difusos e os VMP e VMIP como números não difusos para o cálculo do Índice de Concordância *Fuzzy* (I_{CF}).



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

O I_{CF} foi calculado dividindo-se a área totalizada pela soma das áreas A_1 e A_2 pela área total do triângulo Δabc (A_t) conforme a equação abaixo:

$$I_{CF} = 1 - \left(\frac{A_1 + A_2}{A_t} \right) \quad (5)$$

3.3.2 Índice de Conformidade (I_{CONF})

O Índice de Conformidade (I_{CONF}) é uma forma simples e rápida de se avaliar o nível ou grau de atendimento a padrões. É uma ferramenta bastante utilizada para avaliação da qualidade do controle (monitoramento) da água potável, podendo ser usada para água bruta ou quaisquer fins, ajudando no estabelecimento de diagnósticos e metas.

Com o intuito de analisar os dados por meio de outros ângulos, a adaptação do I_{CONF} se faz presente, sendo um grande ponto positivo para essa ferramenta, visto a possibilidade de modelagem em sua fórmula. No presente trabalho, o Índice de Conformidade será usado de duas formas distintas, em suas próprias interpretações, com o fito de analisar os parâmetros, sistemas e anos pelo grau de falha e pela fração de máximo permitido.

3.3.2.1 Índice de Conformidade por Grau de Falha

O Índice de Conformidade por Grau de Falha mostra o desempenho de cada parâmetro relativo aos respectivos sistemas no ano em questão a respeito apenas da falha em relação ao valor máximo permitido. Ou seja, se passa do VMP, é considerado falha; se não passa do VMP, não é falha.

Quanto ao atendimento de padrões de potabilidade, parte-se de variáveis binárias (0 ou 1; sim ou não) ou de frações do todo (por 100 - %; por mil - ‰; por dez mil - ‰‰). Os intervalos adaptados dizem respeito ao grau de não conformidade. Assim, quanto menor o valor de I_{CONF} , melhor o desempenho do sistema de controle da qualidade da água potável produzida e distribuída. O Índice de Conformidade por Grau de Falha seria ao atendimento de faixas de falha (não conformidade) expressas em %, para os seguintes parâmetros: Turbidez, Cor Aparente, Coliformes Totais, Cloreto, Cloro Residual Livre, Dureza Total e pH.

O cômputo é efetuado simplesmente como: $I_{CONF_i} (\%) = (NC_{Pi}/NAA_{Pi}) \times 100\%$, com a seguinte formulação geral:

$$I_{CONF} = \frac{\sum_{i=1}^n (I_{CONF_i})}{n} \quad (6)$$

Em que: NC_{Pi} é o número de amostras que não atenderam ao padrão exigido para o parâmetro P_i e NAA_{Pi} é o número de amostras analisadas para a determinação de parâmetro P_i . O n corresponde ao número de parâmetros (7 no caso de rede; 7 no caso de ETA e 4 no caso de açude).

Interpretação: $I_{CONF} = 0,0\% \rightarrow$ Satisfatório;

$0,0\% \leq I_{CONF} \leq 0,5\% \rightarrow$ Regular;

$0,6\% \leq I_{CONF} \leq 1,0\% \rightarrow$ Ruim e;

$I_{CONF} > 1,0\% \rightarrow$ Péssimo.

3.3.2.2 Índice de Conformidade por Fração de Máximo Permitido

O Índice de Conformidade por Fração de Máximo Permitido mostra o desempenho de cada parâmetro relativo aos respectivos sistemas no ano em questão a respeito da quantidade que a média dos valores dos parâmetros representam em relação ao VMP. Diferentemente do I_{CONF} por Grau de Falha, o I_{CONF} por Fração de Máximo Permitido tem o intuito de demonstrar

não apenas se passa ou não passa do VMP, o que concretiza uma falha, mas o quanto passa ou não do VMP, demonstrando a intensidade dos valores dos parâmetros em relação aos valores das normas, conforme:

$$I_{CONF} = \sum_{i=1}^n (V_i / P_i) / n \quad (7)$$

Em que: V é o valor observado do parâmetro i; P é valor do padrão i e n é número de parâmetros analisados.

Observando o contexto ao qual estão inseridos os sistemas de tratamento em estudo, os valores do I_{CONF} por Grau de Falha foram estipulados da seguinte forma:

$I_{CONF} < 90\% \rightarrow$ Satisfatório;

$90\% \leq I_{CONF} \leq 100\% \rightarrow$ Regular;

$100\% < I_{CONF} \leq 110\% \rightarrow$ Ruim e;

$I_{CONF} > 110\% \rightarrow$ Péssimo.

Os intervalos acima descritos foram baseados em observações subjetivas quanto ao comportamento usual das ETAs e redes de abastecimento, atreladas à importância e responsabilidade em oferecer água nos padrões corretos para a população, tendo em mente a suma importância da água para os seres humanos e animais. Se utilizado como método de controle, o Índice de Conformidade seria uma forma razoável de identificação de problemas operacionais do sistema ou mesmo de reconhecimento da prioridade de investimentos em melhorias que é dada a cada estação, rede ou açude.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 *Garantia*

Para o cálculo da garantia dos sistemas em estudo, foram utilizados os valores limites estipulados pela Portaria MS 2914/11 e pela Resolução CONAMA 357/05. Para água tratada, analisou-se 7 parâmetros: Cloreto, Cloro Residual Livre, Coliformes Totais, Cor Aparente, Dureza Total, pH e Turbidez. Para água bruta, foram analisados 4 parâmetros: Coliformes Totais, Cor Aparente, pH e Turbidez com os limites estabelecidos para classe 2. Os parâmetros Cloreto, Cloro Residual Livre e Dureza Total não entraram no cálculo e análise de água bruta devido ao fato de não constarem valores mínimos ou máximos na Resolução 357/05.

Para água tratada, por meio da Portaria MS 2914/11:

- Máximo de 250 mg/L para Cloreto;
- Mínimo de 0,2 mg /L e Máximo de 5 mg/L para Cloro Residual Livre;
- Ausência em 100 mL para Coliformes Totais;
- Máximo de 15 uH para Cor Aparente;
- Máximo de 500 mg/L para Dureza Total;
- Mínimo de 6 e Máximo de 9,5 para pH;
- Máximo de 5 uT para Turbidez.

Para água bruta, classe 2, por meio da Resolução CONAMA 357/2005:

- Máximo de 1000 unidades de Coliformes Totais em 100 mL;
- Máximo de 75 uH para Cor Aparente;
- Mínimo de 6 e Máximo de 9 para pH;
- Máximo de 100 uT para Turbidez.

4.1.1 *Resultados Garantia Índice de Concordância Fuzzy*

Após execução dos procedimentos de cálculo para o Índice de Concordância *Fuzzy*, descritos no item 3.3.1, foram obtidos os seguintes resultados de Índice de Concordância *Fuzzy* por Número *Fuzzy* Triangular (Tabelas 1 a 12). Os resultados são expressos em parte por inteiro, pois não é correto, conceitualmente, expressar resultados *fuzzy* em porcentagem, visto ser um método possibilístico e possuir o conceito de grau de pertinência.

Tabela 1: Índice de Concordância *Fuzzy* por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Tratada (2015).

Sistema	Cl	CRL	CT	CA	DT	pH	Turb
Várzea Alegre - Rede	1	1	-	0,2331	1	1	0,3603
Altaneira - Rede	1	1	-	0,2100	1	1	0,9742
Cedro - Rede	1	1	-	0,1986	1	1	0,1056
Várzea Alegre - ETA	1	1	0	0,8778	1	0,9979	0,988
Altaneira - ETA	1	1	-	0,9080	1	1	0,4941
Cedro - ETA	1	1	-	0,2581	1	1	0,1578

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 2: Índice de Concordância *Fuzzy* por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Tratada (2015) - Valores Médios.

Sistema	Média
Várzea Alegre - Rede	0,7656
Altaneira - Rede	0,8640
Cedro - Rede	0,7174
Várzea Alegre - ETA	0,8377
Altaneira - ETA	0,9004
Cedro - ETA	0,7360

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 3: Índice de Concordância *Fuzzy* por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Tratada (2016).

Sistema	Cl ⁻	CRL	CT	CAp	DT	pH	Turb
Várzea Alegre - Rede	1	1	0	0,3250	1	1	0,4920
Altaneira - Rede	1	1	0	0,8900	1	1	0,9500
Cedro - Rede	1	1	0	0,9000	1	1	0,1880
Várzea Alegre - ETA	1	1	0	0,5400	1	1	1
Altaneira - ETA	1	0,2410	0	0,8930	1	1	0,6980
Cedro - ETA	1	1	0	0,9100	1	1	0,1930

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 4: Índice de Concordância *Fuzzy* por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Tratada (2016) - Valores Médios.

Sistema	Média
Várzea Alegre - Rede	0,6881
Altaneira - Rede	0,8343
Cedro - Rede	0,6111
Várzea Alegre - ETA	0,7914
Altaneira - ETA	0,6903
Cedro - ETA	0,6120

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 5: Índice de Concordância *Fuzzy* por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Tratada (2017).

Sistema	Cl	CRL	CT	CAp	DT	pH	Turb
Várzea Alegre - Rede	1	1	0	0,3369	1	1	0,4853
Altaneira - Rede	1	1	0	0,0460	1	1	0,0310
Cedro - Rede	1	1	0	0,1935	1	1	0,6804
Várzea Alegre - ETA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Altaneira - ETA	1	1	0	0,0634	1	1	0,0290
Cedro - ETA	1	1	-	0,5442	1	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 6: Índice de Concordância *Fuzzy* por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Tratada (2017) - Valores Médios.

Sistema	Média
Várzea Alegre - Rede	0,6889
Altaneira - Rede	0,5824
Cedro - Rede	0,6963
Várzea Alegre - ETA	ND
Altaneira - ETA	0,5847
Cedro - ETA	0,9240

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Por meio dos dados de água tratada apresentados, pôde-se notar que os parâmetros que apresentaram um maior grau concordância aos valores permitidos, por meio da estimativa dada pelo Número *Fuzzy* Triangular, são: Cloreto, Cloro Residual Livre, Dureza Total e pH. Nos casos de Cloreto e Dureza Total, nenhum sistema em todos anos apresentou índice abaixo de 1. Para o Cloro Residual Livre, apenas no sistema Altaneira – ETA (2016) esse valor variou e teve uma queda brusca de 1 para 0,2410. Em relação ao pH, apenas no sistema Várzea Alegre – ETA (2015) houve uma leve mudança na concordância, indo de 1 para 0,9979. Esse padrão se repete para todos os anos de estudo (2015,2016 e 2017). No caso de Coliformes Totais para todos os sistemas de 2015 e Cedro – ETA (2017), não foi possível aplicar o valor de Índice de Concordância *Fuzzy*, pois todos os dados encontravam-se no mesmo ponto, na forma de *Crisp Value*, no valor de 0, não permitindo que o cálculo fosse efetuado, mas atendendo à norma de

ausência de coliformes totais. Entretanto, nota-se que para os anos de 2016 e 2017, o valor do índice para esse parâmetro é 0, pois nenhuma amostra atendeu à norma. No que tange à Cor Aparente e Turbidez, fica evidente que são os parâmetros que mais variam seus valores, alterando, por consequência, a estimativa dada pelo índice, sendo o ano de 2017 o que contém, de forma geral, o pior conjunto de valores para ambos os parâmetros. Os valores dos parâmetros de Altaneira – ETA (2017) se encontram não determinados (ND), pois não havia dados para análise de saída do sistema, apenas para rede de abastecimento para a cidade e ano em questão.

Em relação ao ano de 2015, nota-se índices de concordância variando na faixa de 0,7174 a 0,9004, sendo o sistema Cedro-Rede o que contém o pior valor e Altaneira – ETA o melhor. Para o ano de 2016, os valores variaram entre 0,6111 e 0,8343, sendo o sistema Cedro-Rede o que contém o pior valor e Altaneira-Rede o melhor. No ano de 2017, a margem de concordância se deu entre 0,5824 para Altaneira – Rede e 0,9240 para Cedro – ETA. Dessa forma, nota-se que não há observância na regularidade da qualidade seguida, visto que de 2016 para 2017, o sistema Cedro – ETA foi de segundo pior para melhor índice e Altaneira – Rede de melhor para pior.

Tabela 7: Índice de Concordância *Fuzzy* por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Bruta (2015).

Sistema	CT	CAp	pH	Turb
Várzea Alegre - Açude	0,6770	1	1	1
Altaneira - Açude	0	1	1	1
Cedro - Açude	0	0,7369	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 8: Índice de Concordância *Fuzzy* por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Bruta (2015) - Valores Médios.

Sistema	Média
Várzea Alegre - Açude	0,9193
Altaneira - Açude	0,7500
Cedro - Açude	0,6842

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 9: Índice de Concordância *Fuzzy* por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Bruta (2016).

Sistema	CT	CAp	pH	Turb
Várzea Alegre - Açude	0	1	0,9538	1
Altaneira - Açude	0	1	1	1
Cedro - Açude	0	0,6026	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 10: Índice de Concordância *Fuzzy* por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Bruta (2016) - Valores Médios.

Sistema	Média
Várzea Alegre - Açude	0,7385
Altaneira - Açude	0,7500
Cedro - Açude	0,6507

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 11: Índice de Concordância *Fuzzy* por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Bruta (2017).

Sistema	CT	CAp	pH	Turb
Várzea Alegre - Açude	0	1	1	1
Altaneira - Açude	0	0,0220	1	0,2293
Cedro - Açude	0	0,2875	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 12: Índice de Concordância *Fuzzy* por NFT para todos os sistemas e parâmetros - Água Bruta (2017) - Valores Médios.

Sistema	Média
Várzea Alegre - Açude	0,7500
Altaneira - Açude	0,3128
Cedro - Açude	0,5719

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Pela análise dos dados de água bruta, estimados via Índice de Concordância *Fuzzy* por Número *Fuzzy* Triangular, podemos notar que os parâmetros de pH e Turbidez são os que apresentaram maior grau de concordância aos valores máximos permitidos. No caso do pH, apenas o açude de Várzea Alegre para o ano de 2016 apresentou resultado abaixo de 1, tendo o valor de 0,9538. Em relação à Turbidez, somente no ano de 2017 houve uma concordância abaixo de 1, sendo o valor de 0,2293 para o açude de Altaneira. A Cor Aparente, dentre os 4, foi o parâmetro que mais apresentou variações. Nos anos de 2015 e 2016, houve índices satisfatórios para esse parâmetro em Várzea Alegre e Altaneira e péssimos índices em Cedro. Contudo, para o ano de 2017, o açude de Altaneira apresentou apenas 0,0220 de garantia, contrastando substancialmente com os dados dos anos anteriores e possuindo os piores dados para o ano em questão. O açude de Cedro obteve um índice pior que os anos anteriores, resultando em 0,2875. O açude de Várzea Alegre continuou com 1. No que tange aos Coliformes Totais, percebe-se, pelo estudo feito, que é um parâmetro que, praticamente, não obedeceu ao valor máximo, no que se refere aos açudes de Várzea Alegre, Altaneira e Cedro, apresentando índice de concordância de 0 para todos os anos, sendo apenas o açude de Várzea Alegre, em 2015, que apresentou garantia de 0,6770.

Em relação ao ano de 2015, observou-se índices de concordância que variaram na faixa de 0,6842 a 0,9193, sendo o açude de Cedro o de pior valor médio e Várzea Alegre o melhor. No caso de 2016, a média de concordância variou de 0,6507 a 0,7500, sendo, novamente, o açude de Cedro o de pior índice, mas Altaneira o de melhor, com uma pequena diferença para Altaneira, logo atrás. Para o ano de 2017, o grau de concordância por NFT variou de 0,3128 a 0,7500, sendo o açude de Altaneira o de pior índice e Várzea Alegre o de melhor, evidenciando uma não conformidade a padrões no que tange à qualidade da água para os açudes em estudo.

4.1.2 Resultados Garantia Índice de Conformidade por Grau de Falha

O Índice de Conformidade por Grau de Falha mostra o desempenho de cada parâmetro relativo aos respectivos sistemas no ano em questão a respeito apenas da falha ao valor máximo permitido. Ou seja, se passa do VMP, é considerado falha; se não passa do VMP, não é falha. Os resultados são apresentados abaixo (Tabelas 13 a 24):

Tabela 13: Índice de Conformidade por Grau de Falha para todos os sistemas e parâmetros (2015) - Água Tratada.

Sistema	Cl ⁻	CRL	CT	CA	DT	pH	Turb
Várzea Alegre - Rede	0,00%	0,00%	0,00%	3,73%	0,00%	0,00%	1,96%
Altaneira - Rede	0,00%	0,00%	0,00%	6,08%	0,00%	0,00%	1,34%
Cedro - Rede	0,00%	0,00%	0,00%	47,67%	0,00%	0,00%	8,00%
Várzea Alegre - ETA	0,00%	0,00%	2,08%	2,08%	0,00%	1,04%	2,08%
Altaneira - ETA	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	3,13%	0,00%	1,04%
Cedro - ETA	0,00%	0,00%	0,00%	44,21%	0,00%	0,00%	6,32%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 14: Interpretação dos Índices de Conformidade por Grau de Falha para todos os sistemas e parâmetros (2015) - Água Tratada.

Sistema	Média	Interpretação
Várzea Alegre - Rede	0,81%	Ruim
Altaneira - Rede	1,06%	Péssimo
Cedro - Rede	7,95%	Péssimo
Várzea Alegre - ETA	1,04%	Péssimo
Altaneira - ETA	0,60%	Ruim
Cedro - ETA	7,22%	Péssimo

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 15: Índice de Conformidade por Grau de falha para todos os sistemas e parâmetros (2016) - Água Tratada.

Sistema	Cl	CRL	CT	CAp	DT	pH	Turb
Várzea Alegre - Rede	0,00%	0,00%	3,49%	9,94%	0,00%	0,00%	3,71%
Altaneira - Rede	0,00%	0,00%	1,55%	1,36%	0,00%	0,00%	2,00%
Cedro - Rede	0,00%	0,00%	5,26%	55,41%	0,00%	0,00%	9,55%
Várzea Alegre - ETA	0,00%	0,00%	25,81%	4,21%	0,00%	0,00%	0,00%
Altaneira - ETA	0,00%	1,00%	3,26%	3,13%	0,00%	0,00%	4,17%
Cedro - ETA	0,00%	0,00%	7,53%	50,00%	0,00%	0,00%	5,21%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 16: Interpretação dos Índices de Conformidade por Grau de Falha para todos os sistemas e parâmetros (2016) - Água Tratada.

Sistema	Média	Interpretação
Várzea Alegre - Rede	2,45%	Péssimo
Altaneira - Rede	0,70%	Ruim
Cedro - Rede	10,03%	Péssimo
Várzea Alegre - ETA	4,29%	Péssimo
Altaneira - ETA	1,65%	Péssimo
Cedro - ETA	8,96%	Péssimo

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 17: Índice de Conformidade por Grau de falha para todos os sistemas e parâmetros (2017) - Água Tratada.

Sistema	Cl	CRL	CT	CAp	DT	pH	Turb
Várzea Alegre - Rede	0,00%	0,00%	2,58%	4,20%	0,00%	0,00%	6,72%
Altaneira - Rede	0,00%	0,00%	1,45%	42,86%	0,00%	0,00%	54,93%
Cedro - Rede	0,00%	0,00%	6,47%	19,31%	0,00%	0,00%	2,76%
Várzea Alegre - ETA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Altaneira - ETA	0,00%	0,00%	2,27%	35,56%	0,00%	0,00%	44,44%
Cedro - ETA	0,00%	0,00%	0,00%	22,22%	0,00%	0,00%	2,12%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 18: Interpretação dos Índices de Conformidade por Grau de Falha para todos os sistemas e parâmetros (2017) - Água Tratada.

Sistema	Média	Interpretação
Várzea Alegre - Rede	1,93%	Péssimo
Altaneira - Rede	14,18%	Péssimo
Cedro - Rede	4,08%	Péssimo
Várzea Alegre - ETA	ND	-
Altaneira - ETA	11,75%	Péssimo
Cedro - ETA	3,48%	Péssimo

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Observando as tabelas para água tratada, nota-se que houve uma baixíssima qualidade no padrão de água ofertada, visto que não pode haver falhas quando se trata de um padrão, que, teoricamente, era para ser considerado potável. Todos os sistemas obtiveram desempenho médio como péssimo, com exceção dos sistemas de Várzea Alegre – Rede e Altaneira – ETA no ano de 2015 e Altaneira – Rede no ano de 2016. Nota-se que os parâmetros Coliformes Totais, Cor Aparente e Turbidez foram os que mais possuíram grau de falha, prejudicando a média aos padrões exigidos. O parâmetro Cor Aparente foi o que mais prejudicou o Índice de Conformidade, logo seguido pela Turbidez.

Tabela 19: Índice de Conformidade por Grau de falha para todos os sistemas e parâmetros (2015) - Água Bruta.

Sistema	CT	CAp	pH	Turb
Várzea Alegre - Açude	54,55%	0,00%	0,00%	0,00%
Altaneira - Açude	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cedro - Açude	100,00%	9,09%	0,00%	0,00%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 20: Média dos Índices de Conformidade por Grau de Falha para todos os sistemas e parâmetros (2015) - Água Bruta

Sistema	Média
Várzea Alegre - Açude	13,64%
Altaneira - Açude	25,00%
Cedro - Açude	27,27%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 21: Índice de Conformidade por Grau de falha para todos os sistemas e parâmetros (2016) - Água Bruta.

Sistema	CT	CAp	pH	Turb
Várzea Alegre - Açude	100,00%	0,00%	9,09%	0,00%
Altaneira - Açude	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cedro - Açude	100,00%	7,69%	0,00%	0,00%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 22: Média dos Índices de Conformidade por Grau de Falha para todos os sistemas e parâmetros (2016) - Água Bruta.

Sistema	Média
Várzea Alegre - Açude	27,27%
Altaneira - Açude	25,00%
Cedro - Açude	26,92%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 23: Índice de Conformidade por Grau de falha para todos os sistemas e parâmetros (2017) - Água Bruta.

Sistema	CT	CAp	pH	Turb
Várzea Alegre - Açude	83,33%	0,00%	0,00%	0,00%
Altaneira - Açude	83,33%	66,67%	0,00%	50,00%
Cedro - Açude	100,00%	20,00%	0,00%	0,00%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 24: Média dos Índices de Conformidade por Grau de Falha para todos os sistemas e parâmetros (2017) - Água Bruta.

Sistema	Média
Várzea Alegre - Açude	20,83%
Altaneira - Açude	50,00%
Cedro - Açude	30,00%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Observando as tabelas de água bruta, nota-se um altíssimo grau de falha para os açudes em todos os anos de estudo. Isso se dá, principalmente, ao parâmetro Coliformes Totais que obteve 100% de falha na maioria das vezes. A Cor Aparente fica em segundo lugar como principal causador das altas médias de Índice de Conformidade por Grau de falha, seguida por Turbidez, que apresentou falha apenas no açude de Altaneira no ano de 2017. O pH não apresentou falhas. Para o caso do estudo de água bruta, não foi necessário o uso de interpretação para Índice de Conformidade por Grau de falha, pois não está atrelado diretamente ao uso pela população para fins mais restritos, como banho, lavagem de comida e potabilidade, não precisando ser tão rigoroso na avaliação como é feito com a água tratada, bastando apenas considerar as médias dos açudes, o que já dá informação suficiente para os fins destinados à água bruta.

4.1.3. Resultados Garantia Índice de Conformidade por Fração de Máximo Permitido

O Índice de Conformidade por Fração de Máximo Permitido mostra o desempenho de cada parâmetro relativo aos respectivos sistemas no ano em questão a respeito da quantidade que a média dos valores dos parâmetros representam em relação ao VMP. Diferentemente do I_{CONF} por Grau de Falha, o I_{CONF} por Fração de Máximo Permitido tem o intuito de demonstrar não apenas se passa ou não passa do VMP, o que concretiza uma falha, mas o quanto passa ou não passa do VMP, demonstrando a intensidade dos valores dos parâmetros em relação aos valores das normas. Os resultados são representados abaixo (Tabelas 25 a 36):

Tabela 25: Índice de Conformidade por Fração de Máximo Permitido (2015) – Água Tratada.

Sistema	Cl-	CRL	CT	CA	DT	pH	Turb
Várzea Alegre - Rede	9,49%	56,00%	0,00%	62,00%	15,00%	80,13%	42,76%
Altaneira - Rede	25,11%	53,44%	0,00%	47,66%	21,37%	83,22%	28,22%
Cedro - Rede	20,55%	33,63%	0,00%	111,14%	14,97%	77,29%	52,50%
Várzea Alegre - ETA	8,30%	54,00%	2,08%	58,00%	16,00%	79,89%	42,25%
Altaneira - ETA	27,90%	59,69%	0,00%	37,98%	17,72%	83,86%	25,13%
Cedro - ETA	19,55%	60,00%	0,00%	104,24%	17,06%	75,49%	42,02%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 26: Interpretação dos Índices de Conformidade por Fração de Máximo Permitido para todos os sistemas e parâmetros (2015) - Água Tratada.

Sistema	Média	Interpretação
Várzea Alegre - Rede	37,91%	Satisfatório
Altaneira - Rede	37,00%	Satisfatório
Cedro - Rede	44,30%	Satisfatório
Várzea Alegre - ETA	37,22%	Satisfatório
Altaneira - ETA	36,04%	Satisfatório
Cedro - ETA	45,48%	Satisfatório

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 27: Índice de Conformidade por Fração de Máximo Permitido (2016) – Água Tratada.

Sistema	Cl ⁻	CRL	CT	CA	DT	pH	Turb
Várzea Alegre - Rede	9,65%	37,23%	5,67%	81,18%	13,40%	80,46%	50,46%
Altaneira - Rede	35,29%	51,86%	1,50%	48,73%	26,49%	81,16%	28,46%
Cedro - Rede	22,31%	32,66%	5,26%	145,43%	15,23%	83,85%	58,99%
Várzea Alegre - ETA	9,26%	43,36%	25,80%	70,52%	17,84%	80,07%	45,13%
Altaneira - ETA	33,32%	62,80%	3,26%	46,63%	26,26%	82,31%	23,65%
Cedro - ETA	21,72%	59,69%	7,60%	140,00%	17,04%	80,00%	53,78%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Tabela 28: Interpretação dos Índices de Conformidade por Fração de Máximo Permitido para todos os sistemas e parâmetros (2016) - Água Tratada.

Sistema	Média	Interpretação
Várzea Alegre - Rede	39,72%	Satisfatório
Altaneira - Rede	39,07%	Satisfatório
Cedro - Rede	51,96%	Satisfatório
Várzea Alegre - ETA	41,71%	Satisfatório
Altaneira - ETA	39,75%	Satisfatório
Cedro - ETA	54,26%	Satisfatório

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 29: Índice de Conformidade por Fração de Máximo Permitido (2017) – Água Tratada.

Sistema	Cl ⁻	CRL	CT	CA	DT	pH	Turb
Várzea Alegre - Rede	10,33%	34,92%	2,57%	74,08%	18,82%	79,04%	62,75%
Altaneira - Rede	22,21%	54,22%	1,40%	536,28%	14,60%	76,90%	238,79%
Cedro - Rede	19,04%	34,20%	6,47%	96,20%	12,00%	80,64%	32,49%
Várzea Alegre - ETA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Altaneira - ETA	23,20%	58,91%	2,27%	384,44%	15,00%	76,48%	157,13%
Cedro - ETA	18,60%	58,04%	0,00%	80,37%	12,70%	80,00%	23,66%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 30: Interpretação dos Índices de Conformidade por Fração de Máximo Permitido para todos os sistemas e parâmetros (2017) - Água Tratada.

Sistema	Média	Interpretação
Várzea Alegre - Rede	40,36%	Satisfatório
Altaneira - Rede	134,91%	Péssimo
Cedro - Rede	40,15%	Satisfatório
Várzea Alegre - ETA	ND	-
Altaneira - ETA	102,49%	Ruim
Cedro - ETA	39,05%	Satisfatório

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Observando as tabelas de água tratada, nota-se que foram obtidos, em sua quase totalidade, desempenhos satisfatórios para todos os sistemas em todos os anos, sendo considerado apenas ruim o Sistema Altaneira – ETA e péssimo o Altaneira – Rede do ano de 2017. O parâmetro Coliformes Totais foi o que apresentou menores valores, de forma geral, comparado ao seu VMP. Os parâmetros Cor Aparente e Turbidez foram os que mais apresentaram problemas, com a Cor Aparente chegando a 536,28% e Turbidez a 238,79%, o que representa 5,36 e 2,39 vezes o valor de seus respectivos máximos permitidos, gerando um aumento substancial no índice de concordância médio para seus sistemas.

Tabela 31: Índice de Conformidade por Fração de Máximo Permitido (2015) - Água Bruta.

Sistema	CT	C _{Ap}	pH	Turb
Várzea Alegre - Açude	148,68%	22,90%	91,76%	2,05%
Altaneira - Açude	232,72%	40,00%	88,28%	4,10%
Cedro - Açude	228,18%	72,66%	78,86%	3,67%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 32: Média dos Índices de Conformidade por Fração de Máximo Permitido para todos os sistemas e parâmetros (2015) - Água Bruta.

Sistema	Média
Várzea Alegre - Açude	66,35%
Altaneira - Açude	91,28%
Cedro - Açude	95,84%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 33: Índice de Conformidade por Fração de Máximo Permitido (2016) - Água Bruta.

Sistema	CT	CAp	pH	Turb
Várzea Alegre - Açude	743,64%	23,33%	89,23%	39,68%
Altaneira - Açude	2696,60%	31,66%	89,91%	7,20%
Cedro - Açude	1130,00%	72,05%	86,83%	7,10%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 34: Média dos Índices de Conformidade por Fração de Máximo Permitido para todos os sistemas e parâmetros (2016) - Água Bruta.

Sistema	Média
Várzea Alegre - Açude	223,97%
Altaneira - Açude	706,34%
Cedro - Açude	324,00%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 35: Índice de Conformidade por Fração de Máximo Permitido (2017) - Água Bruta.

Sistema	CT	CAp	pH	Turb
Várzea Alegre - Açude	292,00%	26,66%	87,51%	3,39%
Altaneira - Açude	3918,30%	301,11%	84,77%	122,48%
Cedro - Açude	2038,30%	80,00%	86,72%	11,38%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 36: Média dos Índices de Conformidade por Fração de Máximo Permitido para todos os sistemas e parâmetros (2017) - Água Bruta.

Sistema	Média
Várzea Alegre - Açude	102,39%
Altaneira - Açude	1106,67%
Cedro - Açude	554,10%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Por meio da análise das tabelas de água bruta, nota-se um elevadíssimo índice de conformidade por fração de máximo permitido, com exceção do ano de 2015. Isso se dá, quase

exclusivamente, pelo altíssimo grau de coliformes totais presente nas amostras estudadas, o que afeta de forma substancial a média dos açudes. A quantidade de coliformes totais chega a ultrapassar o seu VMP em 39,18 vezes, como consta no açude de Altaneira em 2017. O parâmetro pH obedeceu à norma em todos os casos. Cor Aparente e Turbidez possuíram extrapolações apenas em Altaneira no ano de 2017, chegando a 3,01 e 1,22 vezes o valor de seus respectivos VMPs. Assim como no Índice de Conformidade por Grau de Falha, adotou-se a não necessidade de interpretação das médias, bastando apenas os resultados obtidos, como já informado no tópico acima.

5. CONCLUSÃO

A metodologia utilizada mostrou-se elucidativa, cumprindo os objetivos a qual foi destinada: estimar a garantia dos sistemas e revelar seus atuais estados de confiabilidade, atrelando ao grau de falha e fração dos parâmetros mediante seus limites impostos por normas. O presente trabalho permitiu concluir que as qualidades das águas tratada e bruta se deram de forma insatisfatória, visto que os resultados obtidos pelo I_{CF} , além do I_{CONF} por Grau de Falha, mostraram, de forma substancial, o não atendimento aos VMPs, sabendo que o não atendimento, quando se trata de água e seus usos, possui baixíssima tolerância devido aos riscos e consequências envolvidas. Apesar do Índice de Concordância por Fração de Máximo apresentar, em sua grande maioria, valores satisfatórios para os sistemas, os Índices de Concordância *Fuzzy* e Conformidade por Grau de Falha, mostraram que as médias obtidas não satisfazem a necessidade da qualidade de água dentro dos padrões, revelando, assim, um ponto crucial do estudo: um sistema, sendo esse constituído por uma ETA, rede ou açude, pode apresentar baixos valores médios de seus parâmetros, mas apresentar um alto grau de falha e baixo índice de concordância. Isso se deu, pois os sistemas de água tratada apresentaram, em sua grande maioria, baixos valores em seus parâmetros, muito abaixo do VMP. Contudo, possuíam alguns dados que passavam do VMP, o que já bastava para que representasse um sistema de baixa confiabilidade, afetando diretamente o cálculo do I_{CF} e do I_{CONF} por Grau de Falha. Em relação à água bruta, tanto o I_{CF} , como os I_{CONF_s} apresentaram, de forma geral, resultados insatisfatórios. Os parâmetros que mais contribuíram para a baixa qualidade nas águas estudadas foram Coliformes Totais, Cor Aparente e Turbidez. Nota-se um problema recorrente em todos os anos. Os parâmetros Cloreto, Cloro Residual Livre, Dureza Total e pH, praticamente, não apresentaram problemas.

Por fim, pôde-se concluir, portanto, que os modelos de NFT são uma alternativa sólida na avaliação da garantia da qualidade da água nas estações de tratamento, já que se pode obter melhor controle dos processos operacionais, bem como o fornecimento de informações para uma melhor gestão, atrelando-o, preferencialmente, a outros modelos matemáticos, que reforcem seus resultados ou os aborde por outra ótica, assegurando uma maior robustez no uso das informações. Para trabalhos futuros, sugere-se: utilização de dados de mais municípios que façam parte da Bacia do Salgado, avaliação de outros parâmetros, uso de dados mais antigos, outro modelo de função de pertinência *fuzzy* e adaptação do índice de conformidade para outra abordagem a ser seguida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasil. ANA, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914**, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília-DF: Ministério da Saúde, 2011.

BRASIL. **Resolução CONAMA 357**, de 17 de março de 2005. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 10 abril 2018.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L.P. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. São Carlos: Editora LDIBE LTDA, v. 2, 2008.

FREITAS, M.B.; BRILHANTE, O.M.; ALMEIDA, L.M. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Caderno Saúde Pública**, v. 17, n. 3, p. 651-660, 2001.

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

INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION. **Performance indicators for water supply services**. IWA publishing, 2006.

MARRO, A.A.; SOUZA, A.D.C.; CAVALCANTE, E.D.S.; BEZERRA, G.S.; NUNES, R. **Lógica fuzzy: conceitos e aplicações**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal-RN, 2010.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. São Carlos, SP. 233p. (Dissertação Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2001. Disponível em www.usp.com.br. Acesso em 15/03/2018.

Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB) **Noções Gerais de Tratamento de Disposição Final de Lodos de ETA**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

REALI, M. A. P. **Principais Características Quantitativas e Qualitativas do Lodo de ETAs**. In: REALI, M. A. P. (coord.) **Noções Gerais de Tratamento de Disposição Final de Lodos de ETA**. Rio de Janeiro: ABES / PROSAB, 1999. p. 21-39.

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil capitais ecológicos usos e conservação**. 3 ed. São Paulo: Escrituras, 2002. p. 269-324.

RENTERÍA, A. R. **Estimación de probabilidade fuzzy a partir dos dados imprecisos**. Rio de Janeiro: MAXWELL, 2006.

RUTKOVSKI, E. **Bacia Hidrográfica e Bacia Ambiental**. São Paulo: SABESP; Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras do Governo do Estado de São Paulo, 1999.

VON SPERLING M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª Edição. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Editora da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – Belo Horizonte, 2005.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2.ed. v.1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

ZADEH, L. A. **Fuzzy Sets**. Information and Control, v. 8, n. 3, pp. 338-353, 1965.

ANEXOS

ANEXO A – ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA *FUZZY* (2015) – ÁGUA TRATADA

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Várzea Alegre - Rede de Abastecimento (2015)							
Dados	Cl	CRL	CT	CAp	DT	pH	Turb
a1 (mínimo)	22,82	0,8	0	2	64,65	6,12	0,16
a2 (média)	23,73	2,82	0	9,37	77,12	7,61	2,14
a3 (máximo)	24,63	4	0	80	89,59	8,26	20,3
VL (Valor Limite)	250	5	0	15	500	9,5	5
Índice de Concordância	1	1	-	0,2331	1	1	0,3603

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Altaneira - Rede de Abastecimento (2015)							
Dados	Cl	CRL	CT	CAp	DT	pH	Turb
a1(mínimo)	44,13	1	0	1,5	60,61	7,37	0,38
a2(média)	62,78	2,67	0	7,15	106,83	7,91	1,41
a3(máximo)	69,04	3,5	0	100	118,66	8,43	5,78
VL (Valor Limite)	250	5	0	15	500	9,5	5
Índice de Concordância	1	1	-	0,2100	1	1	0,9742

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Cedro - Rede de Abastecimento (2015)							
Dados	Cl	CRL	CT	CAp	DT	pH	Turb
a1(mínimo)	43,15	0,5	0	2	64,59	6,73	0,4
a2(média)	51,37	1,68	0	16,67	74,87	7,34	2,63
a3(máximo)	59,58	3	0	60	85,15	8,37	65,65
VL (Valor Limite)	250	5	0	15	500	9,5	5
Índice de Concordância	1	1	-	0,1986	1	1	0,1056

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Várzea Alegre - Saída do Sistema (2015)							
Dados	Cl	CRL	CT	CAp	DT	pH	Turb
a1(mínimo)	19,84	1	0	2	64,65	6,73	0,39
a2(média)	20,76	2,68	0,01	8,63	80,25	7,59	2,11
a3(máximo)	21,67	4	1	20	95,84	9,61	5,45
VL (Valor Limite)	250	5	0	15	500	9,5	5
Índice de Concordância	1	1	0	0,8778	1	0,9980	0,9880

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Altaneira - Saída do Sistema (2015)							
Dados	Cl	CRL	CT	CAp	DT	pH	Turb
a1(mínimo)	64,54	2	0	1	60,61	7,41	0,28
a2(média)	69,75	2,98	0	5,7	88,64	7,97	1,26
a3(máximo)	74,96	4	0	20	116,67	8,41	15,4
VL (Valor Limite)	250	5	0	15	500	9,5	5
Índice de Concordância	1	1	-	0,9080	1	1	0,4941

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Cedro - Saída do Sistema (2015)							
Dados	Cl	CRL	CT	CAp	DT	pH	Turb
a1(mínimo)	40,2	3	0	2	85,15	6,2	0,24
a2(média)	49,9	3	0	15,63	85,29	7,17	2,1
a3(máximo)	57,59	3	0	50	85,42	8,09	47,6
VL (Valor Limite)	250	5	0	15	500	9,5	5
Índice de Concordância	1	1	-	0,2581	1	1	0,1578

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

ANEXO B – ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA *FUZZY* (2015) – ÁGUA BRUTA

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Várzea Alegre - Açude Dep. Otacílio Correia (2015)				
Dados	CT	CAp	pH	Turb
a1(mínimo)	log 55	2	7,65	1,77
a2(média)	log 1486	17,18	8,26	3,32
a3(máximo)	log 2400	30	8,78	8,84
VL (Valor Limite)	log 1000	75	9	100
Índice de Concordância	0,6770	1	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Altaneira - Açude Valério (2015)				
Dados	CT	CAp	pH	Turb
a1(mínimo)	log 1600	20	7,16	2,6
a2(média)	log 2327,27	23,64	7,95	4,16
a3(máximo)	log 2400	30	8,7	5,52
VL (Valor Limite)	log 1000	75	9	100
Índice de Concordância	0	1	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Cedro - Açude Ubaldinho (2015)				
Dados	CT	CAp	pH	Turb
a1(mínimo)	log 1100	2,5	6,7	1,76
a2(média)	log 2281,81	54,5	7,1	3,67
a3(máximo)	log 3,38	120	7,39	13,7
VL (Valor Limite)	log 1000	75	9	100
Índice de Concordância	0	0,7369	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

ANEXO C – ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA *FUZZY* (2016) – ÁGUA TRATADA

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Várzea Alegre - Rede de Abastecimento (2016)							
Dados	Cl	CRL	CT	CAp	DT	pH	Turb
a1(mínimo)	23,82	0,2	0	2	64,65	7,05	0,21
a2(média)	24,14	1,86	0,09	12,18	67,02	7,64	2,52
a3(máximo)	24,45	3	1	50	69,39	9,18	13,9
VL (Valor Limite)	250	5	0	15	500	9,5	5
Índice de Concordância	1	1	0	0,3252	1	1	0,4916

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Altaneira - Rede de Abastecimento (2016)							
Dados	Cl	CRL	CT	CAp	DT	pH	Turb
a1(mínimo)	81,44	1	0	2	131,31	7,1	0,16
a2(média)	88,24	2,59	0,015	7,31	132,49	7,75	1,42
a3(máximo)	95,04	3	1	20	133,67	8,52	6,2
VL (Valor Limite)	250	5	0	15	500	9,5	5
Índice de Concordância	1	1	0	0,8900	1	1	0,9500

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Várzea Alegre - Saída do Sistema (2016)							
Dados	Cl	CRL	CT	CAp	DT	pH	Turb
a1(mínimo)	22,83	0,5	0	5	67,35	6,95	0,81
a2(média)	23,15	2,17	0,26	10,58	89,23	7,61	2,26
a3(máximo)	23,47	3	1	30	111,11	8,56	4,66
VL (Valor Limite)	250	5	0	15	500	9,5	5
Índice de Concordância	1	1	0	0,5400	1	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Altaneira - Saída do Sistema (2016)							
Dados	Cl	CRL	CT	CAp	DT	pH	Turb
a1(mínimo)	78,46	1,5	0	2	131,31	7,03	0,28
a2(média)	83,32	3,14	0,03	6,99	132,32	7,82	1,18
a3(máximo)	88,18	23	1	20	132,32	8,53	10,2
VL (Valor Limite)	250	5	0	15	500	9,5	5
Índice de Concordância	1	0,2412	0	0,8932	1	1	0,6978

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Cedro - Saída do Sistema (2016)							
Dados	Cl	CRL	CT	CAp	DT	pH	Turb
a1(mínimo)	45,04	2	0	1,93	75,51	7,12	0,32
a2(média)	54,3	2,98	0,08	21	85,23	7,6	2,69
a3(máximo)	63,56	3	1	100	94,95	8,14	35,7
VL (Valor Limite)	250	5	0	15	500	9,5	5
Índice de Concordância	1	1	0	0,9130	1	1	0,1930

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

ANEXO D – ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA *FUZZY* (2016) – ÁGUA BRUTA

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Várzea Alegre - Açude Dep. Otacílio Correia (2016)				
Dados	CT	CAp	pH	Turb
a1(mínimo)	log 2400	2,5	7,34	1,86
a2(média)	log 7436,36	17,5	8,03	3,97
a3(máximo)	log 37000	30	9,35	9,5
VL (Valor Limite)	log 1000	75	9	100
Índice de Concordância	0	1	0,9538	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Altaneira - Açude Valério (2016)				
Dados	CT	CAp	pH	Turb
a1(mínimo)	log 2400	15	7,04	3,03
a2(média)	log 26966,47	23,75	8,09	7,2
a3(máximo)	log 240000	30	8,69	17,4
VL (Valor Limite)	log 1000	75	9	100
Índice de Concordância	0	1	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Cedro - Açude Ubaldinho (2016)				
Dados	CT	CAp	pH	Turb
a1(mínimo)	log 1600	2,5	7,07	0,3
a2(média)	log 11300	54,04	7,82	7,11
a3(máximo)	log 110000	150	8,82	12,8
VL (Valor Limite)	log 1000	75	9	100
Índice de Concordância	0	0,6026	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

ANEXO E – ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA *FUZZY* (2017) – ÁGUA TRATADA

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Várzea Alegre - Rede de Abastecimento (2017)							
Dados	Cl	CRL	CT	CAp	DT	pH	Turb
a1(mínimo)	23,83	0,3	0	2,5	76	7,13	0,48
a2(média)	25,82	1,75	0,03	11,11	94,12	7,51	3,14
a3(máximo)	27,81	3	1	50	112,24	8	12,9
VL (Valor Limite)	250	5	0	15	500	9,5	5
Índice de Concordância	1	1	0	0,3369	1	1	0,4853

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Altaneira - Rede de Abastecimento (2017)							
Dados	Cl	CRL	CT	CAp	DT	pH	Turb
a1(mínimo)	54,62	1	0	2	72	6,72	0,13
a2(média)	55,53	2,71	0,01	26,81	73	7,31	11,94
a3(máximo)	56,43	3	1	150	74	7,9	64,9
VL (Valor Limite)	250	5	0	15	500	9,5	5
Índice de Concordância	1	1	0	0,0460	1	1	0,0310

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Cedro - Rede de Abastecimento (2017)							
Dados	Cl	CRL	CT	CAP	DT	pH	Turb
a1(mínimo)	46	0,5	0	2,5	58	7,25	0,34
a2(média)	47,61	1,71	0,06	14,43	60	7,66	1,62
a3(máximo)	49,21	3	1	70	62	8,01	10,2
VL (Valor Limite)	250	5	0	15	500	9,5	5
Índice de Concordância	1	1	0	0,1935	1	1	0,6804

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Várzea Alegre - Saída do Sistema (2017)							
Dados	Cl	CRL	CT	CAP	DT	pH	Turb
a1(mínimo)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
a2(média)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
a3(máximo)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
VL (Valor Limite)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Índice de Concordância	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Altaneira - Saída do Sistema (2017)							
Dados	Cl	CRL	CT	CAP	DT	pH	Turb
a1(mínimo)	57,43	1	0	2,5	74	6,76	0,34
a2(média)	58,02	2,95	0,02	19,2	75	7,27	7,86
a3(máximo)	58,6	3	1	150	76	7,99	100
VL (Valor Limite)	250	5	0	15	500	9,5	5
Índice de Concordância	1	1	0	0,0634	1	1	0,0290

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Cedro - Saída do Sistema (2017)							
Dados	Cl	CRL	CT	CAP	DT	pH	Turb
a1(mínimo)	45,02	1	0	2,5	60	7,33	0,3
a2(média)	46,51	2,9	0	12,06	63,33	7,6	1,18
a3(máximo)	48	3	0	30	68	7,99	2,35
VL (Valor Limite)	250	5	0	15	500	9,5	5
Índice de Concordância	1	1	-	0,5442	1	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

ANEXO F – ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA *FUZZY* (2017) – ÁGUA BRUTA

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Várzea Alegre - Açude Dep. Otacílio Correia (2017)				
Dados	CT	CAp	pH	Turb
a1(mínimo)	log 1900	15	7,49	1,64
a2(média)	log 3650	20	7,88	3,39
a3(máximo)	log 7400	30	8,25	6,22
VL (Valor Limite)	log 1000	75	9	100
Índice de Concordância	0	1	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Altaneira - Açude Valério (2017)				
Dados	CT	CAp	pH	Turb
a1(mínimo)	log 1000	30	6,85	14,1
a2(média)	log 39183,33	225,83	7,63	122,48
a3(máximo)	log 170000	500	8,3	311
VL (Valor Limite)	log 1000	75	9	100
Índice de Concordância	0	0,0220	1	0,2293

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> - Cedro - Açude Ubaldinho (2017)				
Dados	CT	CAp	pH	Turb
a1(mínimo)	log 2300	30	7,58	3,87
a2(média)	log 20383,33	60	7,81	11,39
a3(máximo)	log 77000	150	8,08	40,9
VL (Valor Limite)	log 1000	75	9	100
Índice de Concordância	0	0,2875	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).