



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

**BEN SHALOM LEVI PINHO FEITOSA COUTO**

**GARANTIA *FUZZY* APLICADA A PARÂMETROS DA QUALIDADE DA ÁGUA  
DISTRIBUÍDA NA CIDADE DE TIANGUÁ, CEARÁ**

**FORTALEZA**

**2018**

BEN SHALOM LEVI PINHO FEITOSA COUTO

GARANTIA *FUZZY* APLICADA A PARÂMETROS DA QUALIDADE DA ÁGUA  
DISTRIBUÍDA NA CIDADE DE TIANGUÁ, CEARÁ

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como parte do requisito para obtenção do título de Engenheiro 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)

---

C899g Couto, Ben Shalom Levi Pinho Feitosa.  
Garantia Fuzzy aplicada a parâmetros da qualidade da água distribuída na cidade de Tianguá,  
Ceará. Ben Shalom Levi Pinho Feitosa Couto. – 2018.  
45 f. : il. color.

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

1. Qualidade da Água. 2. Lógica Fuzzy. I. Título.

---

CDD 621.042

BEN SHALOM LEVI PINHO FEITOSA COUTO

GARANTIA *FUZZY* APLICADA A PARÂMETROS DA QUALIDADE DA ÁGUA  
DISTRIBUÍDA NA CIDADE DE TIANGUÁ, CEARÁ

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como parte do requisito para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

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

---

Profa. Dra. Marisete Dantas de Aquino (Examinadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Enga. Maria Patrícia Sales Castro, MEng. (Examinadora)  
Convidada

A Deus.

Aos meus pais, meus irmãos, minha irmã,  
minhas tias e meu tio.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva, pela paciência durante o processo de elaboração deste estudo e pela excelente orientação, que não se limitou a abordagem técnica dos assuntos tratados.

Aos professores da graduação, pela sua dedicação profissional e tempo concedido para o esclarecimento de dúvidas.

Aos colegas da turma de graduação, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

## RESUMO

A qualidade da água distribuída para o consumo humano é de fundamental importância para a manutenção da saúde e da qualidade de vida de uma população. Tendo em vista a importância desse recurso essencial a vida, se faz necessário avaliar alguns parâmetros de qualidade da água que são capazes de indicar se a mesma está, ou não, adequada para o consumo humano.

No intuito de avaliar a qualidade da água distribuída no município de Tianguá, localizado no interior do estado do Ceará, este trabalho analisa os parâmetros de qualidade da água distribuída nesse município para avaliar a garantia dada pelo sistema de abastecimento da cidade frente aos padrões de qualidade exigidos pela portaria MS N° 2914 de 2011.

A metodologia de avaliação utilizada foi a Garantia *Fuzzy* que se mostrou adequada para o monitoramento dos seguintes parâmetros: Cloro Residual, pH, Turbidez e Cor Aparente. As amostras estudadas foram coletadas no período de 2010 a 2017 e somam um total de 5071 amostras. Os resultados do estudo apontam que a qualidade da água distribuída no período observado apresentou-se, na maioria das amostras, dentro dos requisitos exigidos pelo Ministério da Saúde.

**Palavras-chave:** Qualidade da água distribuída. Tianguá. Garantia *Fuzzy*.

## ABSTRACT

The water quality distributed for human consumption is fundamental importance for the maintenance of the health and life quality of a population. In view of the importance of this essential resource for life, it is necessary to evaluate some parameters of water quality that are able to indicate if it is or is not suitable for human consumption. In order to evaluate the quality of water distributed in the city of Tianguá, located in the northwest of the Ceará state, this work analyzes the water quality parameters distributed in this municipality to evaluate the guarantee given by the city's supply system against the quality standards required by Ordinance MS No. 2914 of 2011. The evaluation methodology used was the Fuzzy Guarantee, which proved adequate for monitoring the following parameters: Residual Chlorine, pH, Turbidity and Apparent Color. Samples were collected from 2010 to 2017 and totaled 5071 samples. Results of the study indicate that the quality of the water distributed in the observed period presented, in the great majority of samples, within the requirements demanded by the Ministry of Health.

**Keywords:** Distributed water quality. Tianguá. *Fuzzy Warranty*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação gráfica de um conjunto <i>Fuzzy</i> .....	19
Figura 2 – Número <i>Fuzzy</i> Triangular (NFT) .....	20
Figura 3 - Localização do município de Tianguá e do açude Jaburu .....	21
Figura 4 – Evolução da vazão da rede de distribuição .....	22
Figura 5 – Evolução da extensão da rede e do IC .....	23
Figura 6 – Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> entre um número difuso (D) e outro não difuso (H) contínuo à esquerda. ....	24
Figura 7 – Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> (ICF) entre um número difuso e o VMP como número não difuso .....	25
Figura 8 – Representação das áreas de interseção entre Números <i>Fuzzy</i> Triangulares e os valores limites mínimo e máximo. ....	25
Figura 9 - ICF da Turbidez ao longo do período de 2010-2011 .....	28
Figura 10 - ICF do pH ao longo do período de 2010-2011 .....	29
Figura 11 - ICF do Cloro Residual Livre do período de 2010-2011 .....	29
Figura 12 - ICF da Cor Aparente do período de 2010-2011 .....	30
Figura 13 - ICF da Turbidez ao longo do período de 2012-2013.....	30
Figura 14 - ICF do pH ao longo do período de 2012-2013.....	31
Figura 15 - ICF do Cloro Residual Livre do período de 2012-2013.....	31
Figura 16 - ICF da Cor Aparente do período de 2012-2013 .....	32
Figura 17 - ICF da Turbidez ao longo do período de 2014-2015.....	32
Figura 18 - ICF do pH ao longo do período de 2014-2015.....	33
Figura 19 - ICF do Cloro Residual Livre do período de 2014-2015.....	33
Figura 20 - ICF da Cor Aparente do período de 2014-2015 .....	34
Figura 21 - ICF da Turbidez ao longo do período de 2016-2017.....	34
Figura 22 - ICF do pH ao longo do período de 2016-2017.....	35
Figura 23 - ICF do Cloro Residual Livre do período de 2016-2017.....	35
Figura 24 - ICF da Cor Aparente do período de 2016-2017 .....	36
Figura 25 - ICF da Turbidez ao longo do período de 2010-2017.....	37
Figura 26 - ICF do pH ao longo do período de 2010-2017.....	37
Figura 27 - ICF do Cloro Residual Livre do período de 2010-2017.....	38
Figura 28 - ICF da Cor Aparente do período de 2010-2017 .....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores recomendados para cada parâmetro.....	26
Tabela 2 – I <sub>CF</sub> dos parâmetros analisados por período .....	27

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
ICF	Índice de Concordância <i>Fuzzy</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
km	Quilometro
m	Metros
NFT	Número <i>Fuzzy</i> Triangular
uT	Unidade de Turbidez
uH	Unidade Hazen de Cor
VMP	Valor Máximo Permitido
OMS	Organização Mundial de Saúde
MS	Ministério da Saúde

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1	Motivações de Estudo.....	13
1.2	Objetivo .....	13
2	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	14
2.1	Qualidade da Água na Rede de Distribuição.....	14
2.2	Padrões de Qualidade .....	14
2.2.1	Cloro Residual Livre .....	15
2.2.2	Turbidez.....	15
2.2.3	Cor Aparente.....	16
2.2.4	pH.....	16
2.3	Lógica <i>Fuzzy</i> .....	17
2.3.1	Número Fuzzy Triangular.....	18
3	<b>METODOLOGIA</b> .....	20
3.1	Caracterização da Área de Estudo .....	20
3.2	Rede de Distribuição .....	21
3.3	Parâmetros analíticos de monitoração .....	22
3.4	Enfoque do estudo .....	22
3.4.1	Índice de Concordância Fuzzy (ICF) .....	22
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	26
4.1	Garantias.....	26
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	39
6	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	40

## 1 INTRODUÇÃO

O monitoramento da qualidade da água distribuída a população de uma cidade é de fundamental importância devido os impactos que a água de má qualidade pode causar na saúde das pessoas. Tendo em vista que o custo, tanto do ponto de vista financeiro quanto no de bem-estar social, para o tratamento de doenças que estão relacionadas a qualidade da água distribuída é maior do que o custo para tornar essa água adequada ao consumo humano, é preferível, que a qualidade da água distribuída esteja dentro dos padrões estabelecidos.

Esses padrões são estabelecidos pela Portaria MS Nº 2914 de 12/12/2011, transposta como tema da Portaria de Consolidação nº 5, que dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Dentre os parâmetros de qualidade observados pela lei, o presente trabalho buscou estudar os seguintes parâmetros: pH, Cloro Residual Livre, Cor Aparente e Turbidez. O monitoramento da qualidade desses parâmetros é um dos procedimentos básicos para saber se água distribuída atende, ou não, aos requisitos estabelecidos pela lei.

São várias as possíveis consequências do não atendimento aos padrões estabelecidos. Por exemplo, caso o pH da água distribuída a população não esteja dentro dos limites estabelecidos pela norma, a população fica exposta ao risco de ter sua saúde afetada por consumir uma água demasiadamente ácida ou, no caso contrário, demasiadamente alcalina.

Neste estudo o método estatístico empregado para avaliar a garantia da rede de distribuição de água foi o número *fuzzy* triangular (NFT).

## 1.1 Motivações de Estudo

Tendo em vista a necessidade de se ter um sistema de distribuição de água tratada que seja capaz de atender os requisitos de qualidade estabelecidos pela Portaria MS Nº 2914 DE 12/12/2011 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011), afim de garantir o abastecimento de água em sua quantidade e qualidade adequadas a população, se faz necessário ter ferramentas que sejam capazes de avaliar a eficiência desse sistema.

As consequências de não se ter um sistema de abastecimento de água tratada que seja capaz de garantir a qualidade desta, é o impacto negativo que isso pode acarretar na saúde de toda população abastecida por esse sistema.

No intuito de minimizar a possibilidade de ocorrência de um evento não desejado, como a distribuição de água fora dos padrões de qualidade determinados por lei, podemos utilizar ferramentas estatísticas para realizar, de forma periódica, uma análise dos dados de qualidade da água referentes a um determinado intervalo de tempo. Fazendo o acompanhamento periódico dessas informações se torna possível evidenciar falhas no sistema e ainda determinar a sua confiabilidade, podendo o mesmo vir a ser alvo de medidas corretivas, caso seja necessário.

Para suprir essa necessidade, o método do Número *Fuzzy* Triangular (NFT) surge como uma ferramenta acessível e de fácil utilização. Esse método auxiliará na avaliação da garantia dada pelo sistema de distribuição de água tratada da cidade de Tianguá a respeito dos parâmetros estudados.

## 1.2 Objetivo

O objetivo desse trabalho foi calcular e analisar a garantia dada pelo sistema de distribuição de água tratada a respeito dos parâmetros de Cloro Residual Livre, pH, Turbidez e Cor Aparente, do município de Tianguá, localizado no interior do estado do Ceará, utilizando o método do Número *Fuzzy* Triangular (NFT).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Qualidade da Água na Rede de Distribuição

A água pode veicular um elevado número de enfermidades e essa transmissão pode se dar por diferentes mecanismos. O mecanismo de transmissão de doenças mais comumente lembrado e diretamente relacionado à qualidade da água é o da ingestão, por meio do qual um indivíduo sadio ingere água que contenha componente nocivo à saúde e a presença desse componente no organismo humano provoca o aparecimento de doença (BRASIL, 2011).

Assim, um conhecimento mais completo dessas situações só se verificará com procedimentos corretos de controle e vigilância da qualidade da água. Por meio desses, tem-se a inspeção do produto – a água distribuída e consumida. Com essa inspeção, realizada em frequência adequada e nos pontos mais vulneráveis do sistema, tem-se uma visão da probabilidade de ocorrência de episódios de qualidade indesejável da água, o que permite identificar possíveis ocorrências negativas e assim impedi-las ou evitá-las, ou ainda possíveis procedimentos inadequados e assim corrigi-los. Essa inspeção do produto ocorre mediante a realização de análises físico-químicas e microbiológicas, estrategicamente planejadas, para conjuntos de parâmetros de qualidade, conforme definido na legislação relativa aos padrões de potabilidade. A concepção desse procedimento é probabilística. Assim, procura-se, determinar, por uma amostragem no sistema, o risco à saúde da população relacionado a qualidade da água consumida por ela (*Ibidem*).

### 2.2 Padrões de Qualidade

O acesso a água de qualidade é de fundamental importância para a manutenção de uma vida saudável. Um dos meios legais criados para regular a distribuição desse importante insumo para a vida humana é a Portaria MS Nº 2914 DE 12/12/2011 que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

A qualidade da água distribuída para o consumo da população deve observar as exigências dessa portaria. Ela apresenta o intervalo ou, em alguns casos, o limite do valor a ser observado, quantitativamente, por cada um dos parâmetros analisados.

Esses parâmetros são definidos para que a água distribuída atenda um dos principais critérios de potabilidade, o de que água não cause mal à saúde humana.

Além de não causar nenhum mal à saúde humana, a água para abastecimento humano deve respeitar vários critérios de ordem organoléptica e estética (HELLER; PÁDUA, 2010).

### **2.2.1 Cloro Residual Livre**

O cloro é uma das substâncias químicas mais utilizadas nos processos de desinfecção da água. Isso ocorre devido essa substância apresentar uma alta capacidade para combater os vírus e bactérias que causam doenças e que são de veiculação hídrica.

É comum nos processos de desinfecção a ocorrência da reação de cloro gasoso com a água, originando o ácido hipocloroso que, posteriormente, se dissocia em íon hipoclorito. A presença desses dois compostos é dada o nome de cloro residual livre. O ácido hipocloroso é um desinfetante muito mais oxidante, todavia sua predominância ocorre em pH baixo. Por esta razão, a Portaria 2914 recomenda que a desinfecção com compostos de cloro deva ser realizada com pH inferior a 8,0, garantindo a prevalência do ácido hipocloroso (LIBÂNIO, 2010).

É importante a manutenção do cloro residual nas redes de distribuição para minimizar o desenvolvimento microbológico (LIBÂNIO, 2010). Devido a isso, a Portaria 2914 recomenda que a concentração mínima de cloro residual livre seja de 0,2 mg/L, no intuito de inibir a proliferação de bactérias. Porém a portaria também apresenta a concentração máxima de cloro residual livre em 5 mg/L. Tanto uma concentração abaixo da permitida como uma acima apresentam riscos à saúde humana.

### **2.2.2 Turbidez**

A turbidez da água é caracterizada pela presença de partículas em suspensão que se encontram na mesma. Essas partículas interferem na limpidez da água pois são responsáveis por fazer com que a água se torne menos translúcida. Essa diminuição ocorre devido uma queda na capacidade de penetração da luz, causada pela presença das partículas suspensas que agem absorvendo e também mudando a direção da luz na água.

A unidade de medida utilizada para mensurar esse parâmetro é a unidade de turbidez (uT). A Portaria 2914 recomenda que o valor máximo para uma amostra de água distribuída para consumo humano seja de 5 uT. Caso o valor medido em uma amostra exceda o limite permitido, o consumo dessa água representará um risco a saúde da população.

Uma água que apresenta uma alta turbidez tem uma maior possibilidade de conter uma maior quantidade de bactérias. Isso faz com que a medição da turbidez possa ser utilizada como um indicador para doenças de veiculação hídrica.

### **2.2.3 Cor Aparente**

A cor é geralmente um indicador da presença de metais (Fe, Mn), húmus (matéria orgânica oriunda da degradação de matéria de origem vegetal), plâncton (conjunto de plantas e animais microscópicos em suspensão nas águas) dentre outras substâncias dissolvidas na água.

A determinação de cor comumente é feita pela comparação visual com soluções de cloroplatinato de cobalto ou com discos de cor semelhantes à coloração das soluções de cloroplatinato de cobalto. É recomendável que seja feita no momento da coleta, evitando a estocagem o que poderia ocasionar variações. Costuma-se definir cor aparente e a cor verdadeira.

- A cor verdadeira se refere à determinação de cor em amostras sem turbidez.
- E a cor aparente se refere à determinação de cor em amostras com turbidez.

A cor aparente é medida em unidades Hazen de cor (uH). A Portaria 2914 determina que a cor aparente da água distribuída a população deve ser igual ou menor que 15 uH.

### **2.2.4 pH**

O símbolo pH é utilizado para caracterizar a grandeza físico-química 'potencial hidrogeniônico'. Essa grandeza indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma solução aquosa. O valor do pH é calculado pelo logaritmo do inverso da concentração de  $H^+$  (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

O pH pode ser determinado usando um medidor de pH (também conhecido como pHmetro) que consiste em um eletrodo acoplado a um potenciômetro. O medidor de pH é um milivoltímetro com uma escala que converte o valor de potencial do eletrodo em unidades de pH. Este tipo de eletrodo é conhecido como eletrodo de vidro, que na verdade, é um eletrodo do tipo "íon seletivo".

O pH pode ser determinado indiretamente pela adição de um indicador de pH na solução em análise. A cor do indicador varia conforme o pH da solução. Indicadores comuns são a fenolftaleína, o alaranjado de metila e o azul de bromofenol.

Outro indicador de pH muito usado em laboratórios é o chamado papel de tornassol (papel de filtro impregnado com tornassol). Este indicador apresenta uma ampla faixa de viragem, servindo para indicar se uma solução é nitidamente ácida (quando ele fica vermelho) ou nitidamente básica (quando ele fica azul).

O pH é medido dentro de uma escala de 0 a 14 e, segundo a Portaria 2914, o valor medido do pH da água distribuída a população não deve ser inferior a 6 e também não deve ultrapassar 9,5. Esses limites são estabelecidos com intuito de garantir a população uma água com pH que não causa risco a sua saúde.

### 2.3 Lógica *Fuzzy*

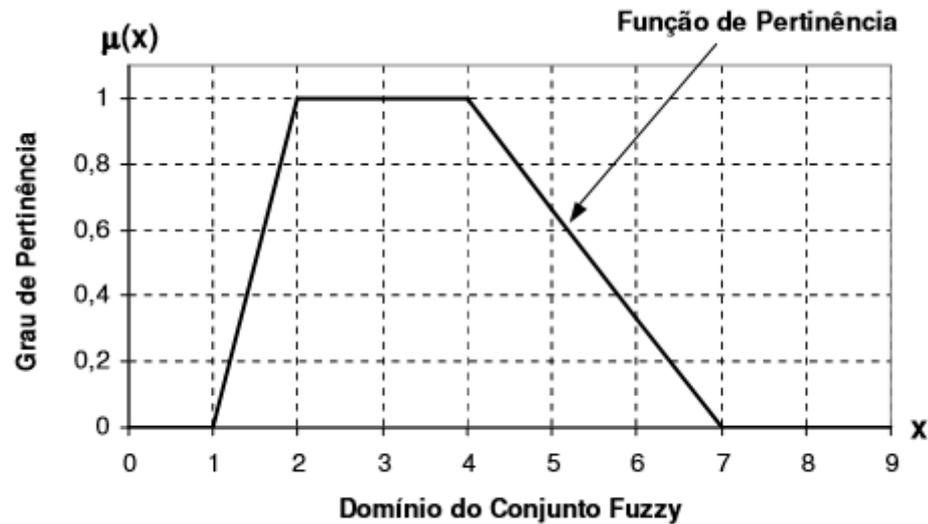
O sistema lógico amplamente conhecido, o sistema binário, é baseado na ideia de que dada uma afirmação, ela pode ser considerada verdadeira ou falsa. Embora a lógica binária seja, por vezes, muito útil e capaz de avaliar inúmeras questões, foge a sua capacidade avaliar situações que não são completamente verdadeiras ou, no caso contrário, completamente falsas.

Isso acontece, por exemplo, quando se precisa classificar pessoas como altas ou baixas. Após se determinar os valores, aos quais serão atribuídos a qualidade de alto ou baixo, existirão pessoas as quais suas alturas estarão entre o limite inferior e superior estabelecido. Dentro da lógica convencional, essas pessoas não poderiam ser classificadas como altas ou baixas.

Para tratar questões como essas, bastante comum nos problemas práticos, foi desenvolvida a chamada Lógica *Fuzzy*. Ela é capaz de avaliar situações em que os modos de raciocínio são aproximados ao invés de exatos (KAUFMANN ; GUPTA, 1991).

A lógica *fuzzy* é utilizada para tratar com dados ou conhecimentos altamente variáveis, linguísticos, indefinidos e incertos e, portanto, tem a capacidade de permitir uma informação lógica, confiável e transparente (ICAGA, 2007).

A utilização da lógica *fuzzy* ocorre por meio dos chamados números *fuzzy*. Esses números representam um conjunto definido por uma função de pertinência  $\mu(x)$ . Cada função de pertinência define um conjunto *fuzzy*,  $\mathbf{A}$ , do conjunto universal,  $\mathbf{U}$ , através da atribuição de um grau de pertinência,  $\mu_a(x)$ , entre 0 e 1 para cada elemento  $x$  de  $\mathbf{U}$ . Este é o grau com o qual  $x$  pertence a  $\mathbf{A}$ . A figura a seguir ilustra um conjunto *fuzzy*.

Figura 1 – Representação gráfica de um conjunto *Fuzzy*

Fonte: Rentería (2006).

A medida que o grau de pertinência aumenta e se aproxima de 1, mais pertinente, ou seja, mais próximo do que poderíamos considerar como verdadeiro, dentro da lógica booleana, estará a situação avaliada. Caso o grau de pertinência atinja o valor de 1 ou de 0 seria o equivalente ao classificar como totalmente verdadeiro ou totalmente falso, respectivamente.

### 2.3.1 Número *Fuzzy* Triangular

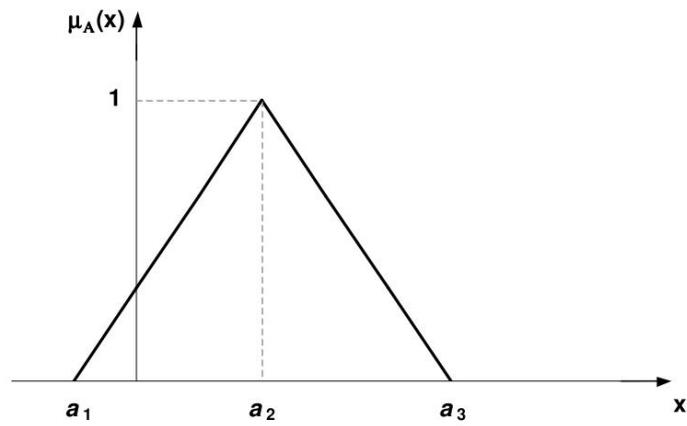
Diversas formas de utilização dos números *fuzzy* podem ser aplicadas para um mesmo problema. Uma aplicação muito comum, devido a simplificação das operações aritméticas envolvidas (MARRO et al, 2010), é o chamado número fuzzy triangular. A representação dele é dada por três pontos que são apresentados como  $A = (a_1, a_2, a_3)$ . Esta representação é interpretada como funções de pertinência:

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

Uma ilustração gráfica para o número *fuzzy* triangular é dada na Figura 2. Nela temos que no eixo da abscissa estão os valores da variável,  $a_1$ ,  $a_2$  e  $a_3$ . Enquanto que no eixo das ordenadas está representado o grau de pertinência para todo valor de  $x$ .

Segundo Rentería (2006) “O número *fuzzy* triangular é utilizado quando o parâmetro em análise possui uma faixa de variação e um número dentro desta faixa possui uma possibilidade de ocorrência num único pico maior do que os outros”.

Figura 2 – Número *Fuzzy* Triangular (NFT)



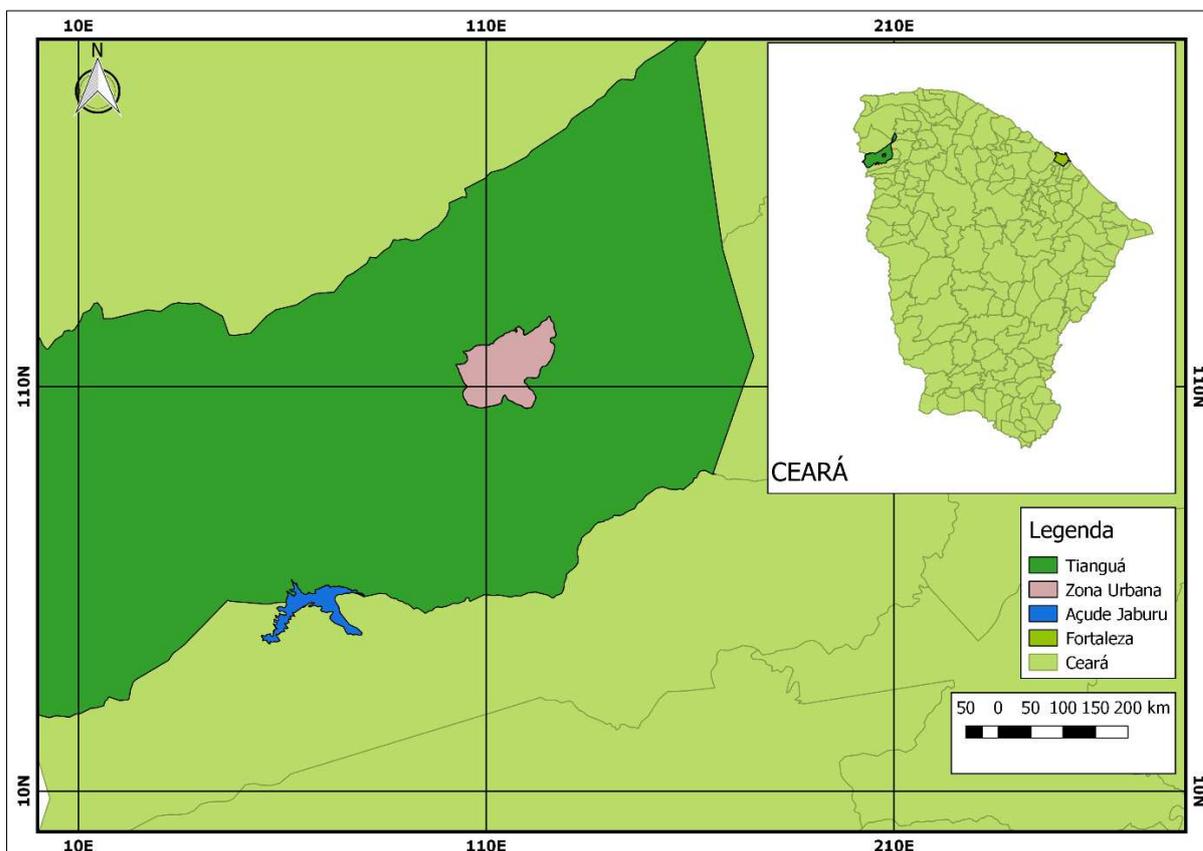
Fonte: Rentería (2006)

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Caracterização da Área de Estudo

O município de Tianguá, localizado no interior do estado do Ceará (Figura 3), conta com uma rede de distribuição de água com 183.757 metros de extensão e vazão média fornecida no ano de 2017 foi da ordem de 355,21 m<sup>3</sup>/h (CAGECE). O suprimento de água de Tianguá é garantido através do manancial denominado açude Jaburu, que pertence à bacia Serra da Ibiapaba. A cidade possui, segundo o censo de 2010, 68.892 habitantes, sendo 66,51% habitantes da área urbana e 33,49% habitantes da área rural (IBGE).

Figura 3 - Localização do município de Tianguá e do açude Jaburu



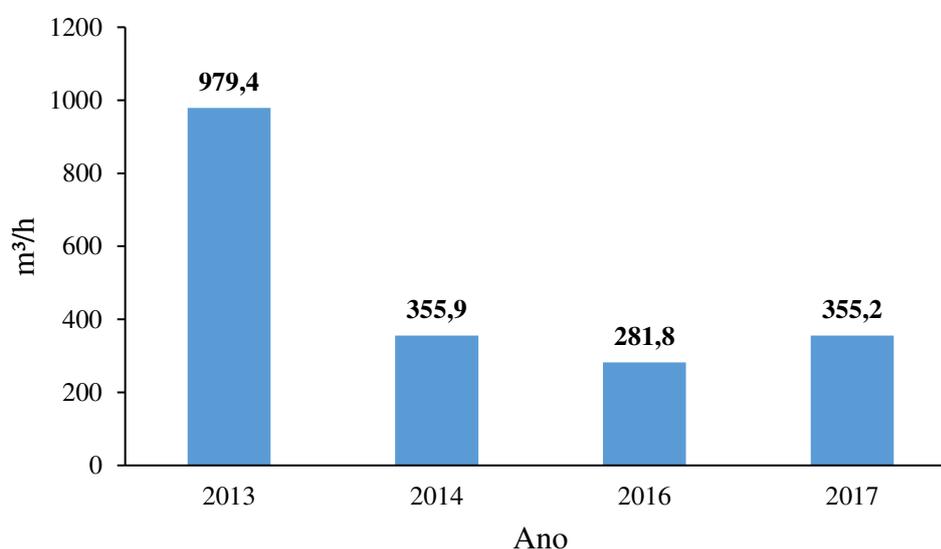
Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Para tornar-se apropriada ao consumo humano, entretanto, a água deste manancial precisa ser submetida a um tratamento de forma a adequá-la ao padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde.

### 3.2 Rede de Distribuição

A rede de distribuição do município deve ser capaz de entregar a população da cidade a quantidade de água suficiente para suprir suas necessidades, além de garantir que essa água estará dentro dos padrões mínimos de qualidade exigidos pela Portaria 2914. Essa rede é abastecida pela água armazenada em 8 (oito) reservatórios com capacidade total de 1007 m<sup>3</sup> (CAGECE). A Figura 4 mostra a evolução da vazão da rede de distribuição da cidade no período entre 2013 e 2017.

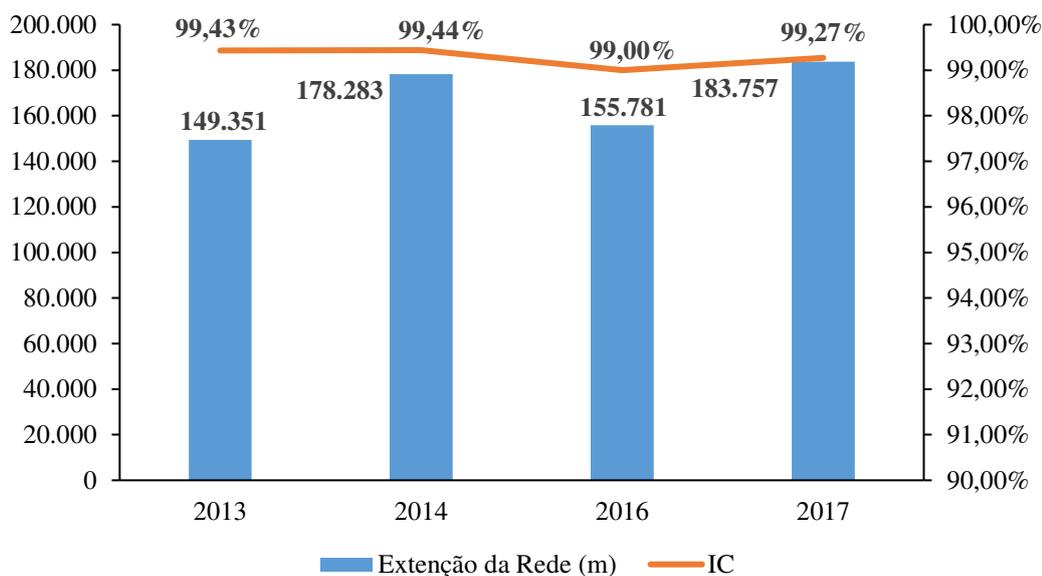
Figura 4 – Evolução da vazão da rede de distribuição



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

A rede de distribuição de Tianguá apresentou um índice de cobertura (IC) superior a 90%, dentro do período de 2013 a 2017 e, também, uma evolução na sua extensão (Figura 5). Isso mostra que a rede de distribuição de água da cidade cresceu em relação ao início do período, sendo capaz de suprir a necessidade de água de um número cada vez maior de pessoas, mas que ainda não alcançou o abastecimento pleno.

Figura 5 – Evolução da extensão da rede e do IC em Tianguá, Ceará.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018), com base em CAGECE (2018).

### 3.3 Parâmetros analíticos de monitoração

Foram considerados os seguintes parâmetros de monitoração na rede de distribuição de água: turbidez (uT), cloro residual livre (mg/L), potencial hidrogeniônico (pH) e cor aparente (uH). As coletas foram realizadas de acordo com o Plano de Amostragem para Monitoramento da Qualidade da Água da CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará, conforme Portaria MS 2914/2011 no período de janeiro de 2010 a junho de 2017. Foram utilizadas um total de 5071 análises para esse período.

### 3.4 Enfoque do estudo

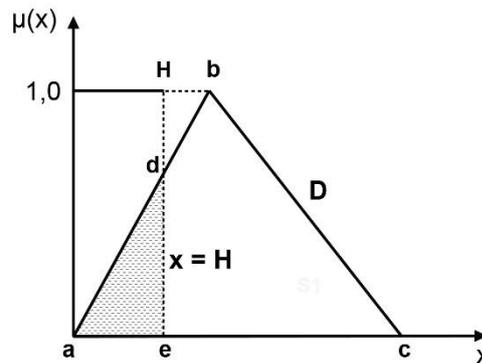
As garantias da rede de distribuição de água foram analisadas de acordo com o método do índice de Concordância *Fuzzy* (ICF) através de números difusos *fuzzy*.

#### 3.4.1 Índice de Concordância *Fuzzy* (ICF)

A concordância entre números *fuzzy* é uma relação entre as áreas de interseção entre dois números difusos, ou entre um difuso e um não difuso (SILVA, 2010 *apud* KAUFMANN; GUPTA, 1991).

No último caso, o número não difuso ( $x$ ) pode ser contínuo em um intervalo definido à esquerda, quando  $x \leq H$  ou à direita em que  $x \geq H$ .

Figura 6 – Índice de Concordância *Fuzzy* entre um número difuso ( $D$ ) e outro não difuso ( $H$ ) contínuo à esquerda.



Fonte: Duarte Jr. (2017)

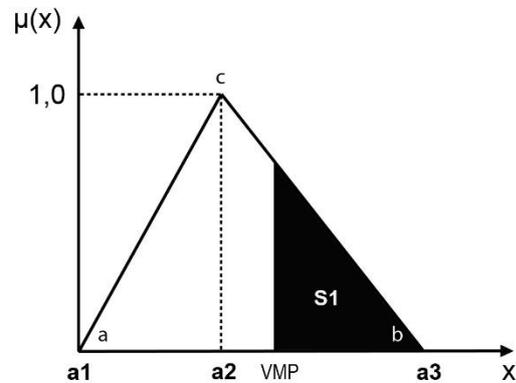
A definição do Índice de Concordância *Fuzzy* ( $I_{CF}$ ) é dada pela expressão da Equação 2, com base na Figura 6:

$$I_{CF} = \frac{\text{Área do } \Delta ade}{\text{Área do } \Delta adc} \quad (\text{Eq. 2})$$

Para os parâmetros de cor aparente e turbidez, que apresentam pela norma somente limites máximos, os Números *Fuzzy* Triangulares (Figura 7) foram formados pelos valores mínimos ( $a_1$ ), médios ( $a_2$ ) e máximos ( $a_3$ ), e delimitaram uma área triangular de altura  $\mu=[0,1]$  no eixo das ordenadas e o valor limite definido pela Portaria 2914 (VMP – Valor Máximo Permitido) que fez a função do número não difuso. O Índice de Concordância *Fuzzy* foi calculado pela razão entre a área  $S_1$  e a área do triângulo  $\Delta acb$  ( $S_t$ ) segundo a Equação 3.

$$I_{CF} = 1 - \left( \frac{S_1}{S_t} \right) \quad (\text{Eq. 3})$$

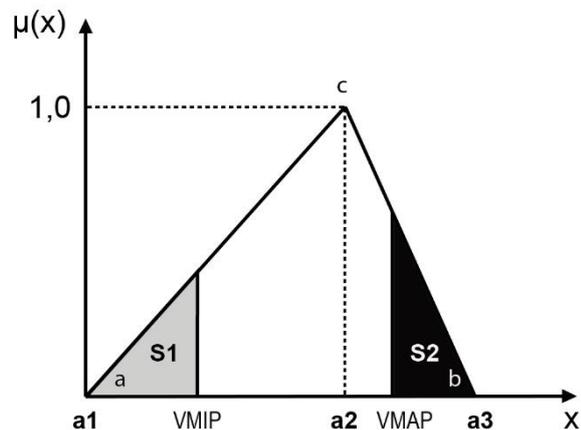
Figura 7 – Índice de Concordância *Fuzzy* ( $I_{CF}$ ) entre um número difuso e o VMP como número não difuso.



Fonte: Duarte Jr. (2017)

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 8:

Figura 8 – Representação das áreas de interseção entre Números *Fuzzy* Triangulares e os valores limites mínimo e máximo.



Fonte: Duarte Jr. (2017)

O  $I_{CF}$  foi calculado dividindo-se a área da soma de  $S_1$  e  $S_2$  pela área total do triângulo  $\Delta acb$  ( $S_t$ ) conforme a Equação 4:

$$I_{CF} = 1 - \left( \frac{S_1 + S_2}{S_t} \right) \quad (\text{Eq. 4})$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Garantias

Para realizar o cálculo da garantia da qualidade da água distribuída na rede, esse estudo utilizou os valores limites estipulados pela Portaria MS 2914/11. Os valores máximos e mínimos permitidos para o cloro residual livre, a turbidez, a cor aparente e o pH estão discriminados a seguir (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores recomendados para cada parâmetro

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>
Cloro Residual Livre (mg/L)	5	0,25
Turbidez (uT)	5	-
Cor Aparente (uH)	15	-
pH	9,5	6

Fonte: Portaria 2914 (2011).

As amostras de água analisadas são referentes ao período de janeiro de 2010 a junho de 2017 e foram divididas em biênios, compreendendo os seguintes períodos: 2010-2011, 2012-2013, 2014-2015 e 2016-2017. Os resultados da aplicação da metodologia descrita no item 5.3.1 se encontram na Tabela 2.

Tabela 2 - I<sub>CF</sub> dos parâmetros analisados por período.

Parâmetro	Período	I <sub>CF</sub>	Média
Turbidez	2010-2011	0,98	<b>0,92</b>
	2012-2013	0,85	
	2014-2015	0,99	
	2016-2017	0,89	
Cor Aparente	2010-2011	1	<b>0,97</b>
	2012-2013	0,88	
	2014-2015	1	
Cloro Residual Livre	2010-2011	0,99	<b>0,99</b>
	2012-2013	0,99	
	2014-2015	0,99	
	2016-2017	0,98	
pH	2010-2011	0,99	<b>0,99</b>
	2012-2013	1	
	2014-2015	1	
	2016-2017	1	

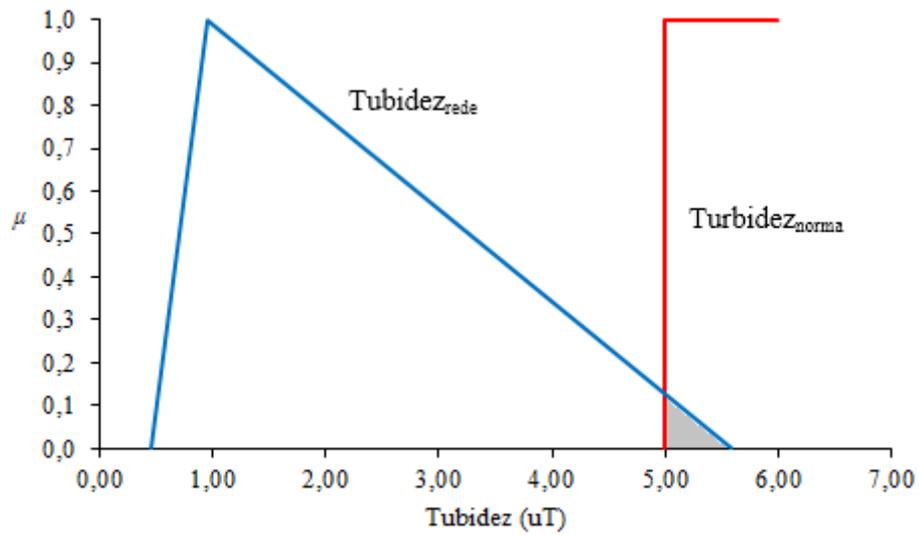
Fonte: Elaborado pelo Autor (2018)

Dentre os parâmetros avaliados, a turbidez foi o que apresentou o menor índice de concordância *fuzzy* médio, apresentando um I<sub>CF</sub> médio de 92% para o período compreendido entre os anos de 2010 e 2017. Analisando os resultados do I<sub>CF</sub> por biênio, a turbidez também foi o parâmetro que apresentou o menor I<sub>CF</sub>, tendo um I<sub>CF</sub> de 85% para os anos de 2012 e 2013.

Entre os parâmetros que apresentaram um maior I<sub>CF</sub> médio estão o cloro residual livre e o pH, ambos com 99%. Analisando o I<sub>CF</sub> desses parâmetros por biênio, o pH apresenta uma garantia de 100% para três dos quatro biênios do período. Já o cloro residual livre não obtém um resultado de 100% em nenhum dos biênios.

A cor aparente apresentou um I<sub>CF</sub> de 100% em três biênios e de 88% em um biênio. Esses resultados fizeram com que esse parâmetro ficasse com um I<sub>CF</sub> médio de 97%. A visualização gráfica do NFT das amostras analisadas para cada um dos parâmetros estudados está ilustrada nas figuras a seguir.

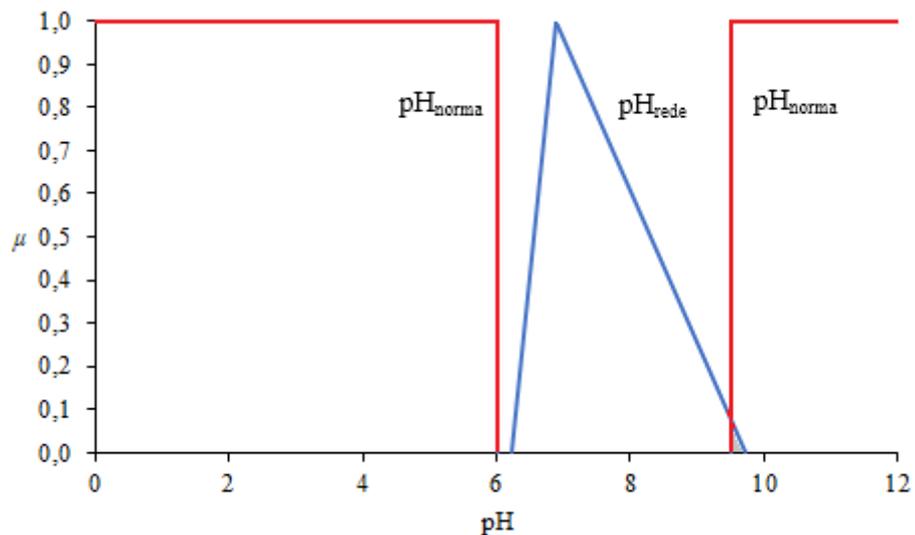
Figura 9 - ICF da Turbidez ao longo do período de 2010-2011



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018)

O período compreendido entre os anos de 2010 e 2011 apresentou um ICF de 98% para as amostras estudadas em relação ao parâmetro de turbidez. A partir da Figura 9 observa-se que apenas uma pequena área excede o limite permitido pela norma e que a média calculada (NFT) ficou bem próxima de 1 uT.

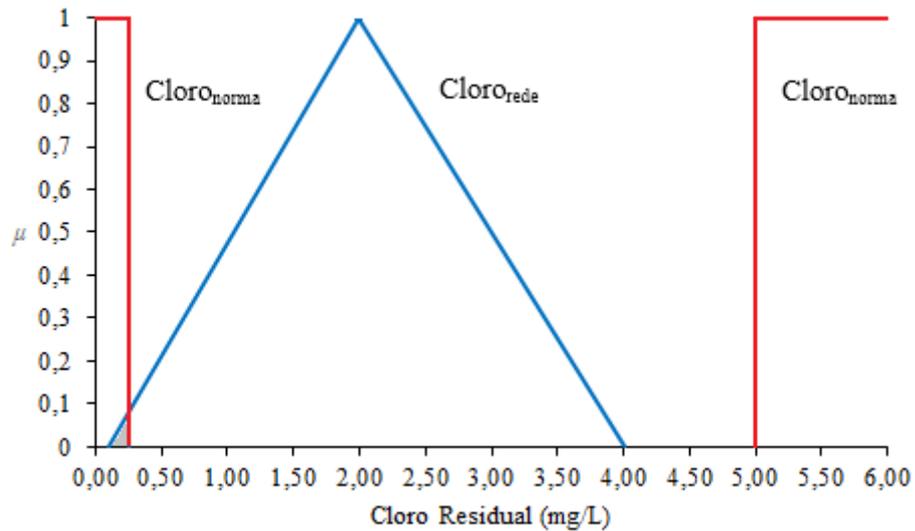
Figura 10 - ICF do pH ao longo do período de 2010-2011



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018)

O pH apresentou um ICF de 99% para os anos de 2010 e 2011, o valor mínimo, médio e máximo das amostras analisadas pode ser visualizado na Figura 10. Nela observa-se uma diminuta área formada após o limite superior estabelecido pela norma, sendo este limite representado na figura pela linha vermelha a direita.

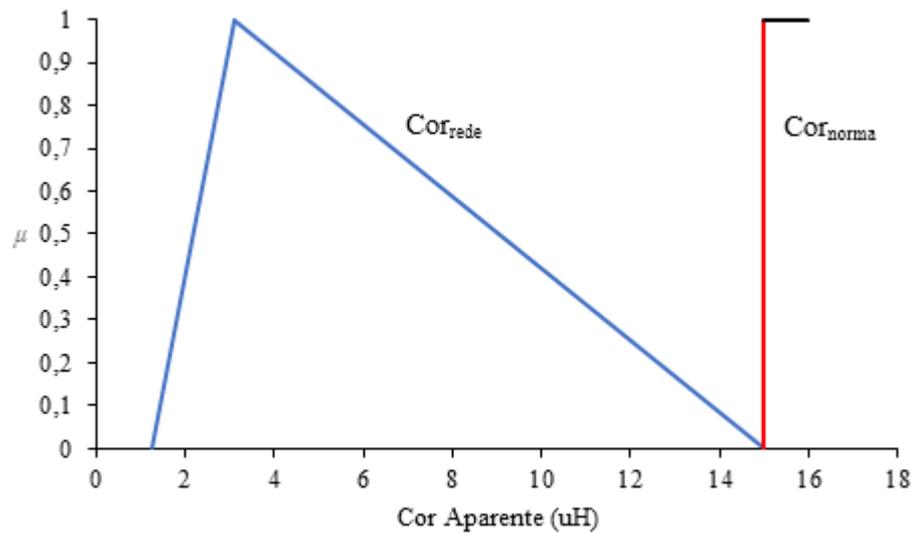
Figura 11 - ICF do Cloro Residual Livre do período de 2010-2011



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018)

O cloro residual livre apresentou um ICF de 99% no biênio de 2010-2011. Conforme mostra a Figura 11, apenas uma diminuta área é formada após o de limite inferior estabelecido pela norma, representado na figura pela linha vermelha a esquerda.

Figura 12 - ICF da Cor Aparente do período de 2010-2011

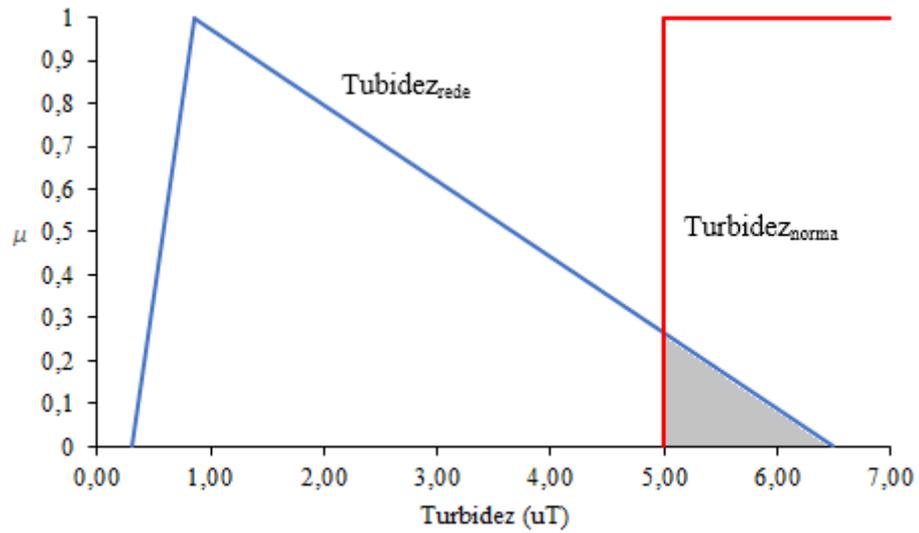


Fonte: Elaborado pelo Autor (2018)

No primeiro biênio (2010-2011) do período de estudo (2010-2017), a cor aparente foi o único parâmetro que apresentou um ICF de 100%, não havendo nenhuma amostra fora do limite estipulado pela norma, conforme está ilustrado na Figura 12.

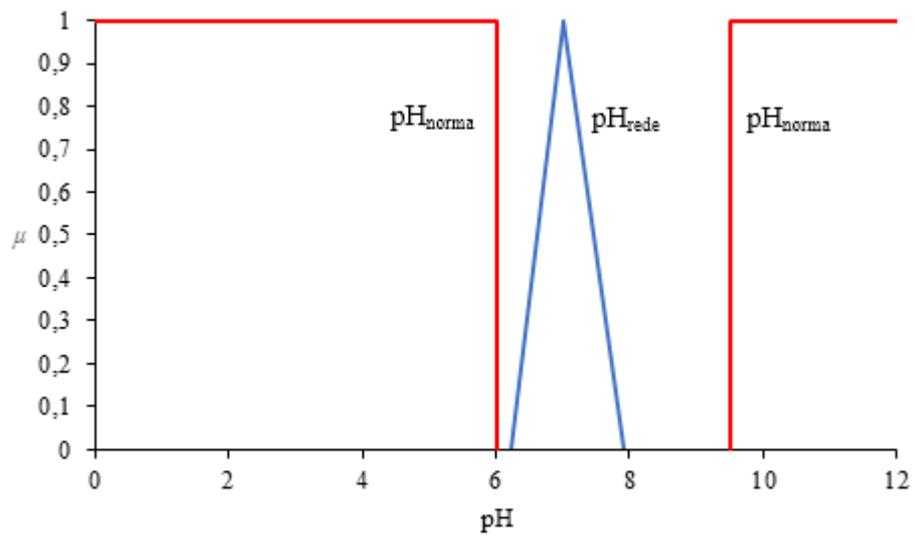
No segundo biênio (2012-2013) estudado ocorreram mudanças em relação ao ICF de alguns parâmetros. A turbidez mostrou uma queda do ICF, em relação ao biênio anterior (2010-2011), saindo de 98% para 85%. A cor aparente também apresentou uma queda no seu ICF, saindo de 100% para 88%. O cloro residual livre manteve seu ICF em 99% e o pH apresentou um aumento, saindo de um ICF de 99% para 100%. Essas mudanças estão representadas graficamente, para cada um dos parâmetros, nas figuras abaixo (Figuras 13, 14, 15, 16).

Figura 13 - ICF da Turbidez ao longo do período de 2012-2013



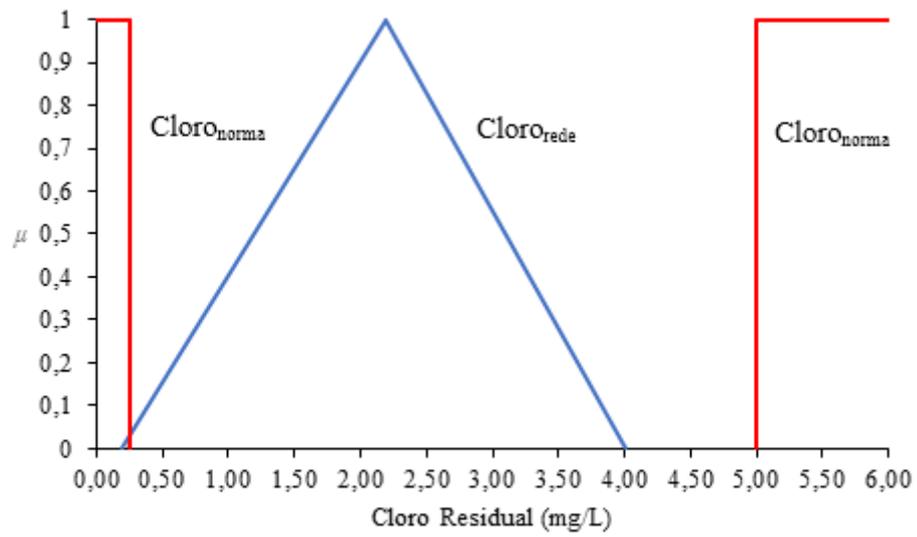
Fonte: Elaborado pelo Autor (2018)

Figura 14 - ICF do pH ao longo do período de 2012-2013



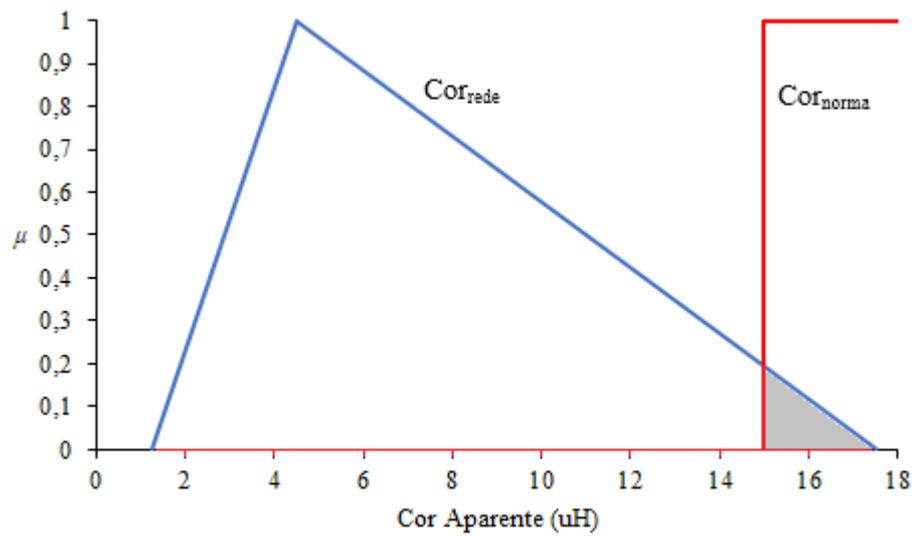
Fonte: Elaborado pelo Autor (2008)

Figura 15 - ICF do Cloro Residual Livre do período de 2012-2013



Fonte: Elaborado pelo Autor (2008)

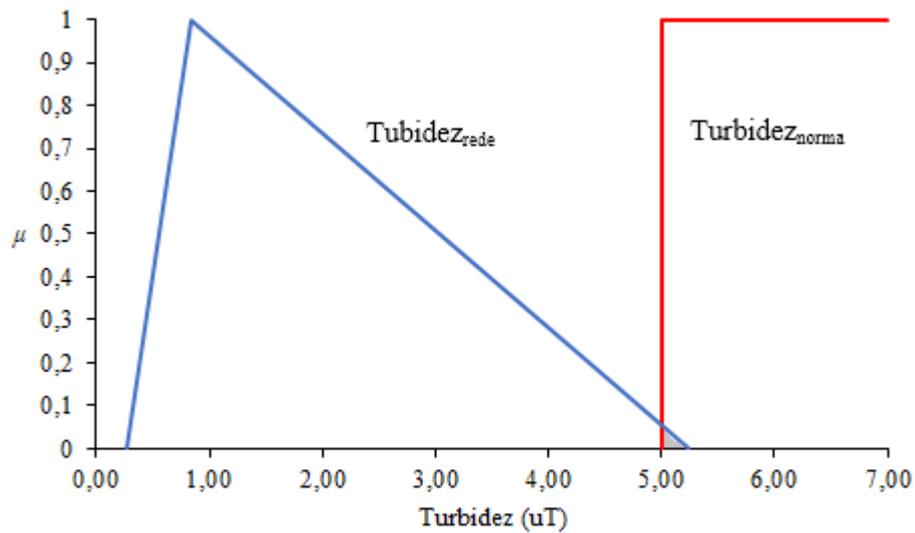
Figura 16 - ICF da Cor Aparente do período de 2012-2013



Fonte: Elaborado pelo Autor (2008)

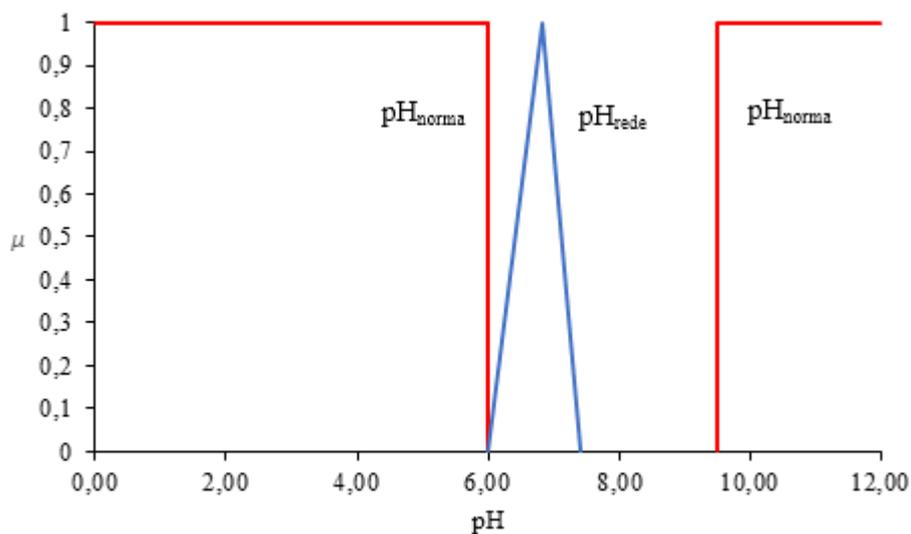
No terceiro biênio (2014-2015) estudado também ocorreram variações em relação ao ICF de alguns parâmetros. O ICF da turbidez mostrou um aumento significativo, em relação ao biênio anterior (2012-2013), saindo de 85% para 99%. A cor aparente também apresentou um aumento no seu ICF, saindo de 88% para 100%. O cloro residual livre e o pH mantiveram seus ICF em 99% e 100%, respectivamente. O NFT de cada um dos parâmetros está representado graficamente, nas figuras abaixo (Figura 17, 18, 19, 20).

Figura 17 - ICF da Turbidez ao longo do período de 2014-2015



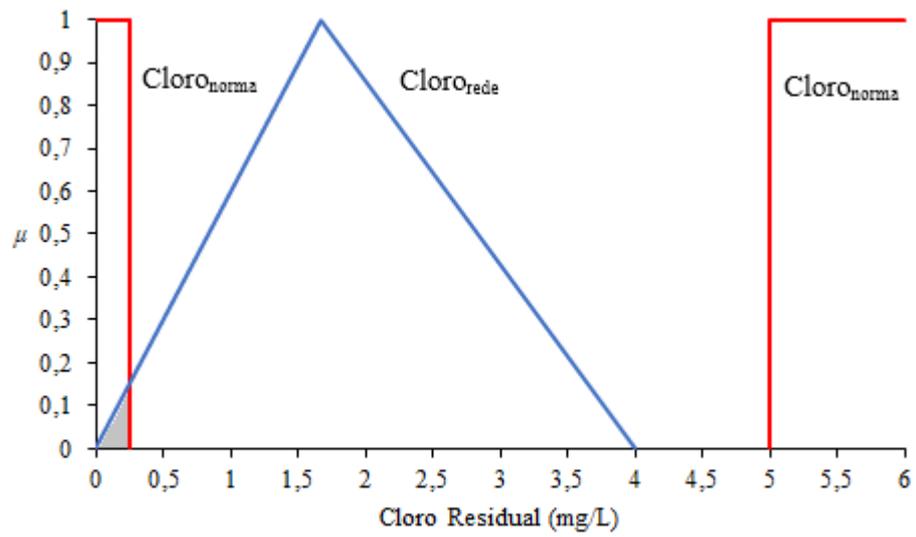
Fonte: Elaborado pelo Autor (2008)

Figura 18 - ICF do pH ao longo do período de 2014-2015



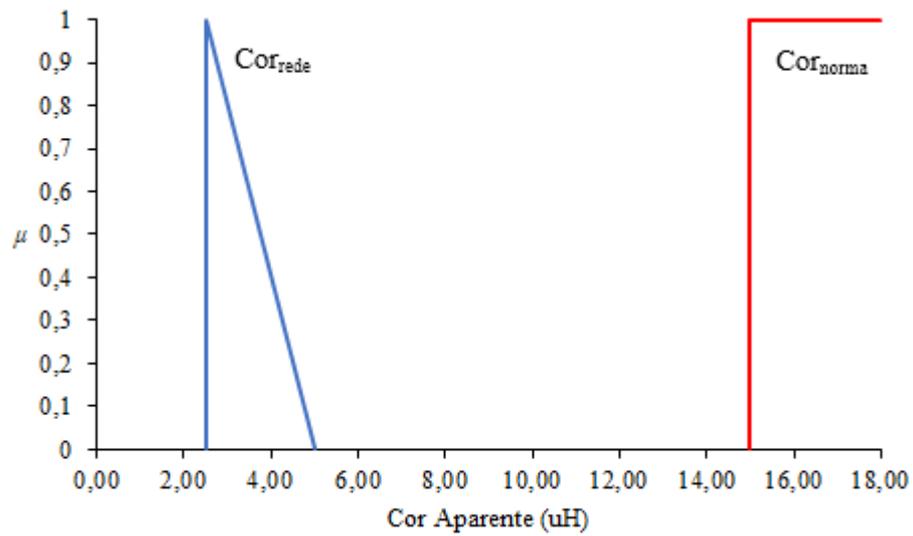
Fonte: Elaborado pelo Autor (2008)

Figura 19 - ICF do Cloro Residual Livre do período de 2014-2015



Fonte: Elaborado pelo Autor (2008)

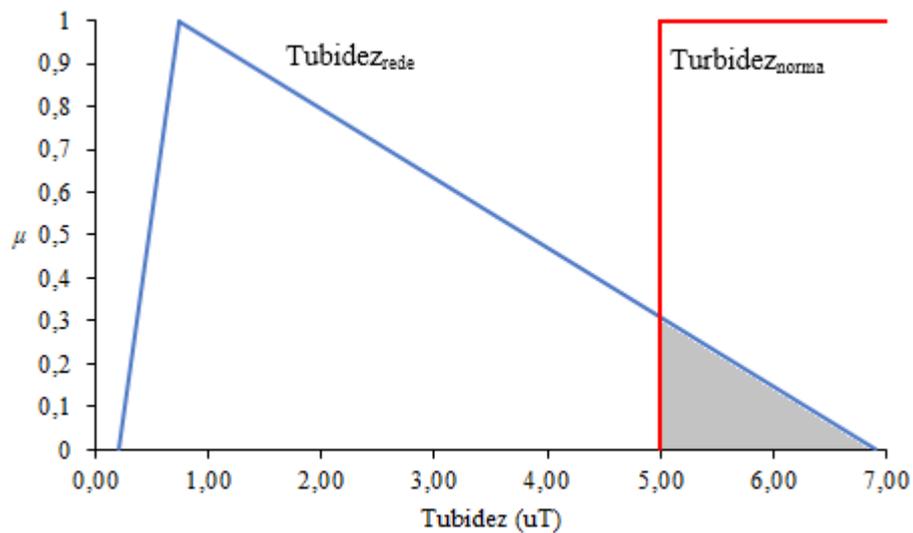
Figura 20 - ICF da Cor Aparente do período de 2014-2015



Fonte: Elaborado pelo Autor (2008)

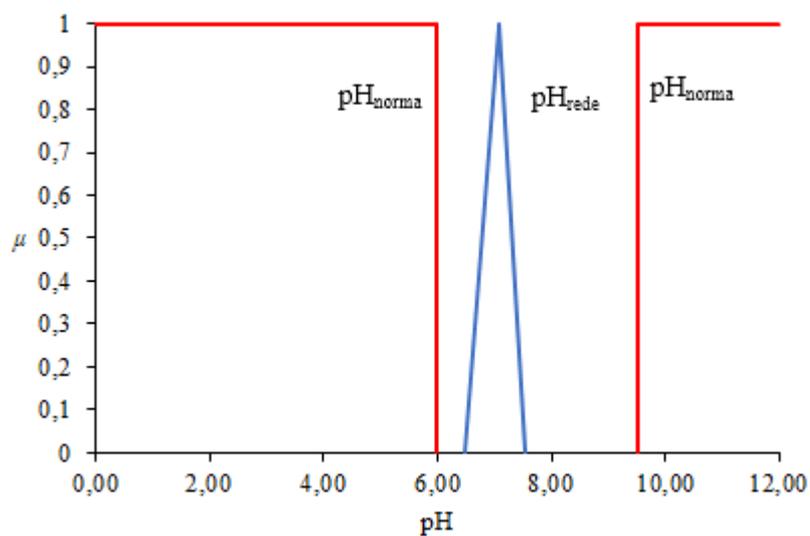
No último biênio (2016-2017) estudado, o  $I_{CF}$  da turbidez sofreu uma redução significativa, em relação ao biênio anterior (2014-2015), saindo de 99% para 89%. A cor aparente e o pH mantiveram seus  $I_{CF}$ 's em 100%. O cloro residual livre sofreu uma leve redução no seu  $I_{CF}$  de 99% para 98%. O NFT de cada um dos parâmetros está representado graficamente, nas figuras abaixo (Figura 21, 22, 23, 24).

Figura 21 -  $I_{CF}$  da Turbidez ao longo do período de 2016-2017



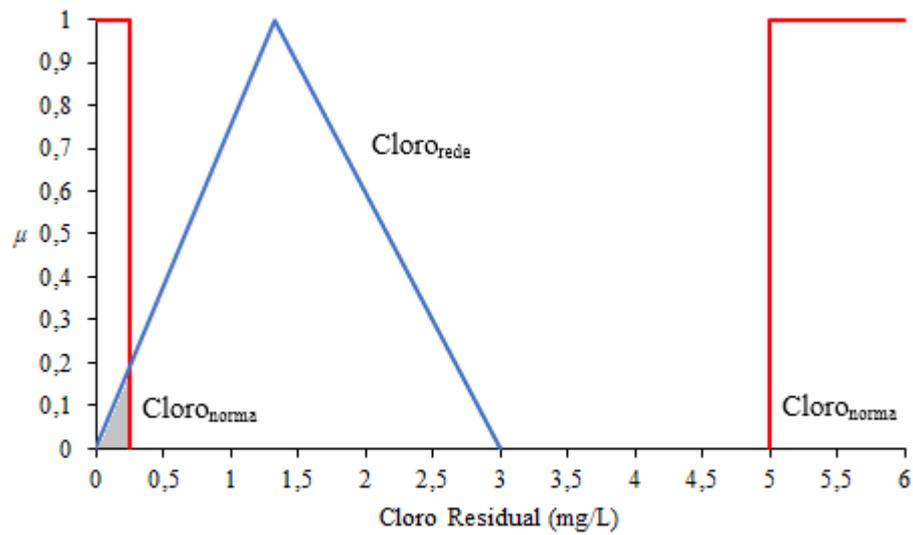
Fonte: Elaborado pelo Autor (2008)

Figura 22 -  $I_{CF}$  do pH ao longo do período de 2016-2017



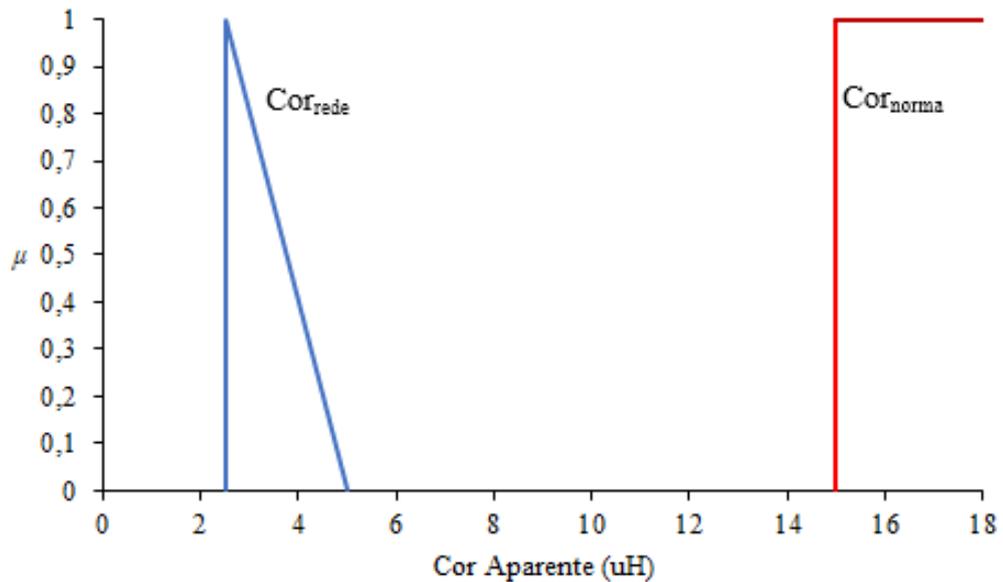
Fonte: Elaborado pelo Autor (2008)

Figura 23 - ICF do Cloro Residual Livre do período de 2016-2017



Fonte: Elaborado pelo Autor (2008)

Figura 24 - ICF da Cor Aparente do período de 2016-2017

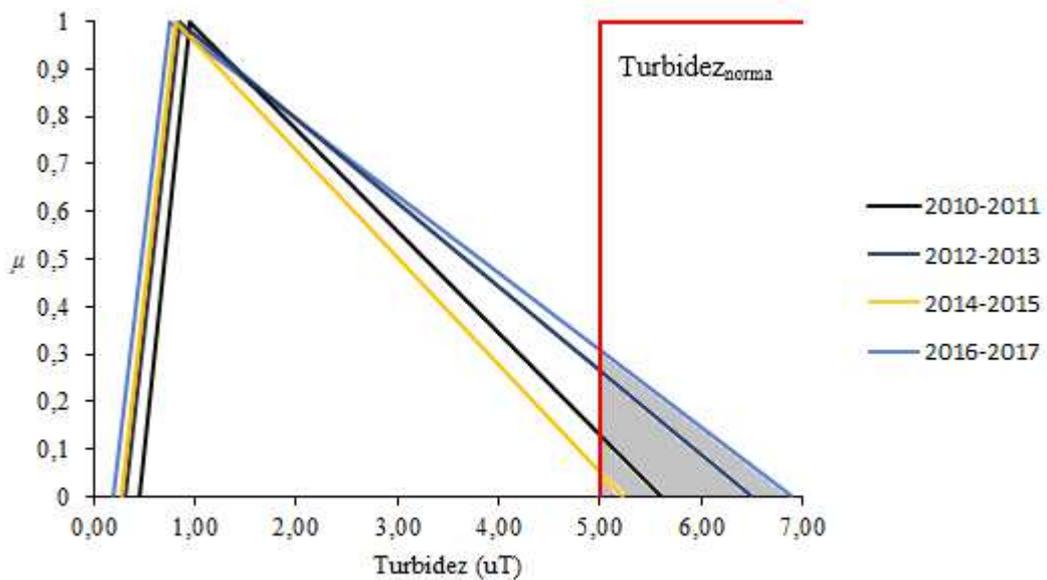


Fonte: Elaborado pelo Autor (2018)

A Tabela 2 mostra que a garantia média de cada um dos parâmetros estudados, representada pelo ICF, dada pela rede de distribuição de água para os parâmetros estudados, dentro do período de 2010 a 2017, foi sempre maior que 90%.

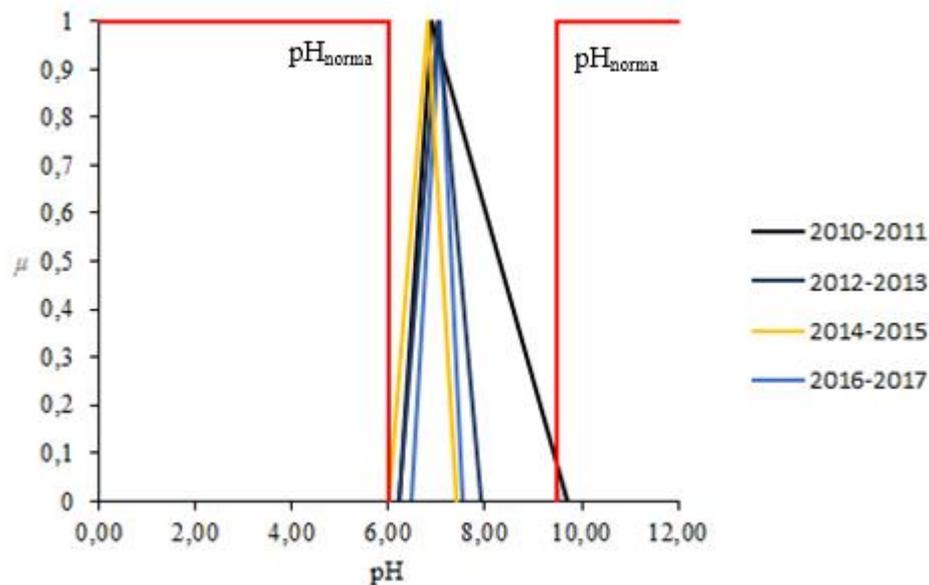
Em alguns dos parâmetros estudados pode-se observar uma variação mais acentuada do NFT para cada um dos biênios, como para os parâmetros de cloro residual livre e cor aparente (Figuras 27, 28). Entretanto o NFT para cada um biênios pouco se diferenciou quando os parâmetros analisados foram turbidez e pH (Figuras 25, 26). A distribuição do NFT por biênio de cada um dos parâmetros estudados pode ser observada nas figuras a seguir (Figura 25, Figura 26, Figura 27 e Figura 28).

Figura 25 - I<sub>CF</sub> da Turbidez ao longo do período de 2010-2017



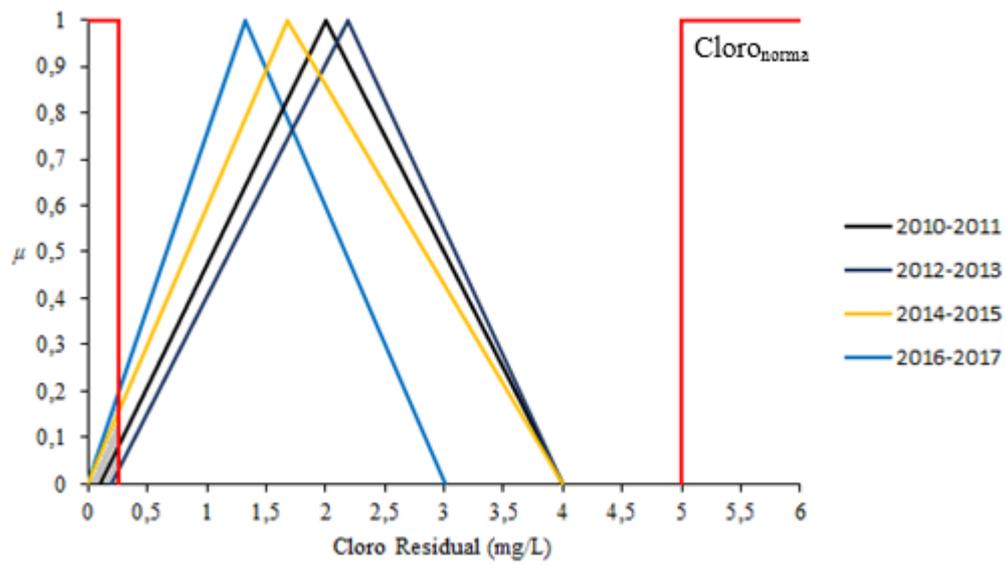
Fonte: Elaborado pelo Autor (2018)

Figura 26 - I<sub>CF</sub> do pH ao longo do período de 2010-2017



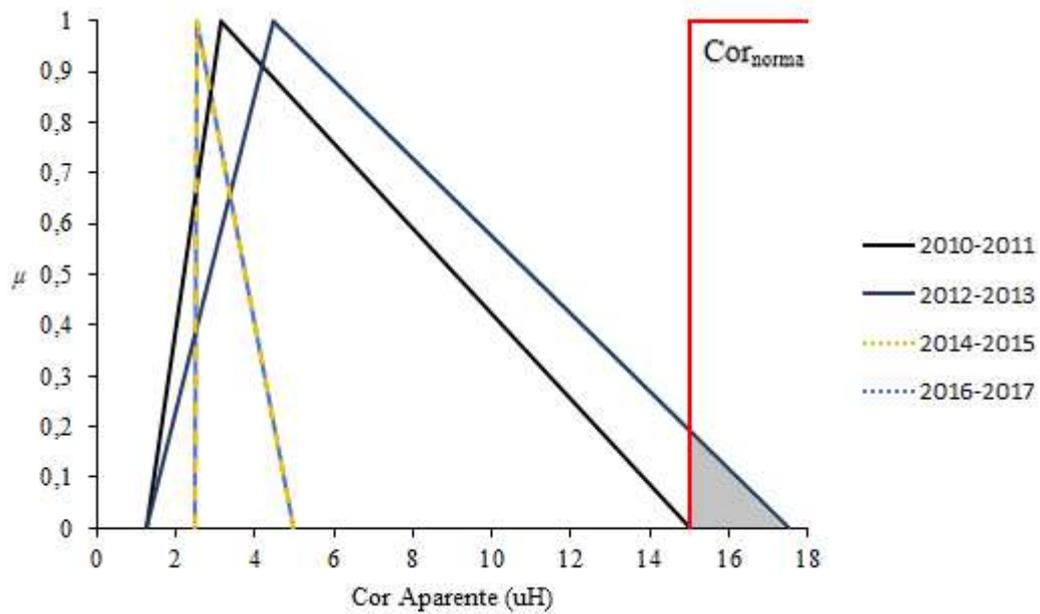
Fonte: Elaborado pelo Autor (2018)

Figura 27 - ICF do Cloro Residual Livre do período de 2010-2017



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018)

Figura 28 - ICF da Cor Aparente do período de 2010-2017



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018)

## 5 CONCLUSÃO

A utilização do I<sub>CF</sub> como ferramenta de monitoramento dos parâmetros de qualidade da água distribuída no município de Tianguá, Ceará, apresentou-se uma metodologia adequada, capaz de refletir a garantia dada pela rede de distribuição de água.

Dentre os parâmetros estudados, a turbidez foi o parâmetro que apresentou a menor garantia, tendo um I<sub>CF</sub> médio no período (2010-2017) de 92%. O cloro residual e o pH apresentaram o mesmo valor médio para o I<sub>CF</sub>, sendo de 99%. E a garantia média observada pelo I<sub>CF</sub> do parâmetro de cor aparente para o mesmo período foi de 97%.

Devido a esses resultados o cloro residual livre e o pH foram os parâmetros que apresentaram melhor desempenho, seguidos pela cor aparente e a turbidez.

O estudo realizado neste trabalho permitiu concluir que a qualidade da água distribuída à população apresentou resultados dentro dos desejáveis para o período compreendido entre os anos de 2010 e 2017.

Diante do que foi apresentado nesse estudo é possível ter segurança de que a utilização do NFT aplicado ao I<sub>CF</sub>, representa uma alternativa válida para o acompanhamento dos parâmetros de turbidez, pH, cloro residual livre e cor aparente. Podendo se tornar uma ferramenta de gestão da garantia da qualidade da água distribuída para a população do município.

## 6 REFERÊNCIAS

- BRASIL.Ministério da Saúde. **Portaria MS Nº 2914/2011**. [s.l: s.n.].
- CAGECE. **Relatório anual para informação ao consumidor**. Fortaleza: [s.n.].
- DUARTE Jr., F.S.G. **Influência da estiagem prolongada na qualidade de Água tratada – avaliação com número *fuzzy* triangular na bacia do Banabuiú**. Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharelado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Ceará, UFC. Fortaleza, 2017.
- HELLER, L.; PÁDUA, V. L. DE. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Conheça cidades e Estados do Brasil**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/panorama>>. Acesso em: 20 mai. 2018.
- ICAGA, Y. Fuzzy evaluation of water quality classification. **Ecological Indicators**, v. 7, n. 3, p. 710–718, 2007.
- JORDÃO, E.P.; PESSÔA, CA. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4ª edição. Rio de Janeiro: 2005. 906 p.
- KAUFMANN, A.; GUPTA, M.M. **Introduction to *fuzzy* arithmetic: theory and applications**. Nova Iorque: Van Nostrand Reinhold, 1991.
- LIBÂNIO, M. **Fundamento de qualidade e tratamento de água**. 3ª Edição ed. Campinas: Editora Átomo, 2010.
- MARRO, A. A.; SOUZA, A. M. C.; CAVALCANTE, E. R. S.; BEZERRA, G. S.; NUNES, R. O. **Lógica *fuzzy*: conceitos e aplicações**. Natal, 2010.
- RENTERÍA, A.R. **Estimación de probabilidade *fuzzy* a partir dos dados imprecisos**. Rio de Janeiro: MAXWELL, 2006.
- SILVA, F. J. A. **Índice de concordância e risco *fuzzy* na avaliação do desempenho de sistemas de lagoas de estabilização**. Tese de Doutorado. Pós-DEHA. Universidade Federal do Ceará, UFC. Fortaleza, 2010.