

Avaliação Da Qualidade Da Água Utilizando Lógica Fuzzy: Análise Qualitativa De Trabalhos Relacionados

Juliana Tais Engelmann (Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC) juliana.engelmann@gmail.com
Rejane Frozza (Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC) frozza@unisc.br

Resumo:

Todo o ser humano tem o direito de ter acesso à água de boa qualidade, pois ela é um elemento indispensável em nossa vida. A qualidade desse recurso natural é muito importante para o desenvolvimento social e econômico, contribuindo para a saúde pública. Nesse contexto, como seria possível avaliar a qualidade da água consumida pela população urbana a partir de um conjunto de fatores coletados? Esse artigo apresenta um estudo de trabalhos relacionados à técnica de avaliação da qualidade de água utilizando a Lógica Fuzzy. O objetivo é analisar os procedimentos aplicados nesses trabalhos para assim obter as melhores técnicas para avaliar esse recurso natural de região urbana a partir da Teoria dos Conjuntos Difusos. Um quadro comparativo dos trabalhos relacionados estudados, com análise dos principais aspectos, foi elaborado e é apresentado para destacar as pesquisas sendo realizadas nesta área. Também foi descrita a ideia geral da proposta de desenvolvimento de um Sistema Fuzzy para avaliar a qualidade de água de região urbana e as etapas metodológicas definidas.

Palavras chave: Lógica Fuzzy, Teoria dos Conjuntos Difusos, Qualidade da Água.

Water Quality Assessment Using Fuzzy Logic: Qualitative Analysis of Related Work

Abstract

Every human being has the right to have access to good quality water, since it is an indispensable element in our life. The quality of this natural resource is very important for social and economic development, contributing to public health. In this context, how would it be possible to assess the quality of water consumed by the urban population from a set of factors collected? This paper presents a study of works related to water quality evaluation using Fuzzy Logic. The objective is to analyze the procedures applied in these works to obtain the best techniques to evaluate this natural resource of urban region from the Theory of Fuzzy Sets. A comparative table of the related works studied, with analysis of the main aspects, was elaborated and is presented to highlight the researches being carried out in this area. It was also described the geal idea of the proposal of development of a Fuzzy System to evaluate the water quality of urban region and the defined methodological stages.

Key-words: Fuzzy Logic, Theory of Fuzzy Sets, Water Quality.

1. Introdução

Todo o ser humano tem o direito de ter acesso à água de boa qualidade, pois ela é um elemento indispensável em nossa vida. Conforme (ACÁCIA, 2001), a qualidade desse recurso natural é fundamental para proteger o meio ambiente, é importante para o desenvolvimento econômico e social da população e a sua qualidade é caracterizada por fatores químicos, físicos e

biológicos. Estes fatores podem ser representados por parâmetros que servem como indicadores para medi-la.

Como seria possível avaliar a qualidade da água consumida pela população urbana a partir de um conjunto de fatores coletados? Nesse contexto, o tema de pesquisa refere-se ao desenvolvimento de um sistema que seja capaz de avaliar a qualidade da água consumida pela população urbana utilizando a Lógica Fuzzy.

A lógica clássica categoriza as informações como “verdadeiras” ou “falsas”, cujo grau de pertinência é representado como “0” e “1”, respectivamente. Em 1965, Zadeh propôs uma alternativa na representação de informações vagas ou imprecisas, a Teoria dos Conjuntos Difusos (Fuzzy Sets), sendo vista como uma extensão da lógica clássica. Nesse caso, o grau de pertinência associado a um determinado conjunto também possui os valores limites 0 e 1, mas a diferença é que podem ser valores infinitos na faixa $[0,1]$ (LOPES, SANTOS e PINHEIRO, 2014).

A água é indispensável para o ser humano, além de ser consumida em uma quantidade maior que todos os outros alimentos, é necessária para a higiene (FREITAS et al, 2002). Ela também pode trazer riscos para a saúde de uma pessoa, podendo servir como transmissor de doenças (SANTOS et al., 2013). Portanto, é essencial obter o conhecimento de quão potável esse recurso natural se encontra e se atende ao padrão de potabilidade. As quantidades limites para cada elemento presente na água normalmente são estabelecidas por decretos, regulamentos ou especificações (FREITAS et al, 2002).

Atualmente, existem modelos matemáticos baseados na lógica tradicional, que são usados na representação da técnica de classificação de corpos d'água. Esses modelos possuem limitações, não tendo a capacidade de trabalhar com as informações imprecisas, vagas e nebulosas que se encontram nas tomadas de decisões que abrangem a qualidade da água. Ao aplicar a Lógica Fuzzy, os resultados serão menos precisos se comparados aos modelos matemáticos baseados na lógica tradicional, mas em compensação, haverá mais simplicidade, velocidade computacional e flexibilidade, suprimindo uma perda de precisão (LERMONTOV, 2008).

Analisando o contexto, a utilização de um sistema que possui a capacidade de avaliar a qualidade da água pode ser um forte aliado para a população, pois indicará se a água está dentro do padrão de potabilidade e, mesmo se estiver dentro desse padrão, se é possível melhorar ainda mais a sua qualidade. E se estiver fora de padrão, exigir providências para reverter o quadro.

O presente artigo tem como objetivo apresentar alguns trabalhos relacionados ao tema de Avaliação de Qualidade de Água Utilizando a Lógica Fuzzy, a fim de auxiliar na escolha de técnicas para o desenvolvimento de sistemas deste tipo. Também é apresentada a ideia geral da proposta de desenvolvimento de um Sistema Fuzzy para avaliar a qualidade de água de região urbana e as etapas metodológicas definidas. Portanto, a seção 2 exhibe os trabalhos pesquisados e estudados, concluindo com a avaliação do quadro comparativo, segundo critérios estabelecidos; a seção 3 apresenta a ideia geral da proposta de desenvolvimento de um Sistema Fuzzy para avaliar a qualidade de água e as etapas metodológicas definidas; a seção 4 apresenta as conclusões e, após, as referências.

2. Trabalhos Relacionados

Alguns trabalhos relacionados ao tema Avaliação de Qualidade de Água Utilizando a Lógica Fuzzy foram pesquisados e estudados, a fim de se construir uma tabela comparativa, a partir de critérios definidos. Os critérios julgados mais relevantes são aos Parâmetros de Qualidade de

Água Utilizados, os métodos de Fuzzificação, Inferência e Defuzzificação empregados, que são referentes à Lógica *Fuzzy*.

2.1. Avaliação da Qualidade da Água: Proposta de Novo Índice Alicerçado na Lógica Fuzzy (PEREIRA, TOMAZ e OCAZONEZ, 2012)

O artigo apresentado por (PEREIRA, TOMAZ e OCAZONEZ, 2012) tem como principal objetivo propor um novo índice de qualidade de água utilizando a Lógica *Fuzzy*. Foram aplicados 9 parâmetros para calcular o índice de qualidade de água em questão e cada parâmetro possui um peso. Houve a coleta de 48 amostras de água do Rio Pimenta Bueno entre o período de agosto de 2007 a setembro de 2009. Os 9 parâmetros foram divididos em 3 subgrupos para a obtenção do sistema de inferência *Fuzzy*. O enquadramento de cada parâmetro ocorreu conforme o seu peso. O subgrupo de alto peso são Oxigênio Dissolvido, Coliformes Totais e Potencial Hidrogeniônico. O subgrupo dos parâmetros de médio peso é formado pela Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nitratos Totais, Fosfatos Totais e Variação de Temperatura. O subgrupo de baixo peso é composto por Turbidez e Sólidos. Nesse trabalho, são utilizados 4 motores de inferência *Fuzzy*. Os três primeiros motores processam separadamente as entradas recebidas dos três grupos e produzem três saídas. E esses resultados são processados pelo outro motor de inferência, gerando uma saída. A regra de inferência utilizada é o método de Mamdani. A técnica do centroide foi aplicado para a defuzzificação. A ferramenta utilizada foi o MatLab. Os três primeiros motores são compostos por 775 regras diferentes, o grupo do alto peso possui 125 regras, o do médio peso possui 625 regras e o do baixo peso possui 25 regras. O último motor é composto por 125 regras. Após o processo da inferência, ocorre a defuzzificação, resultando em um IQA (Índice de Qualidade da Água) *Fuzzy*, que pode ser compreendido pelos usuários do software. O sistema foi elaborado para permitir a geração de dois resultados usando métodos diferentes, o IQA tradicional e o IQA *Fuzzy*, podendo assim comparar as saídas encontradas para cada técnica. No módulo de saída do software, foram aplicadas as funções de pertinência gaussianas. A partir das amostras coletadas do Rio Pimenta Bueno durante os 24 meses, os autores obtiveram os seguintes resultados médios do IQA *Fuzzy*: 2,22% se enquadram como “Excelente”, 13,82% como “Bom”; 55,90% como “Médio”; 16,33% como “Ruim” e apenas 0,01% como “Muito Ruim”. A soma desses valores não é igual a 100 devido ao uso da Lógica *Fuzzy* e de funções gaussianas de agregação. Usando a lógica tradicional, o valor médio do IQA para o período analisado foi de 53,92 e o valor médio do IQA *Fuzzy* foi de 53,15. Usando o novo método de avaliação, pode ser observado que o maior percentual encontrado pertence à categoria “Médio”. Em 21 dos 24 meses analisados (87,5% das situações), aplicando a técnica NSF tradicional, a qualidade da água foi classificada como “Média” e nos demais meses, como “Ruim”. Com o trabalho, os autores concluíram que o IQA *Fuzzy* possui sensibilidade maior às mudanças dos valores individuais dos parâmetros do que IQA NSF (*National Sanitation Foundation*). As diferenças entre as duas médias encontradas não são consideráveis. Ambos os IQA’s mostraram-se seguros em seu funcionamento, pois estiveram dentro dos controles estatísticos durante todo o período de avaliação, não violaram as regras de controle estabelecidas. Como a lógica tradicional permite somente duas possibilidades de um resultado, pertencer ou não a uma determinada categoria, ao enquadrar a qualidade da água em mais de um conjunto, o estudo mostrou-se inovador. Portanto, o IQA *Fuzzy* apresentou-se como uma ferramenta eficiente, segura e mais flexível para a obtenção da qualidade de água do Rio

Pimenta Bueno e podendo inclusive ser considerado para avaliar a qualidade de outros mananciais hídricos.

2.2. Nova Abordagem do Índice de Qualidade de Água Bruta Utilizando a Lógica Fuzzy (OLIVEIRA et al.,2014)

O artigo de (OLIVEIRA et al.,2014) tem como principal objetivo apresentar uma nova abordagem de desenvolvimento IQAB (Índice de Qualidade da Água Bruta) utilizando a Lógica Fuzzy. Esse modelo é composto pelos seguintes 8 parâmetros com seus respectivos pesos: Manganês (8%), Ferro e *Escherichia coli* (9%), Algas (10%), Cianobactérias (11%), pH (12 %), Cor Verdadeira (19%) e Turbidez (22%). Para o trabalho, foram empregados dados operacionais de 6 sistemas de abastecimento de água dos estados de São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo no período de 2003 a 2011. Para desenvolver o IQABF (Índice da Qualidade de Água Bruta Fuzzy), foram aplicados os mesmos 8 parâmetros utilizados pelo IQAB tradicional, apenas trocando o parâmetro Cor Verdadeira por Cor Aparente. Os parâmetros mencionados foram divididos em 2 grupos para a definição do IBF (Índice Biológico Fuzzy) e IFQF (Índice Físico-Químico Fuzzy). A saída desses dois índices estabelece o IQABF. A ferramenta utilizada para o desenvolvimento do referido trabalho foi o MATLAB. Na primeira etapa, os parâmetros foram divididos em 3 subconjuntos Fuzzy: Baixo, Médio e Alto e os resultados são os IBF e IFQF, que por sua vez são divididos em 5 subconjuntos Fuzzy: Péssimo (intervalo de 0 a 19), Ruim (20 a 36), Regular (37 a 51), Bom (52 a 79) e Ótimo (80 a 100). A segunda etapa do sistema recebe como entrada os dois índices encontrados e gera o IQABF, sua classificação linguística é igual a dos índices biológico e físico-químico. As operações da lógica difusa empregadas são do tipo interseção, união e complementação dos conjuntos. Na fuzzificação foram utilizadas funções trapezoidais nas pontas e triangulares nos meios. O sistema de inferência utilizado foi o método Mamdani com regras do tipo “se-então” e operador matemático Min-Máx. O método Centro de Gravidade foi utilizado para transformar os valores qualitativos de saída em valores numéricos. Ao total, foram estabelecidas 295 regras, onde 27 são para definir o IBF, 243 para o IFQF e 25 para determinar o IQABF. A mediana IQABF encontrada para os 6 mananciais é de 37 a 78 e a mediana IQAB é de 46 a 86. O Manancial 4 possui água de melhor qualidade se comparado aos outros mananciais, pois obteve a mediana IQABF mais alta, 78. Como foi possível notar no resultado, o IQABF obtido para os 6 mananciais é inferior ao do IQAB, mas se manteve praticamente a mesma hierarquização entre as fontes de água analisadas. A Lógica Fuzzy apresentou-se mais rígida para a quantificação de cada um dos 8 parâmetros analisados do que as curvas que foram desenvolvidas para o IQAB, o que significa que a nova metodologia de avaliação da qualidade da água pode ser empregada pelas concessionárias de abastecimento de água. Com relação ao período chuvoso e seco, os resultados de tendência central encontrados com os dois índices para cada fonte de água mostraram a mesma tendência de resultado. Portanto, o uso da Lógica Fuzzy permite ao índice uma maior flexibilidade no que diz respeito às adaptações futuras e necessárias em virtude dos aspectos de cada manancial.

2.3. Spatial Analysis of Ardabad Plain Aquifer Potable Groundwater Using Fuzzy Logic (KORD e MOGHADDAM, 2013)

O artigo apresentado por (KORD e MOGHADDAM, 2013) tem como principal objetivo classificar a qualidade da água do Aquífero da Planície de Ardabil usando técnicas especiais da Lógica Fuzzy na modelagem e tomada de decisão. Houve a análise de 58 poços do Aquífero da Planície de Ardabil em outubro de 2011, no qual foram considerados 10 parâmetros de qualidade da água: Cloreto, Fluoreto, Magnésio, Cálcio, Sulfato, Total Dureza, Sódio, pH, Nitrato e Sólidos Totais Dissolvidos. Nesse trabalho, foram empregados dois métodos para avaliar a qualidade da água. O primeiro é a técnica de Krigagem e o outro é a Lógica Fuzzy.

Nesse último caso, o módulo de inferência utiliza o método de Sugeno, com regras do tipo “se-então” e na entrada, as funções trapezoidais foram empregadas. O *software* utilizado foi o FuzMe. Foi aplicado o método centroide para converter os resultados difusos em uma saída compreensível para o usuário. As funções de associação *Fuzzy* (na Fuzzificação) foram estabelecidas conforme os limites usados nas normas de qualidade da água. Antes da Interpolação por krigagem, a normalidade de todos os parâmetros foi verificada, para os indicadores que não possuem uma distribuição normal, a transformada lognormal foi aplicada. Na técnica *Fuzzy*, os parâmetros de qualidade de água e as coordenadas geográficas são os dados de entrada. Como as coordenadas geográficas são informações extensas, foi necessário a normalização deles para valores entre 0 e 1. Os indicadores de qualidade foram agrupados utilizando o método *Fuzzy c-means*. O desempenho dos modelos de krigagem e Lógica *Fuzzy* foram comparados com base no R^2 (Coeficiente de Determinação), no RMSE (*Root Mean Square Error*) e no MAE (*Mean Absolute Error*). Foi constatado que nessa comparação a lógica difusa oferece melhores resultados. Os parâmetros de qualidade de água foram divididos em quatro categorias conforme sua relevância. Sólidos Totais Dissolvidos, pH, Cloreto e Sulfato pertencem ao primeiro grupo. Sódio, Total Dureza, Cálcio e Magnésio pertencem ao segundo. Nitrato e Flúor pertencem a grupos separados devido a sua importância. Houve a aplicação de 297 regras, onde 135 foram especificadas para o primeiro grupo, 81 para o segundo grupo e 81 regras para o resultado final. Foi possível concluir que o Lógica *Fuzzy* apresentou uma melhor eficiência do que a técnica de krigagem. No trabalho, dez parâmetros qualitativos interpolados foram usados para classificar a água, uma vez que cada parâmetro possui uma matriz de 500 x 500, o que pode dificultar a comparação simultânea, mas o sistema de Lógica *Fuzzy* comparou esses parâmetros em menor tempo possível, apresentando um bom desempenho. Portanto, foi concluído que a maioria das regiões do aquífero possui qualidade da água desejável para o consumo, mas as águas subterrâneas no sudoeste e no norte da planície não são aceitáveis para beber. O mapa da distribuição espacial pode ser muito útil no abastecimento de água, pois é possível obter uma boa visão da tendência qualitativa das águas subterrâneas da área estudada.

2.4 A Fuzzy-Logic Based Decision-Making Approach for Identification of Groundwater Quality Based on Groundwater Quality Indices (VADIATI et al., 2016)

O artigo apresentado por (VADIATI et al., 2016) tem como principal objetivo desenvolver uma nova abordagem generalizada de IQA aplicando a Lógica *Fuzzy*, baseando-se em IQAs amplamente aceitos (GQI - *Groundwater Quality Index*, WQI - *Water Quality Index* e GWQI - *Ground Water Quality Index*). Nesse estudo, as águas subterrâneas da planície de Sarab - Irã foram escolhidas para aplicar o novo modelo de avaliação da qualidade da água. Houve a coleta de 49 amostras da região nos períodos de seca e chuva entre 2013 e 2014. O sistema de inferência escolhido foi o método Mamdani. A função de pertinência aplicada foi a trapezoidal. Para obter o valor de saída na defuzzificação, houve a aplicação do método centroide. O *software* usado no trabalho foi o MATLAB. Baseando-se nos modelos GQI, WQI e GWQI, houve o desenvolvimento de novos índices de qualidade de água fundamentados na lógica *Fuzzy*: FGQI - *Fuzzy Groundwater Quality Index*, FWQI - *Fuzzy Water Quality Index* e FGWQI - *Fuzzy Ground Water Quality Index*. As funções de entrada são as mesmas para todos os modelos. O sistema de inferência é composto por regras do tipo “se-então”. O modelo FGQI pode classificar a qualidade da água em 5 categorias, numa escala de 0 a 100: “Completamente inaceitável” (0-25); “Inaceitável” (25-50); “Moderada” (50-70); “Aceitável” (70-90); “Boa” (90-100). O modelo FWQI pode classificar a qualidade da água em 5 categorias: “Excelente” (0-25); “Boa” (26-50); “Ruim” (51-75); “Muito Ruim” (76-100); “Imprópria para beber” (FWQI > 100). O modelo FGWQI pode classificar a qualidade da água em 3 categorias: “Alta” (FGWQI > 0.15); “Adequada” (0.04 < FGWQI < 0.15); “Baixa” (FGWQI < 0.04). Para diminuir o número de regras, os indicadores de qualidade de água foram divididos em 3

categorias: pH, Sólidos Totais Dissolvidos, Cloreto e Sulfato pertencem ao primeiro grupo; Cálcio, Magnésio, Alcalinidade Total e Total Dureza ao segundo grupo; Nitrato e Fluoreto ao terceiro grupo. Ao total, houve a aplicação de 204 regras no modelo *Fuzzy*. Aplicando os métodos GWQI e FGWQI, a amostra número 3 foi classificada como “Adequada” e “Alta”, respectivamente, enquanto que os métodos GQI e FGQI classificaram como “Boa” e os métodos WQI e FWQI enquadraram como “Excelente”. Essas diferenças ocorreram em outras amostras também, demonstrando que os resultados obtidos pelo GWQI não estão bem definidos como as saídas encontradas nos outros métodos utilizados nesse estudo. Embora o FGWQI consiga lidar com a incerteza em várias etapas, superar a deficiência do GWQI continua um desafio. Aplicando os métodos de verificação de desempenho (VAF - *Variance Accounted For*, R^2 - Coeficiente de Determinação e RMSE - *Root Mean Square Error*) foi possível constatar conformidade entre os valores calculados e previstos usando a Lógica *Fuzzy*. Os resultados encontrados pela lógica difusa foram confiáveis, provando que esse método é uma ferramenta alternativa para avaliar a qualidade da água. O método CAM (*Cosine Amplitude Method*) foi utilizado no estudo para encontrar os parâmetros de entrada mais sensíveis para os modelos FGQI, FGWQI e FWQI. A relação de similaridade entre os parâmetros de entrada e os novos modelos *Fuzzy* de avaliação da qualidade da água indicaram que Cálcio e Magnésio são os indicadores mais importantes que influenciam no resultado, enquanto que o Sódio é o menos sensível. O uso do modelo de inferência *Fuzzy* Mamdani e dos IQAs confiáveis acaba fornecendo resultados mais seguros se comparados aos IQAs tradicionais e métodos simples de inferência da lógica difusa. Concluindo, como o modelo *Fuzzy* tem o potencial de minimizar as incertezas, verificou-se que a nova abordagem de avaliação da qualidade da água é mais precisa do que os métodos tradicionais, mostrando-se confiável para a avaliação da qualidade da água subterrânea. Pesquisas futuras são necessárias para investigar a aplicabilidade de IQAs *Fuzzy* implementadas e a integração de novos parâmetros, como Físico-Químico, Matéria Orgânica, Microbiológico, Ânions Principais, Cátions Principais e Metais Pesados.

2.5. Análise dos trabalhos relacionados

A seguir, é apresentada a Tabela 1 para uma melhor representação dos trabalhos relacionados.

Título do Trabalho	Objetivos	Parâmetros de Qualidade de Água Utilizados	Fuzzificação	Inferência	Defuzzificação	Ferramenta
Avaliação da Qualidade da Água: Proposta de Novo Índice Alicerçado na Lógica Fuzzy (2012)	Propor um novo índice de qualidade de água utilizando a Lógica Fuzzy	Oxigênio Dissolvido, Coliformes Totais, Potencial Hidrogeniônico, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nitratos Totais, Fosfatos Totais, Variação de Temperatura, Turbidez e Sólidos	Gaussiana	Mamdani	Centroide	MATLAB
Nova Abordagem do Índice de Qualidade de Água Bruta Utilizando a Lógica Fuzzy (2014)	Apresentar uma nova abordagem de desenvolvimento IQAB utilizando a	Manganês, Ferro, <i>Escherichia coli</i> , Algas, Cianobactérias, pH, Cor Aparente, e Turbidez	Funções trapezoidais nas pontas e triangulares nos meios.	Mamdani	Centro de Gravidade	MATLAB

	Lógica Fuzzy					
<i>Spatial Analysis of Ardabadil Plain Aquifer Potable Groundwater Using Fuzzy Logic (2013)</i>	Classificar a qualidade da água do Aquífero da Planície de Ardabil usando técnicas da Lógica Fuzzy na modelagem e tomada de decisão	Cloreto, Fluoreto, Magnésio, Cálcio, Sulfato, Total Dureza, Sódio, pH, Nitrato e Sólidos Totais Dissolvidos	Trapezoidal	Sugeno	Centroide	FuzMe
<i>A Fuzzy-Logic Based Decision-Making Approach for Identification of Groundwater Quality Based on Groundwater Quality Indices (2016)</i>	Desenvolver uma nova abordagem generalizada de IQA aplicando a Lógica Fuzzy, baseando-se em IQAs amplamente aceitos (GQI, WQI e GWQI)	pH, Sólidos Totais Dissolvidos, Cloreto, Sulfato, Cálcio, Magnésio, Alcalinidade Total, Total Dureza Nitrato e Fluoreto	Trapezoidal	Mamdani	Centroide	MATLAB

Fonte: Autoras (2017)

Tabela 1 - Quadro comparativo dos trabalhos relacionados estudados

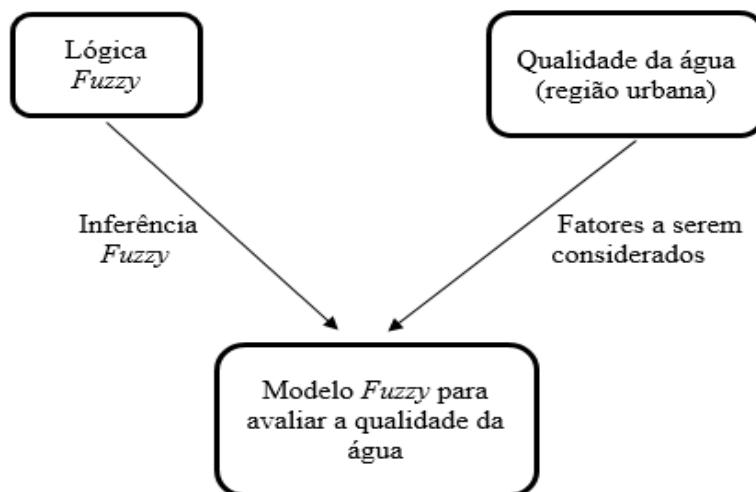
Na Tabela 1, pode-se observar que a técnica de fuzzificação Trapezoidal foi aplicada em praticamente todos os trabalhos. Apenas em Pereira, Tomaz e Ocazionez (2012) foi utilizada a Técnica Gaussiana no processo. Nessa mesma etapa, além de Oliveira *et al.* (2014) utilizar o modelo Trapezoidal, também aplicou a função triangular, realizando uma mescla de modelos. Na etapa de inferência, o Modelo Mamdani foi o mais utilizado. Apenas o trabalho de Kord e Moghaddam (2013) aplicou o modelo Sugeno. No processo de defuzzificação, a Técnica Centroide foi praticamente unânime. Somente Oliveira *et al.* (2014) aplicou a Técnica Centro de Gravidade. Com isso, acredita-se que, para a construção de um Sistema Fuzzy para avaliação da qualidade água, as melhores técnicas a serem aplicadas na fuzzificação, inferência e defuzzificação são: Trapezoidal, Mamdani e Centroide, respectivamente.

3. Metodologia e proposta

Esta sessão descreve a ideia geral da proposta de desenvolvimento de um Sistema Fuzzy para avaliar a qualidade de água e as etapas metodológicas definidas.

3.1 Ideia geral da proposta

A figura 1 exibe a ideia geral da proposta de desenvolvimento de um Sistema Fuzzy para avaliar a qualidade da água. Através da Lógica Nebulosa e dos parâmetros de qualidade da água de região urbana será construído um Modelo Fuzzy que irá realizar a avaliação do recurso natural.

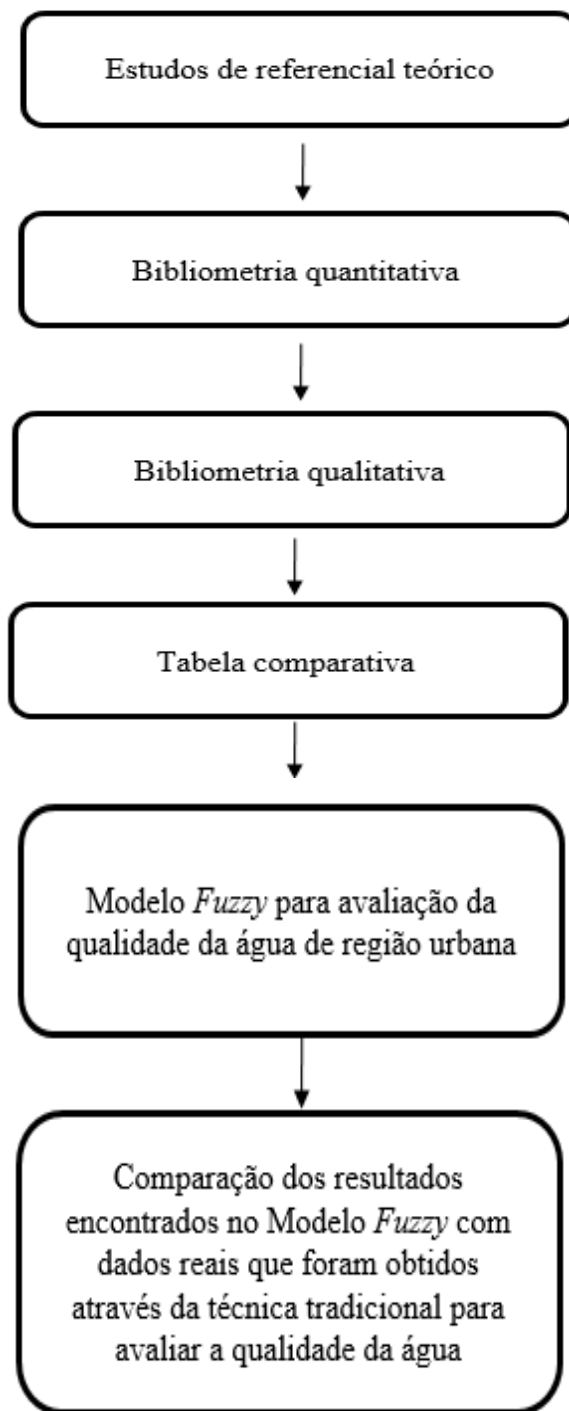


Fonte: Autoras (2017)

Figura 1 – Ideia geral da proposta

3.2 Etapas metodológicas

A figura 2 apresenta as etapas metodológicas executadas para, assim, ser possível criar um modelo *Fuzzy* para avaliação de qualidade da água de região urbana. Inicialmente, foram realizados estudos sobre avaliação de qualidade da água utilizando Lógica *Fuzzy* e foi visto que já há pesquisas na área, após foi realizada a bibliometria quantitativa e qualitativa nas bases *Web of Science*, *Scopus*, *Google Acadêmico*, *Science Direct* e *Wiley Online Library*. Em seguida, foi construído um quadro comparativo dos trabalhos relacionados à área e efetuada uma análise dele sobre quais seriam as melhores técnicas a serem aplicadas para construir um sistema de inferência *Fuzzy*. E por meio de toda pesquisa realizada e colhendo informações com um especialista humano, será possível construir um modelo *Fuzzy* para avaliação da qualidade da água de região urbana. Após construir o modelo *Fuzzy* e realizar a simulação, os valores encontrados serão comparados com dados reais que foram obtidos através da técnica tradicional para avaliar a qualidade da água.



Fonte: Autoras (2017)

Figura 2 – Etapas metodológicas

4. Conclusão

O campo para os estudos sobre sistemas de avaliação da qualidade de água utilizando Lógica *Fuzzy* é muito amplo, tem muito a ser explorado. Muitos trabalhos relacionados têm mostrado avanços de melhoria desses tipos de aplicação e os autores também se mostraram satisfeitos com o uso da Teoria dos Conjuntos Difusos para essa finalidade.

Os trabalhos estudados analisaram amostras de água brutas, ou seja, águas que não foram tratadas, como por exemplo, amostras retiradas de rios, subsolo, entre outros. Portanto, há necessidade de avaliar esse recurso natural na região urbana, a água que de fato está chegando

à casa das pessoas e que está sendo consumida, abrindo, assim, mais um campo a ser explorado. A proposta é desenvolver um sistema *Fuzzy* para avaliar a qualidade da água de região urbana, agregando parâmetros utilizados nos trabalhos relacionados apresentados com fatores regionais.

Referências

ACÁCIA, G. P. Estudo Da Qualidade Das Águas Do Rio Cachoeira - Região Sul Da Bahia. UESC, Ilhéus-Bahia, 2001.

FREITAS, V. P. S.; BRÍGIDO, B. M.; BADOLATO, M. I. C.; ALABURDA, J. Padrão Físico-químico da Água de Abastecimento Público da Região de Campinas In: Revista do Instituto Adolfo Lutz; V.61, No1, p. 51-58, 2002.

LERMONTOV, A.; YOKOYAMA, L.; LERMONTOV, M.; MACHADO, M.A.S. Aplicação Da Lógica Nebulosa Na Parametrização De Um Novo Índice De Qualidade Das Águas In: Engevista. V10, No 2, p. 106-125, 2008.

KORD, M.; MOGHADDAM, A. A. Spatial Analysis of Ardabil Plain Aquifer Potable Groundwater Using Fuzzy Logic In: Journal of King Saud University – Science, 2013.

LOPES, I. L.; SANTOS, F. A. O.; PINHEIRO, C. A. M. Inteligência Artificial. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014, 169p.

OLIVEIRA, M. D. de; REZENDE, O. L. T. de; OLIVEIRA, A. C.; LIBÂNIO, M. Nova abordagem do Índice de Qualidade de Água Bruta Utilizando a Lógica Fuzzy In: Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol.19, No.4, 2014.

PEREIRA, A. A.; TOMAZ, C.; OCAZONEZ, S. A. C. Avaliação da Qualidade da Água: Proposta de Novo Índice Alicerçado na Lógica Fuzzy In: Bioscience Journal. Vol. 28, No. 4, p.667-677, 2012.

SANTOS, J. O. dos; SANTOS, R. M. de S.; GOMES, M. A. D.; MIRANDA, R. C de; NÓBREGA, I G. de M. A Qualidade da Água para o Consumo Humano: Uma Discussão Necessária In: Revista Brasileira de Gestão Ambiental. Vol 7, No 2, p. 19-26, 2013.

VADIATI, M.; MOGHADDAM, A. A.; NAKHAEI, M.; ADAMOSWSKI, J.; AKBARZADEH, A. H. A Fuzzy-logic Based Decision-making Approach for Identification of Groundwater Quality Based on Groundwater Quality Indices In: Journal of Environmental Management, 2016.