INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO SANEAMENTO BRASILEIRO: APLICAÇÕES E TENDÊNCIAS

Wilimar Junio Ruas[(1)]
Administrador, mestre em Ciência da Informação (UFMG) e doutor em Gestão e Organização do Conhecimento (UFMG). Gerente de Apoio Administrativo Metropolitana da COPASA MG.
Ronaldo de Melo Serpa Júnior[(2)]
Engenheiro Civil e especialista em Engenharia Sanitária. Superintendente de Operações Metropolitana da COPASA MG.
Sérgio Neves Pacheco[(3)]
Engenheiro Civil e especialista em Engenharia Sanitária. Gestor de Empreendimentos de Grande Porte da COPASA MG.

Endereço[(1)]: Rua Mar de Espanha, 453 - Bairro Santo Antônio - Belo Horizonte - MG - CEP: 30270-130 - Brasil - Tel: +55 (31) 3250-1301 - e-mail: wilimar.ruas@copasa.com.br.

RESUMO

Apresenta aplicações e tendências do uso da Inteligência Artificial (IA) no saneamento brasileiro reveladas em publicações no período de 2014 a 2024. Pesquisa de abordagem qualitativa que fez uso da pesquisa bibliográfica como procedimento técnico para coletar publicações no período de onze anos na base de dados Google Scholar. Foi utilizado o método de análise de conteúdo e a técnica de análise categorial para agrupamento das 12 publicações selecionadas, sendo classificadas em quatro eixos: Produção de água; Qualidade da água; Perdas de água; Gestão do sistema de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. A pesquisa demonstrou o potencial da IA para aprimorar a gestão dos sistemas de saneamento. A automatização de processos, a análise de grandes volumes de dados e a capacidade preditiva da IA abrem novas perspectivas para a resolução de desafios complexos enfrentados pelo setor, como a escassez hídrica e as perdas de água nos sistemas de abastecimento.

PALAVRAS-CHAVE: Inteligência Artificial. Saneamento. Água. Esgoto. Pesquisa Bibliográfica.

INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) é uma área da ciência da computação que se concentra em criar sistemas que podem realizar tarefas que, normalmente, exigem inteligência humana para serem realizadas (RUSSELL; NORVIG, 2021). A IA tem se destacado como uma das tecnologias mais disruptivas do século XXI, transformando diversos setores da sociedade e da economia. No Brasil, um dos campos que mais pode se beneficiar dessa revolução tecnológica é o saneamento básico. Enfrentando desafios como a escassez de recursos hídricos e a desigualdade no acesso a serviços de saneamento, o país pode encontrar na IA uma poderosa aliada para a melhoria desses serviços essenciais.

Uma pesquisa bibliográfica, segundo Gil (2008), possibilita um amplo alcance de informações, além de permitir a utilização de dados dispersos em inúmeras publicações, auxiliando também na construção, ou na melhor definição do quadro conceitual que envolve o objeto de estudo proposto. Para Correia e Souza (2010) essa modalidade de pesquisa está vinculada – direta e objetivamente – ao problema de pesquisa, de forma a respondê-lo. A localização e a consulta de bibliografias já publicadas podem ser feitas em livros, revistas, sites, dicionários, dissertações, teses, monografias, entre outras fontes que abordem o assunto a ser elucidado. Posteriormente, é realizada uma seleção para melhor determinar os textos e informações mais pertinentes para fundamentar o trabalho e oferecer respostas para o problema que norteia o estudo (CORREIA; SOUZA, 2010).

Este artigo tem como objetivo apresentar aplicações e tendências do uso da IA no saneamento brasileiro identificadas em publicações no período de 2014 a 2024 na base de dados Google Scholar. Tal levantamento faz parte de estudo para identificação de trabalhos correlatos do uso de IA no saneamento básico, em especial nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, no contexto nacional e internacional.

A crescente adoção da IA no saneamento básico abre novas possibilidades para a inovação, permitindo o desenvolvimento de sistemas inteligentes de monitoramento e controle, a predição de falhas em equipamentos, a

análise de grandes volumes de dados (big data) para a tomada de decisões estratégicas, entre outras aplicações. Neste contexto, o estudo das aplicações e tendências no uso da IA pode fornecer insights valiosos para gestores, pesquisadores e formuladores de políticas públicas, contribuindo para a construção de um saneamento no Brasil mais sustentável e eficiente.

Este artigo está organizado em mais quatro seções, além dessa Introdução. A seção 2, Objetivo, apresenta o objetivo da pesquisa realizada. Na seção 3, é apresentada a metodologia, destacando a técnica de análise de conteúdo para seleção e categorização das publicações identificadas na base de dados Google Scholar. Na seção 4 são apresentados os resultados obtidos por meio do método aplicado nos quatro eixos de categorização: Produção de água; Qualidade da água; Perdas de água; Gestão do sistema de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. Por fim, a seção 5 apresenta a conclusão do trabalho indicando as contribuições da pesquisa para o setor de saneamento, assim como indica questões a serem abordadas no futuro.

OBJETIVO

O presente artigo possui como objetivo apresentar aplicações e tendências do uso da IA no saneamento brasileiro, em especial nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, identificadas por meio de pesquisa bibliográfica em publicações no período de 2014 a 2024 na base de dados Google Scholar.

METODOLOGIA

Esta pesquisa caracteriza-se como de natureza básica, que conforme Gil (2008), procura desenvolver os conhecimentos científicos sem a preocupação direta com suas aplicações e consequências práticas, objetivando a generalização. Do ponto de vista da abordagem do problema, classifica-se como qualitativa. Quanto aos seus procedimentos técnicos, denomina-se como pesquisa bibliográfica, pois tratará de dados e verificações provindas diretamente de trabalhos já realizados sobre o assunto pesquisado. No que tange aos objetivos, classifica-se como exploratória e descritiva, pois buscará informações específicas e características do que está sendo estudado (GIL, 2008).

Para o estudo bibliográfico foram coletadas publicações de onze anos, entre 2014 e 2024, na base de dados Google Scholar, por meio do software Publish or Perish, utilizando-se os termos “inteligência artificial”, “água” e “esgoto”. Os termos mencionados foram analisados no campo de título com uso da *string* de busca: *“inteligência artificial" água OR esgoto*. A busca foi realizada em dezembro/2024.

Como resultado da busca foram recuperadas 19 publicações entre artigos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses. Em sete publicações recuperadas o acesso ao texto completo foi restrito, o que não permitiu a leitura do conteúdo. Assim foram selecionadas 12 publicações para continuidade da pesquisa.

Para alcançar o objetivo proposto de identificar as aplicações e tendências de IA no saneamento brasileiro foi utilizado o método análise de conteúdo (Bardin, 1977) das publicações selecionadas. A análise de conteúdo é aplicada para analisar dados textuais através do processo de classificação sistemática da codificação e identificação de temas ou padrões (HSIEH; SHANNON, 2005). Assim, optou-se pela técnica de análise categorial que envolve a seleção de critérios de escolha e delimitação de categorias para associação do conteúdo presente nas publicações analisadas. A definição das categorias que representam e agrupam as publicações foram definidas a posteriori com base nas 12 publicações selecionadas após leitura completa e respectiva codificação. O quadro 1 apresenta as referências das publicações selecionadas e o Quadro 2 a derivação das categorias.

Quadro 1 - Referência das publicações selecionadas

1. ULIANA, E. M. **Modelagem da vazão em cursos de água com base em modelos conceituais chuva-vazão e em método de inteligência artificial**. 2016. 143f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2016.
2. MARQUES, D. C. **Método de controle eficiente utilizando ferramentas de inteligência artificial em sistemas de bombeamento de água**. 2018. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2018.
3. SILVA, A. E. et al. Aplicação de inteligência artificial no tratamento de água. **Anais da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT) do IFS**, v. 1, n. 1, p. 419-421, 2019.

4. SILVA, I. S. **Inteligência artificial para avaliação da qualidade da água**. 2019. 105 f. Dissertação (Pós-Graduação em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019.
5. FERNANDES, R.F. L. **Metodologias de redução de perdas de água com recurso a algoritmos de inteligência artificial**. 2020. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Hidráulica) - Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2020.
6. VIVAS, E.; LEITE, P.; PINTO, S. **Utilização de Ferramentas de Inteligência Artificial no Apoio à Deteção de Fugas em Sistemas de Abastecimento de água**. 2021.
7. INOUE, M. R. et al. Inteligência artificial na estação de tratamento de água (ETA). **32° Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente - Encontro Técnico AESABESP**. 2021.
8. CAMPOS, F. S. Uso de solução sistematizada e com inteligência artificial no planejamento de ações de combate a perdas de água em sistemas urbanos de abastecimento: estudo de caso em Santa Catarina, Brasil. **33° Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente - Encontro Técnico AESABESP**. 2022.
9. DA SILVA, L. R. M. Aplicação de Inteligência Artificial na Predição e Monitoramento da Qualidade da Água em Bacias Hidrográficas. **Environmental Science & Technology Innovation - ISSN 2965-1158**, v. 2, n. 2, 2023.
10. SORIANO, L. **Contribuição ao estudo da eficiência energética na operação de reservatórios urbanos de abastecimento de água com o uso de otimização e inteligência artificial**. 2023. 140f. Dissertação (Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo), Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2023.
11. ZANCAN, C.; PASSADOR, J. L.; PASSADOR, C. S. Algoritmos de inteligência artificial na gestão de consórcios intermunicipais em serviços de água e esgoto. **EmpíricaBR-Revista Brasileira de Gestão Negócio e Tecnologia da Informação**, v. 4, n. 2, p. 26-26, 2024.
12. PAQUES, N. de A. A. Gestão de eventos anômalos utilizando inteligência artificial (IA) nas redes de água e esgoto, reduzindo perdas e otimizando a eficiência operacional. **21° Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2024.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Quadro 2 – Categorização das publicações

Categorização Inicial	Categorização Final	Número de Publicações
Modelagem de vazões em bacia hidrográfica	Produção de água	1
Predição de produto químico no tratamento de água	Qualidade da água	4
Predição de clorofila-a na qualidade da água		
Monitoramento de qualidade da água em bacia hidrográfica		
Monitoramento de parâmetros em Estação de Tratamento de Água (ETA)		
Controle de perdas em sistemas de abastecimento	Perdas de água	3
Automação em reservatório	Gestão do sistema de abastecimento de água e de esgotamento sanitário	4
Controle de vazões em sistema de bombeamento		
Gestão dos serviços água e esgoto em consórcios intermunicipais		
Gestão de eventos em redes de água e esgoto		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

No momento da leitura de cada publicação as ideias principais eram extraídas com objetivo de definir uma categoria para o trabalho, chamada de categoria inicial. Após a leitura dos 12 trabalhos foi realizada análise da categoria inicial com objetivo de agrupar os textos em uma categorização final que representasse as aplicações e tendências de IA no saneamento brasileiro.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir da análise de conteúdo realizada nas publicações selecionadas, a categorização final foi definida em quatro eixos: Produção de água; Qualidade da água; Perdas de água; Gestão do sistema de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. A seguir o trabalho apresentará cada um destes eixos.

Produção de água

A captação de água é o primeiro estágio do processo de produção de água potável, envolvendo a coleta de água em mananciais para seu posterior tratamento e distribuição. A água bruta (sem tratamento e imprópria ao consumo humano) é captada nestes mananciais que podem ser superficiais (rios, lagos e barragens) ou subterrâneos (poços profundos e lençóis freáticos).

As bacias hidrográficas são áreas geográficas delimitadas por divisores de água, que coletam a precipitação e a direcionam para os mananciais. A estrutura e a dinâmica de uma bacia hidrográfica influenciam diretamente a quantidade e a qualidade da água disponível para captação. Nesse sentido Uliana (2016) apresenta uma pesquisa de uso de Redes Neurais Artificiais (RNA) para a estimativa das vazões diárias em uma bacia hidrográfica, por meio de modelos conceituais chuva-vazão. A aplicação de RNA possibilita identificar as relações entre as variáveis de entrada e as de saída de um sistema, o que o torna capaz de resolver problemas complexos, como a transformação de chuva em vazão.

Qualidade de água

A qualidade da água é um aspecto crucial para a saúde pública e um indicador importante para a gestão dos sistemas de saneamento. A água potável deve atender a critérios rigorosos de pureza, sendo livre de contaminantes físicos, químicos e biológicos que possam representar riscos à saúde humana. O processo de tratamento da água assegura que a água distribuída esteja dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pelas autoridades de saúde. Ao eliminar patógenos e substâncias tóxicas, o processo de tratamento de água reduz significativamente a incidência de doenças e melhora a qualidade de vida das populações.

No que tange a aplicação de IA na qualidade da água, Silva *et al* (2019) fez uso de IA no tratamento de água, automatizando o processo de predição do coagulante sulfato de alumínio utilizando o pH e a turbidez como entradas na arquitetura do sistema. Tal proposta é apresentada como alternativa ao uso de *jar test* no processo de coagulação para predição do coagulante. Ainda no processo de tratamento, Inoue *et al* (2021) aplicou uma solução para realização de ensaios físico-químicos e microbiológicos de forma automatizada em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) com monitoramento online dos resultados para atendimento à legislação (Portaria GM/MS n.º 888, de 04 de Maio de 2021 do Ministério da Saúde). Como resultados do trabalho, Inoue *et al* (2021) apresenta a automatização total de uma ETA afastada da área urbana, garantindo confiabilidade na qualidade da água distribuída e otimizando recursos humanos e financeiros.

No monitoramento da qualidade da água Silva (2019) utilizou RNA e o *Random Forest* (é um algoritmo de aprendizado de máquina que combina várias árvores de decisão para prever resultados) para permitir a previsão e a predição da concentração de clorofila-a, um dos principais indicadores do processo de eutrofização, em corpos hídricos do estado de Sergipe. Já Da Silva (2023) desenvolveu um modelo de IA para prever e monitorar a qualidade da água em bacias hidrográficas, utilizando dados de sensores remotos e outras fontes de informações ambientais, incluindo dados climáticos. O modelo de Da Silva (2023) foi aplicado na Baía de Guanabara, no Rio de Janeiro, e os resultados obtidos a partir do algoritmo se mostraram extremamente promissores.

Perdas de água

As perdas de água constituem um dos desafios mais significativos enfrentados pelas companhias de abastecimento e saneamento ao redor do mundo. Essas perdas podem ser classificadas em duas categorias principais: perdas físicas e perdas aparentes. As perdas físicas referem-se à água que é perdida no sistema de distribuição devido a vazamentos e rupturas nas tubulações, conexões defeituosas e problemas estruturais nos reservatórios e ETAs. Já as perdas aparentes são aquelas relacionadas a erros na medição e na leitura dos hidrômetros, fraudes e uso não autorizado de água.

Com o aumento da demanda por água potável e a crescente escassez de recursos hídricos, a redução das perdas de água tornou-se uma prioridade, sendo campo promissor para aplicação de IA. Neste aspecto Fernandes (2020) explora dados de telemetria associados a consumidores do sistema de abastecimento de água do município de Viana do Castelo em Portugal para obter conhecimento sobre o intervalo horário de Consumo Mínimo Noturno (CMN) que tem influência direta no valor das perdas reais. Nesse estudo ainda foram analisadas as componentes de consumo em séries temporais, de forma a compreender os diferentes

comportamentos dos consumidores, onde é possível também obter a percepção sobre consumos anormais, que poderão ser indícios de perdas aparentes. Ainda no contexto de Portugal, Vivas, Leite e Pinto (2021) apresentam estudo de utilização de RNA e de Modelo Aditivo Generalizado (MAG) para apoiar a detecção precoce de perdas reais com base na análise de parâmetros de monitoramento de sistemas (ex. vazão).

No Brasil, Campos (2022) demonstrou como o uso de IA e de ferramentas de otimização foi capaz de melhorar o espaço de busca e apontar regiões prioritárias para pesquisa de vazamentos não visíveis no munícipio de Curitibanos em Santa Catarina, por meio de uma cooperação técnica entre as empresas SmartAcqua, Canumã e Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN). O enfoque do estudo se deu sobre a problemática da dificuldade dos operadores de saneamento em realizar uma organização logística que opere de forma proativa na pesquisa de vazamentos não visíveis.

Gestão do sistema de abastecimento de água e de esgotamento sanitário

A gestão eficiente dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário são fundamentais para o fornecimento contínuo de água potável às populações e para a coleta e tratamento adequado dos esgotos gerados. A boa gestão desses sistemas envolve várias atividades interligadas, como planejamento, operação, manutenção e monitoramento.

No que tange à operação dos sistemas, Soriano (2023) propõe uma política de operação ótima de adução de água a um reservatório urbano de distribuição (Estação Jardim São Pedro em São Paulo), dotado de um módulo de automatização de controle de adução, com vistas a redução dos custos de energia elétrica. Já Marques (2018) apresenta um método inteligente de controle de vazão em sistemas de bombeamento baseado no aprendizado emocional do cérebro (BELBIC). Esse método foi desenvolvido em um controlador industrial, por meio de um algoritmo com capacidade de aprendizagem que recebe sinais sensoriais e um sinal emocional para poder gerar a ação adequada em relação à situação emocional do sistema.

No âmbito da gestão, Zancan, Passador e Passador (2023) propõe o uso de algoritmos de IA, por meio da programação em Python, em situações de análise e monitoramento de consumo de clientes, monitoramento de vazamentos, controle de qualidade da água e previsão de demanda. Panques (2024) apresenta os resultados obtidos com o serviço de gestão de eventos anômalos utilizando IA em um município de 600.000 habitantes através de uma central digital de gestão e serviços de monitoramento de rede (*Shared Services Offering* - SSO) na modalidade SAAS (*Software As A Service*) realizando a gestão, detecção, análise e priorização de eventos anômalos.

CONCLUSÕES

Este artigo teve como objetivo apresentar aplicações e tendências do uso da IA no saneamento brasileiro, identificadas em publicações entre 2014 e 2024 na base de dados Google Scholar. A pesquisa bibliográfica, utilizando os termos "inteligência artificial", "água" e "esgoto", resultou na seleção de 12 publicações que foram submetidas à análise de conteúdo, com o intuito de categorizar as aplicações da IA em quatro eixos principais: Produção de água, Qualidade da água, Perdas de água e Gestão do sistema de abastecimento de água e de esgotamento sanitário.

Os resultados da análise revelaram um crescente interesse e aplicação da IA em diversas áreas do saneamento no Brasil. Na Produção de água, a IA demonstrou potencial para aprimorar a modelagem de vazões em bacias hidrográficas, permitindo uma melhor gestão dos recursos hídricos. No campo da Qualidade da água, as aplicações se concentraram na automação do tratamento, com predição de dosagem de coagulantes e monitoramento automatizado em ETAs, além do monitoramento da qualidade em corpos hídricos, com destaque para a predição da concentração de clorofila-a e o desenvolvimento de modelos para previsão e monitoramento em bacias hidrográficas. No que diz respeito às Perdas de água, a IA se mostrou eficaz na detecção precoce de vazamentos, na otimização da busca por vazamentos não visíveis e na análise de dados de consumo para identificar anomalias que possam indicar perdas aparentes ou reais. Por fim, na Gestão do sistema de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, a IA foi aplicada na automação de reservatórios, no controle de vazões em sistemas de bombeamento e na gestão dos serviços de água e esgoto.

Como limitação da pesquisa, apresenta-se o fato da restrição de acesso em sete publicações recuperadas, o que reduziu o número de estudos a serem incluídos na fase de análise de conteúdo e posterior categorização.

Este estudo contribui para o setor de saneamento ao fornecer um panorama das aplicações e tendências da IA no contexto brasileiro. A pesquisa demonstra o potencial da IA para otimizar processos, melhorar a eficiência, reduzir perdas, garantir a qualidade da água e aprimorar a gestão dos sistemas de saneamento. A automatização de processos, a análise de grandes volumes de dados e a capacidade preditiva da IA abrem novas perspectivas para a resolução de desafios complexos enfrentados pelo setor, como a escassez hídrica e as perdas de água nos sistemas de abastecimento.

Embora este estudo tenha abrangido um período significativo (2014-2024) e identificado aplicações da IA no saneamento brasileiro, algumas questões merecem ser abordadas em pesquisas futuras. São elas:

- Análise de custo-benefício: Avaliações econômicas das implementações de IA em projetos de saneamento são necessárias para demonstrar a viabilidade e o retorno do investimento;
- Integração de dados e sistemas: Pesquisas sobre a integração de diferentes fontes de dados e sistemas de informação com soluções de IA podem impulsionar a tomada de decisões mais estratégicas e eficientes;
- Privacidade e segurança: A discussão sobre a privacidade e segurança dos dados utilizados com IA é fundamental.

Em suma, a IA se apresenta como uma ferramenta promissora para a modernização e aprimoramento do saneamento no Brasil. Investir em pesquisa, desenvolvimento e implementação de soluções baseadas em IA é essencial para construir um saneamento mais eficiente, sustentável e resiliente, contribuindo para a meta de universalização dos serviços de água e esgoto até o ano de 2033 preconizada no marco do saneamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.

2. CORREIA, L. C.; SOUZA, N. A. de. Pesquisa bibliográfica ou revisão de literatura: traçando limites e ampliando compreensões. **XIX Encontro Anual de Iniciação Científica**, p. 1-4, 2010.

3. CAMPOS, F. S. Uso de solução sistematizada e com inteligência artificial no planejamento de ações de combate a perdas de água em sistemas urbanos de abastecimento: estudo de caso em Santa Catarina, Brasil. **33° Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente - Encontro Técnico AESABESP**. 2022.

4. DA SILVA, L. R. M. Aplicação de Inteligência Artificial na Predição e Monitoramento da Qualidade da Água em Bacias Hidrográficas. **Environmental Science & Technology Innovation - ISSN 2965-1158**, v. 2, n. 2, 2023.

5. FERNANDES, R.F. L. **Metodologias de redução de perdas de água com recurso a algoritmos de inteligência artificial**. 2020. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Hidráulica) - Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2020.

6. GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo, SP,Ed. Atlas, 2008. 216 p.

7. HSIEH, H.-F.; SHANNON, S.E. Three approaches to qualitative content analysis. **Qualitative Health Research**, 15(9), p. 1277-1288, 2005.

8. INOUE, M. R. et al. Inteligência artificial na estação de tratamento de água (ETA). **32° Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente - Encontro Técnico AESABESP**. 2021.

9. MARQUES, D. C. **Método de controle eficiente utilizando ferramentas de inteligência artificial em sistemas de bombeamento de água**. 2018. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2018.

10. PAQUES, N. de A. A. Gestão de eventos anômalos utilizando inteligência artificial (IA) nas redes de água e esgoto, reduzindo perdas e otimizando a eficiência operacional. **21° Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2024.

11. RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Artificial intelligence: A modern approach** (4th ed.). Pearson, 2021.

12. SILVA, I. S. **Inteligência artificial para avaliação da qualidade da água**. 2019. 105 f. Dissertação (Pós-Graduação em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019.

13. SILVA, A. E. et al. Aplicação de inteligência artificial no tratamento de água. **Anais da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT) do IFS**, v. 1, n. 1, p. 419-421, 2019.

14. SORIANO, L. **Contribuição ao estudo da eficiência energética na operação de reservatórios urbanos de abastecimento de água com o uso de otimização e inteligência artificial**. 2023. 140f. Dissertação (Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo), Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2023.

15. ULIANA, E. M. **Modelagem da vazão em cursos de água com base em modelos conceituais chuva-vazão e em método de inteligência artificial**. 2016. 143f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2016.

16. VIVAS, E.; LEITE, P.; PINTO, S. **Utilização de Ferramentas de Inteligência Artificial no Apoio à Deteção de Fugas em Sistemas de Abastecimento de água**. 2021.

17. ZANCAN, C.; PASSADOR, J. L.; PASSADOR, C. S. Algoritmos de inteligência artificial na gestão de consórcios intermunicipais em serviços de água e esgoto. **EmpíricaBR-Revista Brasileira de Gestão Negócio e Tecnologia da Informação**, v. 4, n. 2, p. 26-26, 2024.