

Modelos matemáticos de tratamento de qualidade da água

Mathematical models of water quality treatment

Modelos matemáticos de tratamiento de la calidad del agua

Recebido: 15/03/2022 | Revisado: 27/04/2022 | Aceito: 31/05/2022 | Publicado: 01/07/2022

Núbia do Nascimento Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5941-3078>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: nubia_matematicaa@hotmail.com

Khelvyn Yhasley Nascimento Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9954-1696>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: khelvyn.martins@hotmail.com

Rodolfo Ramos Castelo Branco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9034-7985>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: rodolfo.ramos@nutes.uepb.edu.br

Ketinlly Yasmyne Nascimento Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8653-8052>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: yasmyne.martins@nutes.uepb.edu.br

Anna Kellssya Leite Filgueira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7739-3522>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: annakellssya21@gmail.com

Maria das Graças Ouriques Ramos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3007-9851>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: ouriquesgr@gmail.com

Wilton Silva Lopes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0151-7664>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: wiltonuepb@gmail.com

Morgana Freire

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9212-2392>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: morganalff@gmail.com

Resumo

A água é um recurso natural essencial para todas as formas de vida existentes no mundo. A sua disponibilidade trata-se de um agente de gerenciamento hoje, para não faltar no futuro e sustentar todos os ecossistemas. Monitorar a qualidade da água surge da demanda para se garantir a efetividade dos diversos usos. Nos últimos anos, os modelos matemáticos de simulação para qualidade da água estão se tornando comuns na pesquisa científica. Assim, objetiva-se analisar os modelos matemáticos que aparecem com maior frequência na literatura, apresentando suas principais características. A modelagem matemática permite prever o comportamento de um determinado sistema, ou seja, do reservatório, sendo possível estimar sua evolução com o tempo. Como esse estudo foi classificado como uma pesquisa exploratória, colaborou na linha de investigação e incentivou na pesquisa operacional para analisar os sistemas de reservatórios, como as piscinas prediais em termos da qualidade da água.

Palavras-chave: Qualidade da água; Monitoramento; Modelos matemáticos.

Abstract

Water is an essential natural resource for all forms of life in the world. Its availability is a management agent today for not to be lacking in the future and sustaining all ecosystems. Monitoring the water quality is mandatory to ensure the effectiveness of its various uses. In recent years, mathematical simulation models for water quality are common in scientific research. Thus, the objective is to analyze the mathematical models that appear most frequently in the literature and their main characteristics. Mathematical modeling allows predicting the behavior of a given system, that is, the reservoir, being possible to estimate its evolution over time. As this study was classified as an exploratory research, it collaborated in the line of investigation and encouraged operational research to analyze reservoir systems, such as residential pools, in terms of water quality.

Keywords: Water quality; Monitoring; Mathematical models.

Resumen

El agua es un recurso natural esencial para todas las formas de vida en el mundo. Su disponibilidad es un agente de gestión hoy, para no faltar en el futuro y para sustentar todos los ecosistemas. El monitoreo de la calidad del agua surge de la demanda para asegurar la efectividad de los diversos usos. En los últimos años, los modelos matemáticos de simulación de la calidad del agua se están volviendo comunes en la investigación científica. Así, el objetivo es analizar los modelos matemáticos que aparecen con mayor frecuencia en la literatura, presentando sus principales características. La modelación matemática permite predecir el comportamiento de un determinado sistema, es decir, del yacimiento, posibilitando estimar su evolución en el tiempo. Como este estudio fue clasificado como una investigación exploratoria, colaboró en la línea de investigación y fomentó la investigación operativa para analizar los sistemas de embalses, como la construcción de piscinas en términos de calidad del agua.

Palabras clave: Calidad del agua; Monitoreo; Modelos matemáticos.

1. Introdução

A água é um bem indispensável à vida, deve ser um direito de todos, e por isso inclui seu acesso facilitado a todos, pois o abastecimento surge como uma garantia dos direitos. O desenvolvimento e o crescimento populacional, em conjunto com as mudanças climáticas, em muitas regiões, que incluem diversos países do globo, sem dúvida, fazem surgir uma pergunta que não quer calar: como devemos avaliar o potencial de captura, a necessidade em condições críticas e a capacidade futura dos reservatórios para ajudar a equilibrar as demandas crescentes de água. Esta pergunta surge para o futuro, mas não em um futuro distante, pois o recurso natural água, a longo prazo, tem de ser pensado com propriedade e sob vários aspectos: cientificamente, socialmente, economicamente e politicamente; e, pensado conjuntamente por todos os países.

Não se pode ter água de boa qualidade para áreas agrícolas existentes e zonas de conservação de habitat sem que se possa identificar regiões inadequadas para aumentar o abastecimento, através da exploração de novos reservatórios de armazenamento aleatoriamente e que a água não seja de boa qualidade para o consumo humano – isso é um grande problema a se resolver.

A água é um recurso natural essencial para todas as formas de vida existentes no mundo. Pensava-se ser um recurso natural inesgotável. A água está presente em todos os processos físicos, químicos e biológicos. Mas a sua escassez em diversas regiões do planeta, como resultado das quedas em termos numéricos das precipitações registradas e de uma demanda crescente por esse recurso, tornou-se preciso, urgentemente, a administração de fatores humanitários de desenvolvimento. A sua disponibilidade trata-se de um agente de gerenciamento hoje, para não faltar no futuro e sustentar todos os ecossistemas (Braga et al., 2005).

Só para se ter uma ideia desse grande problema, os reservatórios de água de superfície ajudam a entender a variabilidade do fluxo nos rios, ao mesmo tempo que desempenham um papel crítico na atenuação de enchentes, garantindo o abastecimento de água e garantindo a geração de energia hidrelétrica confiável, principalmente no Brasil, já que sua matriz de energia elétrica tem mais de 50% de origem nas hidrelétricas.

Uma década atrás, a capacidade total de armazenamento global dos maiores reservatórios era de aproximadamente 6197 km³ e afetou o fluxo em quase metade de todos os principais sistemas fluviais em todo o mundo (Lehner et al., 2011). Para Poff e Schmidt (2016) as mudanças nos padrões de fluxo natural mudaram os ecossistemas locais. Inundações de áreas a montante, durante o desenvolvimento do reservatório, causaram conflitos com os usos da terra existentes (Richter et al., 2014). Tem-se que fazer uma avaliação do potencial da água em termos de reservatórios em pequena, média e grande escalas; mas principalmente em grande escala para que se possa fornecer os rendimentos destes e, de maneira confiável, ao mesmo tempo que se avalie as bacias hidrográficas do mundo.

Monitorar a qualidade da água surge da demanda para se garantir a efetividade dos diversos usos, o que induz a influência na gestão dos recursos hídricos – ou seja, a solucionar os possíveis conflitos no sentido de economia e melhor qualidade. O monitoramento da água trata-se de um processo de amostragem, de determinação de parâmetros de interesse e de

armazenamento de dados das características físicas, químicas e biológicas. Nesse processo de monitoramento obtém-se resultados dos tipos de reservatórios que se deseja com a finalidade principal de avaliar a qualidade da água, a sua adequação para o uso requerido, voltados à identificação de determinados problemas, mas tendo em vista seu controle e/ou planejamento.

Nos últimos anos, os modelos matemáticos de simulação estão se tornando comuns na pesquisa científica, especialmente no que diz respeito à qualidade da água. Assim, objetiva-se, diante da popularidade dos modelos matemáticos via análise por computador, apresentar uma revisão bibliográfica daqueles que aparecem com maior frequência na literatura apresentando suas principais características.

Analisar se essas soluções são usadas para sistemas de reservatórios de água em edificações, inclusive com soluções que integrem sistemas de aquecimento de água; desta forma tem-se como objetivos específicos (1) averiguar se algum desses modelos foi aplicado para o uso dos sistemas reservatórios prediais; (2) examinar se algum desses modelos foi usado na prática de monitoramento da água nas instalações prediais.

Este estudo, que pode ser classificado como exploratório, pois trata-se de um ponto de partida para colaborar nesta linha de investigação esperando ajudar e, sobretudo, incentivar novos conhecimentos na área de pesquisa operacional, particularmente na busca dos modelos matemáticos usados para analisar os sistemas de reservatórios, como as piscinas prediais em termos da qualidade da água.

2. Metodologia

A pesquisa foi de natureza qualitativa, pois existiu uma preocupação do aprofundamento dos tipos e aspectos dos modelos matemáticos de tratamento de qualidade da água. Além disso, alguns aspectos importantes deste tipo de pesquisa foi a interpretação da temática e o contexto do que é pesquisado.

Quanto aos objetivos foi do tipo exploratória, tendo em vista proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito e sistematizado. A maioria dessas pesquisas envolve os procedimentos que levam à pesquisa bibliográfica (Gil, 2008; Marconi & Lakatos, 2010). Para isso, os procedimentos utilizaram-se da pesquisa bibliográfica visto que a fonte de dados foi as referências teóricas publicadas sobre o tema (Fonseca, 2002). Em termos de procedimento é um estudo de caso pois visa identificar, analisar, descrever, discutir e analisar os modelos matemáticos para a qualidade da água (Ludke & André, 2013).

Para a pesquisa bibliográfica foram usados estudos disponíveis em várias plataformas eletrônicas. Entre as plataformas que se destacam tem-se a SciELO, Z-Library, Portal de Periódicos da CAPES, Google Acadêmico, Biblioteca Digital de Teses e Dissertações, Science.gov e World Wide Science. A seguir apresenta-se uma rápida descrição de cada uma delas.

A SciELO é uma plataforma eletrônica e cooperativa de periódicos científicos. A denominação SciELO refere-se a uma sigla para Scientific Electronic Library Online em inglês. Se fosse fazer uma tradução para o português da sigla Scielo, teríamos: Biblioteca Científica Eletrônica Online. Esta permite aos usuários o acesso eletrônico aos artigos completos das revistas da Argentina, do Brasil, da Bolívia, do Chile, da Colômbia, de Cuba, da Costa Rica, da Venezuela, do Peru e do Uruguai; em ordem alfabética. A Z-Library (z-lib ou Biblioteca-Z, anteriormente BookFinder) é uma 'shadow-library', um projeto de compartilhamento de arquivos de artigos de revistas acadêmicas, livros acadêmicos e livros de interesse geral. O Portal de Periódicos da CAPES é uma biblioteca virtual que disponibiliza publicações das grandes instituições de ensino superior do país e da produção científica internacional. Google é um mecanismo de pesquisa/busca do Google voltado para atender estudantes, universitários, pesquisadores e o público em geral; é uma ferramenta que atua como uma base de dados de publicações científicas. A Biblioteca Digital de Teses e Dissertações, ou simplesmente BDTD, é uma base de dados que reúne trabalhos acadêmicos produzidos pelas instituições de ensino e pesquisa brasileiras e é coordenada pelo Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT). O Science.gov é um portal da web e uma ferramenta de busca a partir da integração de várias agências e

órgãos dos Estados Unidos da América. O site World Wide Science dá acesso à base de dados e portais científicos de vários países do mundo.

Só para se ter uma idealização da metodologia, notemos o seguinte exemplo. Como um exemplo da primeira busca ao se digitar a palavra “água” ou “water” na plataforma da Scielo apareceram 15.095 resultados. ao se considerar o filtro denominado tipo de literatura artigo tem-se 14.503; 149 para relato breve; 111 para artigo de revisão; 99 para outros; 96 para comunicação rápida; 59 para editorial; 37 para relato de caso; 14 para comunicado de imprensa; 9 para resumo; 9 para artigo-comentário; 3 para resenha de livro; 2 para carta; 2 para correção; 1 para termo aditivo; e, 1 para notícia. Na Tabela 1 apresenta-se os resultados encontrado e tipos de literatura quando se usa a palavra “água” ou “water” nas plataformas eletrônicas.

Tabela 1 – Resultados encontrado e tipos de literatura quando se usa a palavra “água” ou “water” nas plataformas eletrônicas.

PLATAFORMAS	CARACTERÍSTICAS DOS RESULTADOS DA BUSCA COMO O FILTRO A PALAVRA ÁGUA
SciELO	Total de Artigos 14.503 149 para Relato breve; 111 para Artigo de revisão; 99 para Outros; 96 para Comunicação rápida; 59 para Editorial; 37 para Relato de caso; 14 para Comunicado de imprensa; 9 para Resumo; 9 para Artigo-comentário; 3 para Resenha de livro; 2 para Carta; 2 para Correção; 1 para Termo aditivo; e, 1 para Notícia.
Z-Library	Artigos 500; Livros 122.
Portal de Periódicos da CAPES	Total 241.834 Resultados Artigos 212.864; Artigos de Jornal 68; Recursos Textuais 37.566; Conjuntos de Dados 25.673; Atas de Congressos 99; Livros 217; Entradas de Referência 20; Periódicos 9; Resenhas 1.147; Capítulos de Livros 59; Gravações de Vídeos 42; Dissertações 612; Artigos de Newsletter 5; Relatórios 62; Imagens 679; Web_resources 114; Material de Arquivos/Manuscritos 119; Documentos governamentais 59; Gravações de Vídeo 42; Áudio 2; Patentes 5; Periódicos 9; Bases de dados 2; Mapas 1.
Google Acadêmico	Total de Artigos 5 290 000 Artigos 1.750.000; Artigos de Revisão 622 000; Relatos Breve 229 000; Comunicações Rápidas 201 000; Relatos de caso 493.000; Outros 2.150.000; Editoria 16.700; Artigos-comentário 26; Resenhas de Livros 24.700; Cartas 62.700; Comunicados de imprensa 18.500; Resumos não se aplica; Correções não se aplica; Notícias 211.000 entretanto verificou-se texto além de notícias, assim não se aplica; e, Addendum 6.470.
Biblioteca Digital de Teses e Dissertações	Total de Publicações 51.922 Dissertações 36.658; Teses 15.264; e, BechelorThesis 91.
Science.gov	Total de Coleções 666 Multimídias 30; Dados Científicos e Técnicos 5; e, Acesso Público 208.
World Wide Science	Total do Resultados 5733 dos principais resultados da 28063339 encontrado em todas as fontes. Artigos de Revistas, Relatórios Técnicos, Documentos de Conferências e Outras Informações Textuais 4.434; Multimídias 444; Dados Científicos e Técnicos 885; e, Acesso Público 493.

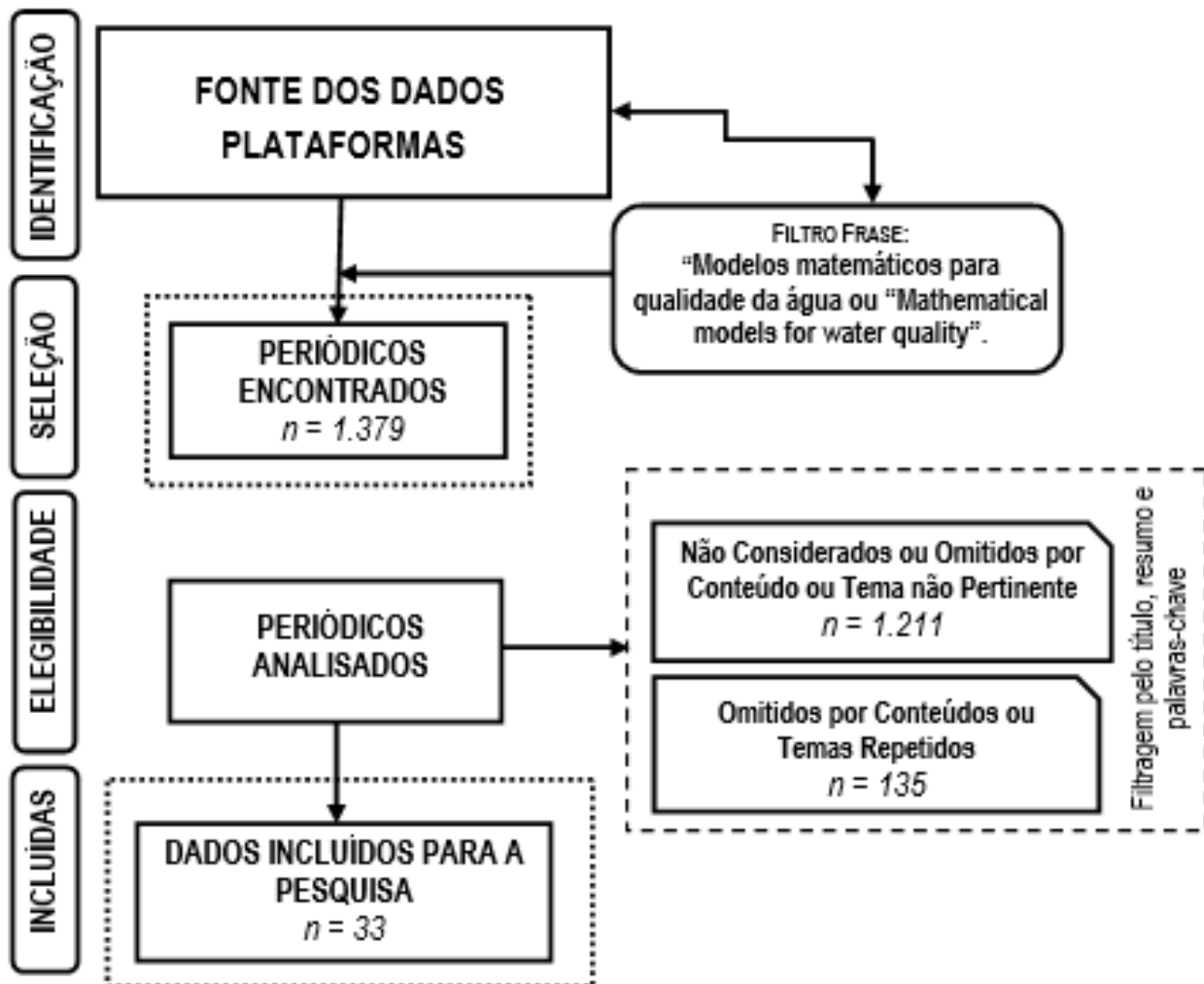
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A revisão sistemática embora tenha a fonte de dados de estudos secundários, elas têm nos seus estudos a fonte dados primários. Não se realizou recorte temporal, apenas recortes que se denominou filtro, que são buscas realizadas através de palavras ou frases para o refinamento. Foi a partir daí que se refinou as palavras para busca, seguindo a seguinte ordem: (1) “qualidade da água ou ”water quality”; (2) modelos matemáticos para qualidade da água em piscinas ou “mathematical model for water quality in swimming pools”; (3) modelos para qualidade da água em reservatórios ou “models for water quality in reservoirs”; e, (4) modelos matemáticos para qualidade da água ou “mathematical models for water quality”. É importante destacar que essas palavras deveriam estar no título, resumo ou nas palavras-chave.

Com a frase modelos matemáticos para qualidade da água foram encontrados diversos trabalhos, artigos, teses, documentos relatórios de agências reguladoras, trabalhos de conclusão de cursos, monografias, dissertações etc. Daí então, com esses dados, elegeu-se apenas os artigos e se fez uma classificação dos modelos matemáticos para a avaliação da qualidade da água, nos mais diversos tipos de reservatórios, em termos de dimensão, temporalidade, evolução e uma catalogação dos que aparecem com maior frequência na literatura e algumas de suas principais características. Como isso, foi retirada a plataforma BDTD.

Sendo que a foi pesquisa bibliográfica uma revisão sistemática da literatura e para elaboração usou-se as bases do que é preconizado pela recomendação do PRISMA - Principais Itens para Relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises (Moher et al., 2009), conforme o fluxograma na Figura 1 e visando a qualidade dos relatos foram escolhidos artigos como tipo de literatura.

Figura 1 – Fluxograma esquemático, segundo os critérios do PRISMA, da seleção de artigos elegíveis sobre modelos matemáticos para qualidade da água.



Fonte: Elaborado pelos autores. Dados da Pesquisa (2022).

Na Tabela 2, são apresentados os 33 artigos selecionados para este estudo, incluindo autor(es), ano de publicação, título do artigo e título do periódico.

Tabela 2 – Os artigos selecionados para análise dos modelos matemáticos para qualidade da água, de acordo com o(s) autor(es), ano, título do artigo e título do periódico.

Nº	AUTOR(ES)	ANO	TÍTULO DO ARTIGO	TÍTULO DO PERIÓDICO
1	Balcerzak W. & Zimoch I.	1997	Mathematical modelling of water quality variations	Ochrona Środowiska
2	Freitas, V. P. S. et al.	2002	Padrão físico-químico da água de abastecimento público da região de Campinas.	Revista Instituto Adolfo Lutz
3	Park, S. S. & Lee, Y. S.	2002	A water quality modeling study of the Nakdong River, Korea.	Ecological Modelling
4	Zimoch I, Klos M.	2003	Application of computer techniques to the estimation of surface water quality	Ochrona Środowiska.
5	Chau K. W.	2004	A three-dimensional eutrophication modeling in Tolo H harbour.	Applied Mathematical Modelling
6	Caruso B. S.	2004	Modeling metals transport and sediment/water interactions in a mining impacted mountain stream	Journal of the American Water Resources Association
7	Manache G. & Melching S. C.	2006	Sensitivity analysis of a water quality model using Latin hypercube sampling.	Journal of Water Resources Planning and Management,
8	Palmieri, V. & Carvalho, R. J.	2006	Qual2e model for the Corumbataí River	Ecological Modelling,
9	Bezerra, I. S. de O. & Mendonça, L. A. R. & Frischkorn, H.	2008	Autodepuração de cursos d'água: um programa de modelagem Streeter Phelps com calibração automática e correção de anaerobiose.	Revista Escola de Minas
10	Papanicolaou A.N. et al.	2008	Sediment transport modeling review - current and future developments	Journal of Hydraulic Engineering
11	Rabi, A. & Khader, Y. & Alkafajei, A. & Aqoulah, A. A.	2008	Sanitary conditions of public swimming pools in Amman, Jordan.	Journal Of Environmental Research and Public Health
12	Colvara, J. G. & Lima, A. S. & Silva, W. P.	2009	Avaliação da contaminação de água subterrânea em poços artesanais no sul do Rio Grande do Sul	Brazilian Journal of Food Technology.
13	Wagner I. et al. .	2009	Ecohydrological system solutions to enhance ecosystem services: the Pilica River Demonstration Project.	Ecohydrology & Hydrobiology
14	Lopes, F. W. & Magalhães Júnior, A. P.	2010	Avaliação da qualidade das águas para recreação de contato primário na Bacia do Alto Rio das Velhas, MG	HYGEIA-Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde
15	Lucas, A. A. T. et al.	2010	Calibração do modelo hidrodinâmico MIKE11 para a sub-bacia hidrográfica do rio Piauitinga, Sergipe, Brasil.	Revista Ambiente & Água
16	Martin, C. & Ayesa, E.	2010.	An Integrated Monte Carlo Methodology for the calibration of water quality models	Ecological Modelling
17	Díaz-Solano, B. H. et al.	2011	Calidad físico-química y microbiológica del agua en parques acuáticos	Hidrobiológica
18	Lehner, B. et al.	2011	High-resolution mapping of the world's reservoirs and dams for sustainable river-flow management	Frontiers in Ecology and the Environment
19	Dallolio, L. et al.	2012	Hygienic surveillance in swimming pools: Assessment of the water quality in Bologna facilities in the period	Microchemical Journal
20	Richter, B. D. et al.	2012	A presumptive standard for environmental flow protection	River Research and Applications
21	Ziemńska-Stolarska, A. & Skrzypski, J.	2012	Review of mathematical models of water quality	Ecological Chemistry and Engineering S,
22	Fleck, L. & Vares, M. H. F. & Eyng, E.	2013	Principais modelos matemáticos de qualidade da água e suas aplicações: uma revisão.	Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia,
23	Osei-Adjei, G. et al.	2014	Bacteriological quality assessment of swimming pools in the Osu-Labadi Area, Accra.	Journal of Natural Sciences Research,
24	Eze, V. C. & Onwuakor, C. E. & Ikwuegbu, A. L.	2015	Microbiological and Physicochemical Characteristics of Swimming Pool Water in Owerri, Imo State, Nigeria.	. Journal of Applied & Environmental Microbiology
25	Pesewu, G. A. et al.	2015	Bacteriological Assessment of water quality of public swimming pools in the Accra Metropolis, Ghana.	Current Research Journal of Biological Sciences
26	Fadaei, A.; Amiri, M (2015).	2015	Comparison of chemical, biological and physical quality assessment of indoor swimming pools in Shahrekord City, Iran in 2013.	Global Journal of Health Science
27	Poff, N. L. & Schmidt J. C.	2016	How dams can go with the flow: Small changes to water flow regimes from dams can help to restore river ecosystems	Science
28	Amala, S. E. & Aleru, C. P.	2016.	Amala, S. E. & Aleru, C. P. (2016). Bacteriological quality of swimming pools water in Port Harcourt metropolis	Natural Science
29	Dirtu, D. et al.	2016	Study of the quality indicators for the indoor swimming pool water samples in Romania	Revista de Chimie -Bucharest
30	Esinulo, A. C. & Ogbuagu, D. H.	2016	Quality Assessment of Selected Public Swimming Pools in Owerri Metropolis, Nigeria	International Journal of Innovative Environmental Studies Research
31	Al-Khafaji, M. S.	2019	Deterministic methodology for determining the optimal sampling frequency of water quality monitoring systems.	Hydrology
32	Ibanga, O. A. & Ohwo, S. E. & Omonigho, G. M.	2020	Application of water quality index in assessment of swimming pools water quality in hotels in emerging Africa littoral metropolis of Warri, Delta State, Nigeria	Geosport for Society
33	Moreira, M. C. C. & Aparecido, G. R. & Rocha Lima, A. B.	2020	Qualidade da água em piscinas coletivas nos municípios de Jundiá e Várzea Paulista, SP, Brasil.	Revista Interdisciplinar Encontro das Ciências

Fonte: Elaborado pelos autores. Dados da Pesquisa (2022).

Após as exclusões fez a categorização das publicações, levando em consideração o aporte utilizado, o método de pesquisa adotado e seus resultados para apresentar um perfil do alvo de estudo. Em seguida, fez-se uma discussão e análise apontando-se os aspectos convergentes e divergentes que caracterizam o objeto de estudo. Assim, para avaliar a qualidade da água nos diversos tipos de reservatórios existe uma variedade de modelos matemáticos. O modelo matemático ou a modelagem matemática a ser utilizada de maneira adequada depende da escolha apropriada da situação e da gestão do reservatório para a tomada de decisão correta (Oppa, 2007).

3. Resultados e Discussão

A modelagem matemática permite prever o comportamento de um determinado sistema, ou seja, do reservatório, sendo possível estimar sua evolução com o tempo. Como os sistemas são altamente dinâmicos, complexos e não lineares, é impossível prever sua evolução sem um modelo flexível capaz de se ajustar a complexidade própria de sistema ecológico. “O modelo matemático pioneiro de qualidade da água é o modelo de Streeter-Phelps, criado no ano de 1925, com o objetivo de estudar o comportamento do oxigênio dissolvido após um corpo receptor ser atingido por uma carga poluente” (Christiano, 2007; Zhang et al., 2007).

A partir da década de 1960, a disponibilidade de programas computacionais possibilitou um grande avanço no desenvolvimento da modelagem matemática. O primeiro modelo avançado envolvia expressões numéricas com estruturas analíticas, possibilitando análises com geometrias complexas, cinéticas e simulações com variações temporais. No ano de 1970, observou-se o nascimento de um movimento ecológico, com foco na disponibilidade limitada dos recursos naturais. Isso fez com que problemas como a eutrofização dos cursos hídricos passassem a ser considerados na modelagem matemática. A mais recente fase da modelagem matemática da qualidade da água de rios tem como foco o estudo dos impactos causados por substâncias tóxicas no meio aquático (Caruso, 2004; Christiano, 2007; Papanicolaou et al., 2008; Wagner et al., 2009; Zhang et al., 2007).

Os modelos matemáticos para avaliar a qualidade da água “começaram a ser desenvolvidos no início do século XX, devido à preocupação com a saúde pública e com questões relacionadas ao saneamento ambiental” (Fleck et al., 2013). As técnicas de modelagem matemática de qualidade da água vêm sendo aprimoradas desde a sua origem; com as diversas linhas de pesquisas estão relacionadas à área do meio ambiente, na maioria das vezes, já se entende que se requer uma abordagem multidisciplinar - o que não é uma tarefa simples.

É se pensando na abordagem multidisciplinar referida nos parágrafos anteriores, com a descrição dos fenômenos associados à formação de poluentes, sua distribuição e as mudanças que ocorrem no meio aquático, e os modelos para análise de perigos ou controle da qualidade da água em um determinado sistema que, o modelo matemático é sem dúvida uma ferramenta de suporte em monitoramento que pode atender demandas tais como previsão da qualidade das águas superficiais, bem como tomar decisões de planejamento.

Os reservatórios de água sejam eles naturais ou artificiais, são inúmeros; assim como inúmeras são as complexidades dos processos físicos, químicos e biológicos envolvidos, incluída a extensão em termos de escala espacial. São várias categorias de modelos matemáticos que podem ser considerados. Por isso, que neste artigo deu-se preferência aos modelos matemáticos que têm uma maior frequência de aparecimento na literatura. Dependendo da complexidade dos modelos matemáticos de simulação computacional da qualidade das águas superficiais, eles podem ser divididos em três grupos: Modelos unidimensionais (1D); Modelos bidimensionais (2D); e, Modelos tridimensionais (3D), cujas características principais estão descritas na Tabela 1.

A complexidade do modelo em termos de simular a qualidade da água pode ser dividida em três grupos. Por exemplo, se considerar que as mudanças significativas ocorrem nos parâmetros ao longo do perfil longitudinal do corpo da água tem-se 1D, ou uma dimensão. Se além do perfil longitudinal considerar a profundidade, tem-se o modelo 2D, ou duas dimensões (Al-

Khafaji, 2019). Quando se deseja fazer um exame da distribuição espacial da concentração dos parâmetros para serem simulados na qualidade da água deve ser utilizado o modelo 3D, ou três dimensões. No entanto, é preciso deixar claro que os modelos 3D, geralmente, se utilizam para simular mudanças na qualidade de água em lagos, represas e rios profundos; exigem uma grande quantidade de dados e vasta experiência analítica do cientista ou da equipe. Os modelos 3D não são muito usados devido à altíssima complexidade da análise (Ziemińska-Stolarska & Skrzypski, 2012). Na Tabela 3, apresenta-se uma síntese dos modelos matemáticos em relação à sua complexidade para avaliação da qualidade da água.

Tabela 3 – Modelos Matemáticos em termos da dimensionalidade para avaliação da qualidade da água com suas características e parâmetros comuns: vantagens e desvantagens.

MODELOS	CARACTERÍSTICAS E PARÂMETROS COMUNS
Unidimensionais (1D)	Mais simples e comumente usados. Não descrevem as complexas reações químicas, físicas e biológicas em reservatórios de água que são um fator essencial na regulação das mudanças dos parâmetros para a qualidade da água. Uma vantagem desses programas é que eles podem ser aplicados rapidamente a qualquer reservatório de água sem prévia calibração e com pequeno banco de dados disponível de medições. Os modelos 1D de fluxo de entrada-saída são baseados na medição da concentração de cargas de parâmetros de água fluindo para dentro e para fora. Com base nisso, as mudanças nas concentrações de todos os parâmetros são calculadas. Não são projetados para calcular a variação de concentração no momento, então não se pode obter informações sobre os parâmetros específicos de qualidade da água horários, diários e mensais.
Bidimensionais (2D)	Pressupõem que ocorrem mudanças significativas na qualidade da água não apenas ao longo, mas também no perfil longitudinal do curso de água e, portanto, é necessário analisar a qualidade da água em várias profundidades. São usados com mais frequência no caso de reservatórios como lagos, ou rios profundos. Exigem dados e mais experiência analítica do usuário do que os modelos 1D. Precisam de calibração cuidadosa e são sensíveis às mudanças de muitos parâmetros de qualidade da água. O resultado final desses programas é uma previsão dos parâmetros de qualidade da água perto de medições de concentrações reais. Avaliação de parâmetros individuais pode ser executado para determinados intervalos de tempo, ou seja, hora, dia, semana, mês e ano.
Tridimensionais (3D)	Simulam a distribuição espacial de concentrações de parâmetros da qualidade de água. São raramente usados devido à alta complexidade dos problemas analisados. Modelos 3D são usados para simular mudanças na qualidade da água nas baías, lagos, represas e rios profundos; exigem grandes quantidades de dados e ampla experiência analítica do usuário.

Fonte: Elaborado pelos autores. Dados da Pesquisa (2022).

Os modelos matemáticos para avaliação da qualidade da água podem ser classificados em termos de sua temporalidade, ou seja, se todas as informações forem levantadas o processo de cálculo ocorre também em função do tempo. Existem quatro tipos: os (1) Operacionais, os (2) Táticos, os (3) Estratégicos e os (4) Direcionais (Tabela 4). Os modelos operacionais estão normalmente relacionados à previsão de curto prazo e usados para tempo real, controle de reservatórios de água ou vazão para manter os parâmetros estabelecidos. Esses modelos requerem a entrada automática de dados atuais.

No modelo matemático operacional tem-se que as rotinas são executadas a curto prazo; e, são de onde saem as rotinas traçadas para que o nível tático e estratégico seja atingido. O período é de 3 a 6 meses. Já os modelos táticos sempre estão associados ao uso da tomada de decisão do modelo operacional, em que as relações do tipo "entrada-saída" dos parâmetros do sistema são vitais. O horizonte de tempo deste tipo de análise cobre um período de alguns dias, semanas ou mesmo uma estação no caso de controle de qualidade da água em um rio. Em termos de ferramentas usadas no modelo tático, tem-se a análise de um estado estacionário e os instrumentos quantitativos e ambientais usados com mais frequência; o período é de 1 a 3 anos.

Tabela 4 – Modelos Matemáticos em termos da temporalidade para avaliação da qualidade da água com sua temporalidade e características.

MODELOS	TEMPORALIDADE	CARACTERÍSTICA
OPERACIONAIS	O horizonte normalmente está relacionado à previsão de curto prazo	Seu uso se dá em tempo real para o controle ou vazão dos reservatórios de água com intuito de manter os parâmetros estabelecidos. Precisa de dados de entrada de forma automática.
TÁTICOS	O horizonte de tempo deste tipo de análise cobre um período de alguns dias, semanas ou mesmo uma estação no caso de controle de qualidade da água em um rio.	Uso de tomada de decisão nas ações em que as relações do tipo "entrada-saída" dos parâmetros são vitais para o sistema. Para isso as técnicas usadas frequentemente são: análise de estado estacionário e os instrumentos ambientais quantitativos.
ESTRATÉGICOS	O horizonte de tempo é mais longo, se pode analisar, prever ou planejar o estado do ambiente como uma projeção do estado atual, levando em consideração todas as tendências relevantes.	Baseia-se numa análise dos resultados de simulação em computador de vários cenários e inspeção da sua eficiência.
DIRECIONAIS	Referem-se a previsões de longo prazo relacionadas a mudanças estruturais Sua duração se dá durante a evolução do sistema.	Testes da possibilidade de desenvolvimento sustentável e a evolução de todo o sistema.

Fonte: Elaborado pelos autores. Dados da Pesquisa (2022).

Os modelos estratégicos, com relação aos modelos matemáticos operacionais e táticos, referem-se a um horizonte de tempo mais longo; pois se pode analisar, prever ou planejar o estado do ambiente como uma projeção do estado atual, levando em consideração todas as tendências relevantes. É baseado em uma análise de resultados de simulação em computador de vários cenários e da sua eficiência. Deve-se pensar que é no modelo matemático estratégico que é a região em que tudo começa. Pois é nele que se pode simular os fatores ambientais em que se definiu a missão e seus grandes objetivos; sendo dependente de como se dá uma visão ampla sem ações minuciosas com relação à qualidade da água - período 5 a 10 anos

E os modelos direcionais se referem a previsões de longo prazo relacionadas a mudanças estruturais, testa-se a possibilidade de desenvolvimento sustentável e a evolução de todo o sistema. Para se ter uma melhor noção do modelo matemático direcional, deve-se pensar assim: enquanto o modelo matemático do planejamento estratégico é onde há uma organização, o tático tem um envolvimento mais limitado, às vezes precisa apenas de um processo de rotina. Nele pode-se criar as condições para que as metas sejam estabelecidas. É uma decisão na rotina mais específica. E aí o modelo direcional não menos importante; mas é devido a ele que se tomam as decisões para as ações de longo prazo, ou seja, se pode mudar o direcionamento parcial ou total do estratégico. Como o ato de planejar deve ser revisado e atualizado continuamente, assim o modelo matemático direcional deve fazer o mesmo para que as informações sejam mais reais e sirvam como fontes de dados para tomadas de decisão. Trata-se de modelo matemático essencial para que não haja grandes variações entre o que foi planejado e o que está sendo executado. Por isso, sua temporalidade se dá na evolução da organização/conjunto - desde o sistema, objeto de estudo, elementos organizados intelectualmente, organização de instituições etc. cuja meta, por exemplo, é avaliar a qualidade da água de um rio e seus afluentes.

O modelo matemático que deve ser escolhido para modelar o reservatório de água deve ser uma ferramenta que possa retratar da forma mais precisa possível as mudanças desse reservatório aquático. Devem simular o comportamento, considerando o máximo de variáveis possível. E para um reservatório de água os parâmetros incluem temperatura da água, força e direção do vento, a concentração de oxigênio dissolvido, salinidade da água, a quantidade de compostos biogênicos e outros parâmetros dependendo da complexidade (Schaefer & Bielak, 2009).

Em 1925, nos Estados Unidos da América, foi proposto o primeiro modelo de qualidade de água de superfície por Streeter e Phelps. Trata-se de um modelo unidimensional, com equações simples e baseado no equilíbrio do oxigênio. Esse modelo com intuito de localização ou em outras palavras, analisar o comportamento do oxigênio dissolvido depois um corpo receptor ser

atingido por uma carga poluente (Bezerra et al., 2008; Fleck et al., 2013).

Embora, quase 100 anos depois pode-se dizer que abordagem básica para modelagem matemática das águas superficiais não mudou muito. Pois, desde a construção de inúmeros modelos matemáticos, todos têm seus fundamentos nas leis das ciências naturais, que envolvem princípios básicos de conservação, são eles: massa, momento e energia. Atualmente existem inúmeros modelos para qualidade das águas superficiais, modelos derivados de módulos básicos públicos ou comerciais, modelos adaptados ao reservatório de água (Chapra, 1997). Na Tabela 5 apresenta-se uma síntese da evolução dos modelos matemáticos para qualidade da água.

Tabela 5 - Evolução dos modelos matemáticos da avaliação da qualidade da água.

MODELOS	DÉCADAS
Streeter e Phelps	1920 (Ano preciso: 1925)
Empíricos de Nutrientes	1940
Para Rios	1950
Desenvolvimento de ampla classe de modelagem	1960
Desenvolvimento de modelos complexos para rios com foco na eutrofização	1970
Modelagem com conhecimentos específicos de ecossistemas	1980
Modelagem com nova ferramentas matemáticas	1980
Modelagem com aplicações usando estratégias numéricas	2000
Redes Neurais Artificiais (RNA)– É uma forma de computação não algorítmica caracterizada por sistemas que em algum nível, lembra uma estrutura do cérebro humano. São capazes de atuar como poderosos mapeadores de funções multivariáveis; com alta capacidade de auto-organização e de processamento temporal.	2020 (Anos finais de 2020)

Fonte: Adaptado de Fleck et al. (2013)

Quando se faz uma pesquisa rápida em qualquer plataforma acadêmica no mundo, os Estados Unidos da América lideram o rank das pesquisas relacionadas a modelagem de águas superficiais. Tudo isso em prol do uso de uma água de qualidade; e como consequência dessa liderança tem a rede de monitoramento de água superficiais mais desenvolvida do mundo. Na Tabela 3 se tem uma síntese da evolução dos modelos matemáticos utilizados para avaliação da qualidade da água. Também deve-se enfatizar as conquistas significativas realizadas pela União Europeia. No entanto, pode se perguntar por que os Estados Unidos da América lideram esse rank. Uma análise mais profunda se dá pelo acesso gratuito de vários modelos matemáticos, linguagem de programação aberta para todos que desejam fazer uso no mundo e ainda vários exemplos de aplicações práticas dos modelos (Fleck et al., 2013).

A maioria dos modelos matemáticos descritos neste artigo tem sua origem nos Estados Unidos da América. Mas, nem por isso, deixou-se de mencionar alguns de outros países como a Dinamarca, França e Brasil. A seguir apresentam-se os modelos matemáticos para avaliação da qualidade da água, considerando as águas superficiais que mais aparecem na literatura (Bezerra et al., 2008; Chau, 2004; Fleck et al., 2013; Júnior, 2010; Lucas et al., 2014; Ziemińska-Stolarska & Skrzypski, 2012); são eles em ordem alfabética: AQUATOX; CE-QUAL-ICM; CE-QUAL-RIV1 1D; CE-QUAL-W2 2D; COASTOX; DELFT 3D; DYRESM 1D; ECOM; FLESCOT; HSPF; MIKE 11; MIKE-3; MINLAKE 1D; PC-QUASAR; QUALE-2E; QUAL-UFGM; SIMCAT; SisBAHIA; TELEMAT; e, WASP. Sendo que MINLAKE 1D, MIKE-3 e MIKE 11 Têm sua origem na Dinamarca.

O TELEMAT é originário da França e Dinamarca; e, o SIMCAT é da Inglaterra. No Brasil têm-se: o SisBAHIA que é um sistema profissional de modelos computacionais registrado em nome do COPPE/UFRJ - Instituto Aberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), e, o QUAL-UFGM desenvolvido pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) a partir do Qual2k.

O principal pressuposto na definição do modelo é a divisão do ambiente modelado em segmentos do sistema de coordenadas espaciais, representando sua configuração física. Tal divisão depende da finalidade da simulação. Por exemplo, se o caso é a previsão geral do processo de eutrofização de lagos, a divisão deve levar em consideração às características do meio aquático que podem ser distinguidas com base em variáveis, e mudanças na intensidade dos processos que afetam a qualidade da água, bem como sua variabilidade no tempo. O ambiente pode, também, ser dividido verticalmente e transversalmente. As concentrações de componentes do ambiente – as variáveis consideradas, são calculadas para todos os segmentos, enquanto a taxa de transporte dos componentes do ambiente é calculada para o limite da superfície, entre segmentos adjacentes. A estratificação térmica é a base para diferenciar a qualidade da água em diferentes partes do lago ao mesmo tempo, e diferentes direções das mudanças na qualidade da água nessas partes no tempo. O modelo apresentado de eutrofização de lagos leva em consideração os seguintes processos: o ciclo de transformação de compostos de fósforo e nitrogênio, a interação dos segmentos, entre outros.

É necessário determinar o nível trófico e impacto da bacia de drenagem nos lagos e sua vulnerabilidade à degradação natural, definindo assim a extensão das atividades na área de drenagem (especialmente se for suscetível à liberação de carga), a proteção de reservatórios individuais e as formas de sua reabilitação. Enfim, a proteção da qualidade da água em reservatórios de barragens, particularmente para fins de abastecimento de água pode ser implementada de maneiras diferentes. A base para a seleção de um método matemático deve ter uma análise detalhada, cuidadosa e multifacetada de condições específicas. Entre outras, o tempo de retenção de água no reservatório desempenha um papel importante. O uso correto econômico da área onde está localizada a bacia de captação de água é essencial. Entre muitas possibilidades de proteção e melhoria da qualidade da água nos reservatórios, a redução das cargas de nutrientes na entrada do reservatório ainda ocupa o primeiro lugar. É pré-requisito para obter bons resultados para colapsos térmicos da estratificação e aeração direta do reservatório. Não existe um procedimento de modelagem matemática universal é geralmente aplicável diretamente para análise da qualidade dos recursos hídricos; mas, existem muitas condições que podem ajudar a formular um procedimento para o modelo de teste. A primeira etapa no procedimento de modelar é definir o objetivo e escopo da modelagem matemática da qualidade da água do corpo receptor. O procedimento deve começar com um conceito geral, que se apresenta como o corpo receptor - e, portanto, o sistema físico, é representado por um espaço tridimensional.

O modelo de teste do ambiente envolve tanto a definição de suas fronteiras, ou seja, separar seus arredores, descrição das relações existentes e caracterização do impacto do meio ambiente fora das fronteiras do sistema escolhido (Fleck et al., 2013) A definição da área de modelagem deve incluir os termos de tempo e espaço, bem como a seleção e caracterização dos processos que ocorrem no sistema. Uma abordagem geral está intimamente ligada à divisão do corpo receptor em segmentos e camadas e construção ou seleção do próprio modelo. A prévia avaliação do modelo selecionado pode ser feita usando análise de sensibilidade que é importantíssimo nesta fase.

A calibração do modelo matemático tem o objetivo de estabelecer se os resultados dos cálculos obtidos são consistentes com os resultados das medições de campo. A calibração geralmente é feita por aproximações sucessivas para diferentes conjuntos de parâmetros. Isto é executado em um ou mais conjuntos de dados para entradas e saídas. Os parâmetros dos modelos e o próprio modelo em si são ajustados ou modificados para obter resultados mais próximos com relação à qualidade da água observada. Deve-se ter em mente que a calibração do modelo poderá estar sobrecarregada com erros devido às incertezas e erros no mapeamento espacial e na distribuição temporal dos parâmetros na área a ser testada, bem como à imprecisão das condições de limite. A sensibilidade do modelo é analisada para determinar o impacto desses erros na solução, usando métodos especiais e algoritmos.

Modelos baseados nos melhores resultados teóricos disponíveis devem ser usados para descrever os processos, por exemplo, usando a descrição completa dos fenômenos espaciais tridimensionais presentes. A descrição adotada deve ser totalmente documentada - premissas básicas, equações e parâmetros devem ser revisados e o código computacional deve ser

testado como um todo, e sempre no nível dos módulos. Tendo em vista, que se tem uma equipe multidisciplinar o modelo deverá ser testado inúmeras vezes pelos criadores, por outros das equipes e usuários independentes. Para se ter um bom modelo matemático de qualidade da água deve-se ter os parâmetros de entrada confiáveis. O tempo e a discretização espacial devem estar consistentes com a escolha dos fenômenos físicos-químicos-biológicos simulados. Considerando que o código computacional está numericamente correto, todos os processos iterativos devem estar consistentes para fornecerem uma precisão adequada das soluções.

Todos os processos iterativos devem ser consistentes, fornecendo precisão adequada das soluções e seus resultados devem estar dentro da precisão assumida, ou seja, não devem depender da duração do tempo por exemplo e das etapas de discretização. Enfim, o modelo matemático deve ser verificado, sempre que possível, em relação aos dados reais. O modelo de qualidade da água de superfície pode ter aplicações práticas e, uma vez calibrado - e depois verificado - torna-se uma ferramenta analítica poderosa que permite uma ampla gama de engenharia e proteção ambiental de determinado curso de água.

Um modelo matemático computacional de qualidade da água superficial fornece uma base científica para a manutenção do corpo aquático, bem como no decorrer do tempo, dependendo da mudança da ação humana sobre analisar e entender essas mudanças ocorridas. Desempenha um papel importante na gestão dos recursos hídricos, pois facilita a tomada de decisão e a comunicação entre os gestores ambientais e a sociedade. Além disso, é importante ressaltar que grande dificuldade da análise da qualidade da água através de modelos matemáticos está centrada na necessidade de um elevado número parâmetros e como consequência um elevado número de dados de entrada. Além disso, têm um custo na obtenção desses parâmetros.

A modelagem matemática apresenta várias vantagens em relação aos métodos empíricos de determinação da qualidade da água, especialmente pela capacidade de fazer previsões para cenários diversificados, em um intervalo de tempo bastante curto e com custos reduzidos. Assim, pode-se dizer que a principal vantagem da modelagem matemática, em relação às demais metodologias de análise da qualidade da água, consiste na possibilidade de simular cenários futuros, de modo a evitar problemas com o lançamento de cargas poluentes. Dessa forma, a modelagem matemática torna-se uma importante ferramenta de apoio aos gestores públicos no processo de gerenciamento dos recursos hídricos, ou dos reservatórios hídricos, possibilitando atender aos objetivos propostos.

Para que o modelo matemático de qualidade da água se aplique bem a todos os cursos hídricos, tem-se que a escolha deva considerar os parâmetros de entrada e variável resposta de interesse, com enfoque na robustez dos resultados simulados e, principalmente, a redução dos custos envolvidos com o processo de modelagem. A sua verificação visa aumentar sua credibilidade, realizando cálculos para uma série de conjuntos de valores de parâmetros para determinar um conjunto “ideal” que caracterizará o objeto modelado. Para isso é preciso uma gama independente de entradas de dados e saídas que podem ser usadas para testar o modelo calibrado (Missaghi et al., 2014). Os dados usados para a verificação devem ser independentes dos dados usados para calibrar os modelos. O modelo é dito verificado se consegue, para um conjunto de resultados que não sejam os dados de calibração, representar aqueles observados em campo. Considerando a natureza multidisciplinar e a complexidade dos modelos matemáticos de computador, deve-se atentar na criação, calibração e verificação, para que se possa esperar uma utilidade prática.

Como dito anteriormente a água vem sendo alvo de calorosas discussões, decorrentes do aumento populacional e das atividades humanas que envolvem sua demanda. Nos modelos matemáticos apresentados se aplicam à qualidade da água para uso doméstico, industrial e agricultura. Sendo o que aparece com maior frequência é o de uso doméstico. E a qualidade da água para recreação refere-se às piscinas olímpicas, piscinas coletivas municipais, piscinas de instituições públicas, piscinas para recreação de um determinado clube/estabelecimento ou hotéis (Amala & Aleru, 2016; Carvalho et al., 2019; Díaz-Solano et al., 2011; Dirtu et al., 2022; Enze et al., 2015; Esinulo & Ogbuagu, 2016; Fadaei & Amiri, 2015; Ibanga & Mamuro, 2020; Lopes & Magalhães, 2010; Moreira et al., 2020; Osei-Adjei et al., 2014; Pesewu et al., 2015; Rabi et al., 2008).

Apenas um dos trabalhos analisados se referia a um modelo matemático; no entanto, um modelo matemático analítico. No entanto, o trabalho foi uma tese de mestrado de Poulsen (2012) que estabeleceu um modelo para desinfecção das piscinas, levando em consideração o acúmulo dos subprodutos nestes reservatórios de água. O modelo foi usado para simular a qualidade da água na piscina em alguns locais na Dinamarca. Para isso, foi usado um modelo matemático analítico no qual o alvo foi o cloro adicionado para o tratamento da água. Para esse modelo foram considerados os fluxos de água e de poluição introduzidos por banhistas adicionados ao sistema (a piscina) e fluxo de matéria removida do sistema. A matéria que é removida é aquela formada pela reação química com água no interior da piscina.

Concorda-se com Foster e Hirata (1993) há mais de três décadas que as principais ameaças para contaminação dos mananciais superficiais e subterrâneos, ainda continuam sendo as mesmas; e com uma diferença gritante que é a amplificação. As principais ameaças segundo eles eram e ainda são: (a) o desenvolvimento industrial; (b) o crescimento demográfico; (c) a modernização da agricultura; e, (d) a expansão urbana. A água destinada ao ser humano deve estar de acordo com os padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde, Portaria nº 888/2021, as quais está exposta. Entretanto, a água necessita, na maioria das vezes, de um tratamento para se tornar potável. Nos dias atuais, o abastecimento de água tanto em termos de quantidade como em qualidade constitui numa imensa preocupação para a humanidade, especialmente, pela escassez vivida em diversas regiões do planeta deste recurso e por sua deterioração nos mananciais. Por isso a garantia da qualidade da água, em especial de abastecimento público, “tem despertado o interesse dos mais diversos setores, motivando-os a elaborarem modelos de uso e gestão capazes de compatibilizar as demandas crescentes com a relativa escassez do produto na qualidade desejada” (Freitas et al., 2002).

Os modelos empíricos geralmente são obtidos a partir de simples correlações matemáticas dos dados experimentais e, para alguns pesquisadores, não têm significado físico; já os fenomenológicos consideram as etapas elementares de transferência de massa, por exemplo. Mesmo assim, os empíricos são importantes, pois as correlações podem dar indícios de fenômenos importantes no reservatório de água. Quando se refere à modelagem para inferência de parâmetros de qualidade de água pode-se recorrer a modelos fenomenológicos e modelos empíricos sendo estes últimos mais utilizados devido à complexidade e limitações dos primeiros, os quais requerem a especificação de um grande número de parâmetros em função também das diferentes condições de um reservatório, por exemplo.

O interesse na análise, inferência e a previsão dos parâmetros da qualidade da água por modelos empíricos tem aumentado substancialmente nos últimos anos, devido à crescente disponibilidade de métodos estatísticos e de sistemas inteligentes para modelagem. A modelagem através de sistemas inteligentes para ambientes aquáticos vem sendo utilizada; pois se trata de sistemas com alta complexidade, tornando a modelagem fenomenológica difícil, sendo os modelos empíricos, como já colocado anteriormente, importantes e uma alternativa bastante interessante em relação aos modelos fenomenológicos. No estudo da qualidade da água, os modelos têm uma divisão mais geral. Os modelos são divididos em (1) modelos físicos que, às vezes, são denominados de laboratórios e (2) modelos matemáticos que incluem os modelos analíticos, baseados em exatas soluções das equações matemáticas que envolvem os processos físicos e (3) os numéricos que são baseados em soluções aproximadas. Vários autores consideram apenas duas divisões os modelos físicos -laboratórios; e, os matemáticos -com os processos físicos e as soluções aproximadas baseadas nos métodos numéricos (Holnicki-Szulc & Marzec, 2000).

Para o monitoramento dos reservatórios de água, estes requerem uma quantidade expressiva de parâmetros para planejar, construir e operar, com implicações nos custos de abastecimento de água a longo prazo e acessibilidade (Wiberg & Strzepek, 2005). É crucial quantificar a capacidade de reservatórios exploráveis para o planejamento estratégico do abastecimento de água – que é fundamental para o ser humano, além dos alimentos e energia nas próximas décadas. Além disso, é preciso considerar variáveis relevantes como crescimento populacional, exploração exacerbada dos recursos naturais exacerbadas que implica na variação hidrológica e as próprias mudanças climáticas.

É a Norma Brasileira NBR 12217/1994 que estabelece os critérios de projeto de reservatório de distribuição de água para o abastecimento público, definido como sendo o elemento do sistema de abastecimento de água destinado a regularizar as variações entre as vazões de adução e distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição. Os principais critérios de classificação dos reservatórios são a localização no sistema; a localização no terreno; a forma; e aos materiais utilizados para sua construção (Tsutiya, 2006).

A partir dessa análise, é defendida a tese, segundo a qual, para que se possa gerar subsídios para uma prática de monitoramento da água nas instalações de piscinas prediais, deve ser desenvolvido um método com análises químicas e físicas da água, mas de processos que possam ser articulados para geração de um banco de dados para o desenvolvimento de um aplicativo simples para dispositivos móveis da produção e dos processos comunicacionais. Assim, apoia-se a tese na articulação de conceitos particulares obtidos na discussão e análises de periódicos, incluindo sua interface com a degradação da água. Por isso buscou-se, por meio desta análise que compõe esta revisão, responder às seguintes questões norteadoras: (1) O que a literatura chama de problemas abertos que discutem a qualidade da água em reservatórios prediais, como as piscinas? (2) Quais as metodologias (materiais e métodos) de pesquisa que deveram ser utilizadas na resolução da problemática?

De fato, o tema “Tratamento de Água em Reservatórios Prediais”, ou seja, piscinas, tem sua originalidade, pois tem aspecto pouco discutido nas pesquisas associadas à qualidade da água reservada. Na literatura há apenas discussões sobre a degradação da qualidade da água de piscinas; mas como reservatórios específicos de hotéis, municipais ou olímpicos. Como justificativa para a temática deste trabalho tem-se o padrão de potabilidade definido na Portaria Nº 888/2021 do Ministério da Saúde que determina parâmetros para a qualidade da água fornecida pela estação de tratamento de água e distribuída até as ligações prediais. Contudo, por exemplo, não há normatização que legisle, após a ligação predial, onde há o efetivo uso da água para consumo humano, incluindo a recreação.

Associado a isso, o atual nível de urbanização forçou a aglomeração das habitações em condomínios verticais e aumentou a insegurança hídrica. Diante disso, as moradias necessitaram criar mecanismos para assegurar água aos seus habitantes, através do uso de reservatórios prediais. Alguns estudos evidenciam que após a reservação predial a qualidade da água diminui consideravelmente, principalmente pela degradação do agente desinfetante, deixando a água desprotegida e aumentando o risco à saúde dos usuários (Dallolio et al., 2013; Gomes, 2014; Santos et al., 2007). Consequentemente, o tratamento in loco da água de reservatórios prediais é necessário. Todavia, não existem parâmetros operacionais que determinem a melhor maneira de realizar esse tratamento. É por isso que é necessário preencher essa lacuna do conhecimento, indicando as condições ótimas de tratamento de água em reservatórios prediais, além de apresentar solução prática para um problema cotidiano que pode melhorar a condição de saúde da população.

Espera-se relacionar a qualidade da água – representada por indicadores como: pH, Cloro Residual Livre, Turbidez, Cor, Temperatura, Bactérias Heterotróficas, Coliformes totais, E. Coli e Staphylococcus aureus – com parâmetros operacionais – representados por aspectos como dosagem de produtos químicos, tempo de contato, posicionamento da aplicação dos produtos, forma de mistura e design e material do reservatório. E a partir daí, definir uma associação ótima destes parâmetros operacionais que indique a melhor qualidade da água e manutenção das ligações prediais. Não podendo esquecer que otimizar o tratamento in loco de água de reservatórios prediais, utilizando métodos empíricos para determinar parâmetros que assegurem baixo risco à saúde humana e à infraestrutura das instalações prediais. E, com isso tem-se: (1) Determinar indicadores operacionais do tratamento de água em reservatórios prediais que possam influenciar na qualidade da água fornecida e na infraestrutura das instalações prediais; (2) Analisar a qualidade da água resultante do tratamento in loco em reservatórios prediais, variando os parâmetros operacionais definidos; (3) Verificar e predizer qual modelo analítico/estatístico é capaz de relacionar os parâmetros operacionais definidos e a qualidade da água fornecida, estabelecendo condições ótimas para o tratamento in loco de reservatórios prediais; e (4) Através da escolha dos resultados se possa deixar, um referencial para trabalhos futuros, com um simples modelo

para dispositivos móveis que possam orientar os operadores de condomínios quanto à melhor maneira de realizar o tratamento de água nos reservatórios prediais, as piscinas.

Deve-se ressaltar que não se escolheu um modelo matemático, pois existe todo um procedimento para sua utilização. Algumas pesquisas comprovaram estatisticamente a relação da degradação da qualidade físico-química e microbiológica da água, com aspectos como design, material, operação, estagnação da água, temperatura ambiente, sazonalidade e qualidade da água que chega aos reservatórios e instalações prediais. Contudo, há ausências de trabalhos para uma definição de parâmetros ótimos para o tratamento in loco da água em reservatórios prediais, a fim de garantir a qualidade da água fornecida.

4. Considerações Finais

A água, de uma forma geral, estará cada vez mais escassa e com tendência a piorar à medida que as mudanças climáticas resultarem no agravamento das condições de seca e escassez de água. Não se pode extrair água, simplesmente, por extrair e por que a demanda pede: os rios precisam ser perseverados para que não se desvie o ciclo da água, fazer reservas de água é importantíssimo onde as mudanças de padrões climáticos ameacem a sua coleta e onde a maior parte dela está disponível, o recurso água além de gestão tem que passar por preservação.

A metodologia utilizada foi de caráter exploratória e bibliográfica, então a realização da análise permitiu uma proximidade com o objeto de estudo e ofereceu informações e orientações para a formulação das hipóteses da pesquisa.

Os Estados Unidos da América são o primeiro país em número de piscinas no mundo e o Brasil é o segundo. Estima-se que o ritmo de crescimento no Brasil é grande, podendo aumentar. O crescimento do número de reservatórios para recreação é grande nas cidades de grande e médio portes; e, também nas cidades de pequeno porte. Para se ter uma ideia o Brasil possui o segundo maior mercado de piscinas no mundo e com uma taxa crescente, aproximadamente, de 5% ao ano. Associado à escassez de água tem-se que as atividades essenciais como o abastecimento de água para consumo humano e recreação podem ser fontes de perigos e, para minimizar os riscos associados a esses perigos, não basta apenas instalar, operar e manter os sistemas de abastecimento de água, é necessário também monitorá-los, no sentido de fiscalizar, inspecionar e vistoriar.

Neste sentido, não há nenhuma prática de monitoramento da água nas instalações prediais – onde efetivamente também ocorre os riscos associados ao abastecimento. Dessa forma, é preciso evitar a degradação da qualidade da água nos sistemas prediais, principalmente quando associada à reservação, seja em reservatórios de acumulação, de pressão ou piscinas. Piscinas não podem ser rotuladas de lugares de irritação ou zonas de perigos, tornando um problema de saúde pública, em virtude da mocidade da água utilizada e não devidamente tratada. Como o Brasil, se tem ganhado destaque mundial no uso de piscinas como forma de verticalização das cidades em todos os estados da federação, a poluição em piscinas não é incomum e, pode se tornar um problema sério de saúde pública nos níveis nacional, estaduais e municipais.

Diante do exposto sugere-se que as pesquisas futuras relacionem os modelos matemáticos para avaliar a qualidade da água em reservatórios que possam explorar outros aspectos e concepções de forma mais crítica e reflexiva. Pois, a seleção de um modelo de avaliação para qualidade da água desempenha um papel importante nos reservatórios e, conseqüentemente, influenciam diretamente no cotidiano e proteção das pessoas. Dos diversos tipos de reservatórios de água, recomenda-se estudos de modelos matemáticos para o monitoramento em instalações prediais.

Referências

- Al-Khafaji, M. S. (2019). Deterministic methodology for determining the optimal sampling frequency of water quality monitoring systems. *Hydrology*, 6(4), 1–20. <https://doi.org/10.3390/HYDROLOGY6040094>
- Amala, S. E., & Aleru, C. P. (2016). Bacteriological Quality of Swimming Pools Water in Port Harcourt Metropolis. *Natural Science*, 08(03), 79–84. <https://doi.org/10.4236/ns.2016.83010>

- Bezerra, I. S. de O., Mendonça, L. A. R., & Frischkorn, H. (2008). Autodepuração de cursos d'água: um programa de modelagem Streeter Phelps com calibração automática e correção de anaerobiose. *R. Esc. Minas*, 61(2), 249–255.
- Braga, D., Hespagnol, I., Conejo, J. G. L., Mierzwa, J. C., Barros, M. T. L. de, Spencer, M., Porto, M., Nucci, N., Juliano, N., & Eiger, S. (2005). *Introdução à Engenharia Ambiental: Desafio do desenvolvimento sustentável* (Pearson Pr).
- Caruso, B. S. (2004). Modeling metals transport and sediment/Water interactions in a mining impacted mountain stream. *Journal of the American Water Resources Association*.
- Carvalho, M. C. de S., Carvalho, F. do S. de S., & Neto, O. de M. M. (2019). Reúso Adequado das águas drenadas das piscinas: Um compromisso que os engenheiros sanitaristas devem balancear com o tratamento de água. *I Congresso Internacional Da Diversidade Do Semiárido*.
- Chapra, S. (1997). *Surface Water-Quality Modeling* (McGraw-Hil, Issue May).
- Chau, K. W. (2004). A three-dimensional eutrophication modeling in Tolo Harbour. *Applied Mathematical Modelling*, 28(9), 849–861. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2004.04.002>
- Christiano, D. (2007). *Uso de Redes Neurais Artificiais, aplicadas no Rio Jaguaribe, João Pessoa, PB, como ferramenta de previsão para o gerenciamento ambiental*. Universidade Federal da Paraíba.
- Dallolio, L., Belletti, M., Agostini, A., Teggi, M., Bertelli, M., Bergamini, C., Chetti, L., & Leoni, E. (2013). Hygienic surveillance in swimming pools: Assessment of the water quality in Bologna facilities in the period 2010-2012. *Microchemical Journal*, 110, 624–628. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2013.07.013>
- Díaz-Solano, B. H., Esteller, M. V., & Hoyos, S. E. G. (2011). Physicist-chemistry and microbiological water quality in aquatic parks | Calidad físico-química y microbiológica del agua en parques acuáticos. *Hidrobiologica*, 21(1), 49–62.
- Dirtu, D., Pancu, M., Minea, M. L., Chirazi, Ma., Sandu, I., & Dirtu, A. C. (2022). Study of the quality indicators for the indoor swimming pool water samples in Romania. *Rev Chim - Bucharest.*, 67(6), 1167–1171.
- Enze, V. ., Onwuakor, C. ., & Ikwuegbu, A. L. (2015). Microbiological and Physicochemical Characteristics of Swimming Pool Water in Owerri, Imo State, Nigeria. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, 3(1), 6–10. <https://doi.org/10.12691/jaem-3-1-2>
- Esinulo, A. C., & Ogbuagu, D. H. (2016). Quality Assessment of Selected Public Swimming Pools in Owerri Metropolis , Nigeria. *International Journal of Innovative Environmental Studies Research*, 4(1), 28–34.
- Fadaei, A., & Amiri, M. (2015). Comparison of chemical, biological and physical quality assessment of indoor swimming pools in Shahrekord City, Iran in 2013. *Global Journal of Health Science*, 7(3), 240–248. <https://doi.org/10.5539/gjhs.v7n3p240>
- Fleck, L., Tavares, M. H. F., & Eyng, E. (2013). PRINCIPAIS MODELOS MATEMÁTICOS DE QUALIDADE DA ÁGUA E SUAS APLICAÇÕES : UMA REVISÃO. *Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia*, 01(07), 47–62.
- Fonseca, J. J. S. da. (2002). Metodologia da Pesquisa Científica. In *UECE - Universidade Estadual do Ceará*.
- Freitas, V. P. S., Brigido, B. M., Badolato, M. I. C., & Alaburda, J. (2002). Padrão físico-químico da água de abastecimento público da região de Campinas. *Rev. Inst. Adolfo Lutz*, 61(1), 51–58.
- Gil, A. C. (2008). Métodos e Técnicas de Pesquisa Social. In *Annals of Ophthalmology* (Atlas, Issue 6).
- Gomes, E. C. A. (2014). Avaliação da qualidade da água em edificações multifamiliares na cidade de Campina Grande - PB [Universidade Federal de Campina Grande]. In *Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)* (Vol. 39, Issue 1). <http://dx.doi.org/10.1016/j.biochi.2015.03.025><http://dx.doi.org/10.1038/nature10402><http://dx.doi.org/10.1038/nature21059><http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127><http://dx.doi.org/10.1038/nrmicro2577>
- Holnicki-Szulc, J., & Marzec, Z. (2000). Damping of Vibration of Adaptive Structures - Computer Simulation and Experimental Verification. *IFAC Proceedings Volumes*, 33(26), 923–928. [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)39263-7](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)39263-7)
- Ibanga, O., & Mamuro, O. G. (2020). Application of Water Quality Index in Assessment of Swimming Pools Water Quality in Hotels in Emerging Africa Littoral Metropolis of Warri, Delta State, Nigeria. *Geosport for Society*, 13(2), 91–107. <https://doi.org/10.30892/gss.1301-062>
- Júnior, P. R. M. (2010). *Aplicação do Modelo de autodepuração de Qualidade das Águas QUAL-UFMG*. Universidade Federal de Ouro Preto.
- Lehner, B., Liermann, C. R., Revenga, C., Vörösmarty, C., Fekete, B., Crouzet, P., Döll, P., Endejan, M., Frenken, K., Magome, J., Nilsson, C., Robertson, J. C., Rödel, R., Sindorf, N., & Wisser, D. (2011). High-resolution mapping of the world's reservoirs and dams for sustainable river-flow management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(9), 494–502. <https://doi.org/10.1890/100125>
- Lopes, F. W. de A., & Magalhães, A. P. (2010). Influência das condições naturais de pH sobre o índice de qualidade das águas (IQA) na bacia do Ribeirão de Carrancas. *Revista Geografias*, 6(2), 134–147. <http://igc.ufmg.br/portaldeperiodicos/index.php/geografias/article/viewFile/519/390>
- Lucas, A. A. T., Netto, A. de O. A., Folegatti, M. V., & Ferreira, R. A. (2014). Calibração do modelo hidrodinâmico MIKE 11 para a sub-bacia hidrográfica do rio Piauitinga, Sergipe, Brasil. *Revista Ambiente e Água*, 9(3), 445–458. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Ludke, M., & André, M. E. D. A. (2013). *Pesquisa em educação: Abordagens Qualitativas* (E. P. U).
- Marconi, M. de A., & Lakatos, E. M. (2010). *Fundamentos de metodologia científica*.

- Missaghi, S., Hondzo, M., & Melching, C. (2014). Three-Dimensional Lake Water Quality Modeling: Sensitivity and Uncertainty Analyses. *Journal of Environmental Quality*, 42(6), 1684–1698. <https://doi.org/10.2134/jeq2013.04.0120>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., Altman, D., Antes, G., Atkins, D., Barbour, V., Barrowman, N., Berlin, J. A., Clark, J., Clarke, M., Cook, D., D'Amico, R., Deeks, J. J., Devereaux, P. J., Dickersin, K., Egger, M., Ernst, E., ... Tugwell, P. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Moreira, M. C. C., Aparecido, G. R., & Lima, A. B. C. R. (2020). Qualidade da água em piscinas coletivas nos municípios de Jundiá e Várzea Paulista, SP. *Revista Interdisciplinar Enconr Das Ciências, January*. <https://doi.org/10.1000/riec.v3i2.162.g111>
- Oppa, L. F. (2007). *Utilização de modelo matemático de qualidade da água para análise de alternativas de enquadramento do Rio Vacacaí Mirim*. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS).
- Osei-Adjei, G., Sarpong, S. K., Laryea, E., & Tagoe, E. (2014). Bacteriological Quality Assessment of swimming pools in the Osu-Labadi Area, Accra. *Journal of Natural Sciences Research*, 4(19), 126–129. <http://iiste.org/Journals/index.php/JNSR/article/view/15879>
- Papanicolaou, A. N. T., Elhakeem, M., Prakash, S., Krallis, G., & Edinger, J. (2008). Sediment Transport Modeling Review — Current and. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(1), 1–14.
- Pesewu, G. A., Boakye, N. A., Norshie, V., Adjei, D. N., Olu-Taiwo, M. A., Mills-Robertson, F. C., Osei-Djarbeng, S., Asmah, R. H., & Aye-Kumi, P. F. (2015). Bacteriological Assessment of Water Quality of Public Swimming Pools in the Accra Metropolis, Ghana. *Current Research Journal of Biological Sciences*, 7(2), 31–36. <https://doi.org/10.19026/crjbs.7.5204>
- Rabi, A., Khader, Y., Alkafajei, A., & Aqoulah, A. A. (2008). Sanitary Conditions of Public Swimming Pools in Amman, Jordan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(7), 152–157. <https://doi.org/10.3390/ijerph13070646>
- Richter, B. D., Davis, M. M., Apse, C., & Konrad, C. (2014). A presumptive standard for environmental flow protection. *River Research and Applications*, 30(January), 132–133. <https://doi.org/10.1002/rra>
- Santos, T. E. B. dos, Franco, R. M., Hernandez, F. B. T., & Caldas, R. R. (2007). Avaliação da qualidade física da água para fins de irrigação no córrego do ipê , ILHA SOLTEIRA-SP. *XXXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola Bonito - MS*, 2–5.
- Schaefer, K. A., & Bielak, A. T. (2009). Linking water science to policy: results from a series of national workshops on water. *Environmental Monitoring and Assessment*, 431–442.
- Tsutiya, M. T. (2006). *Abastecimento de água* (3d ed.).
- Wagner, I., Izydorczyk, K., Kiedrzyńska, E., Mankiewicz-Boczek, J., Jurczak, T., Bednarek, A., Wojtal-Frankiewicz, A., Frankiewicz, P., Ratajski, S.,
- Kaczkowski, Z., & Zalewski, M. (2009). Ecohydrological system solutions to enhance ecosystem services: The Pilica River demonstration project. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 9(1), 13–39. <https://doi.org/10.2478/V10104-009-0042-8>
- Wiberg, D., & Strzepek, K. M. (2005). CHARM: A Hydrologic Model for Land Use and Climate Change Studies in China. *Environmental Science*, 3–6.
- Zhang, Y., Zhou, J. L., & Ning, B. (2007). Photodegradation of estrone and 17 β -estradiol in water. *Water Research*, 41(1), 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.09.020>
- Ziemińska-Stolarska, A., & Skrzypski, J. (2012). Review of mathematical models of water quality. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 19(2), 197–211. <https://doi.org/10.2478/v10216-011-0015-x>