PREDIÇÃO DA DOSAGEM DE COAGULANTES NO TRATAMENTO DE ÁGUA POTÁVEL E REDES NEURAIS ARTIFICIAIS: ESTUDO PROSPECTIVO E MAPEAMENTO DE PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS

T. D. Silva[1], M. C. S. Amorim. [2]

[1]Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, Brasil
(tamires.damasceno@discente.univasf.edu.br)
[2]Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, Brasil

Para prever a quantidade de coagulante que deverá ser usada no tratamento de água, é realizado o ensaio dos jarros, mas existe algumas limitações nesse tipo de ensaio, assim tem-se utilizado redes neurais artificiais (RNAs) na predição de coagulante. O objetivo do trabalho foi investigar cenários sobre a utilização de RNAs para a dosagem de coagulantes. A busca foi realizada nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science* (*WOS*). Como resultado observou-se um cenário de evolução sobre o tema.

Palavras-chave: *Jar Test*; Prospecção; Sistema inteligente

INTRODUÇÃO

Para a minimização dos riscos à saúde pública e para a qualidade de vida faz-se necessário a disponibilidade de água que atenda a padrões de qualidade. No Brasil o estabelecimento de normas e padrões de potabilidade é de competência do Ministério da Saúde desde 1977. Atualmente está em vigor a Portaria GM 888 Em maio de 2021, foi instituída nova portaria de potabilidade PRT GM/MS n° 888/2021 (Brasil, 2021) e cabe às companhias de saneamento atender às normas e procedimentos e fornecer água que atenda a tais padrões.

Para adequar-se a esta legislação de forma eficiente as companhias buscam tecnologias de tratamento adequadas, bem como realizam esforços quanto a automatização de suas plantas de tratamento de água existentes, objetivando racionalizar a exploração dos mananciais de abastecimento e o uso de insumos envolvidos no processo de tratamento de água (Gomes, 2012).

A coagulação é a primeira etapa do processo de tratamento da água, esta fase consiste na desestabilização das partículas coloidais e suspensas presentes na água, por ações físicas e reações químicas, com duração de poucos segundos, entre o coagulante, a água e as impurezas. A adoção de coagulante causa a redução de forças eletrostáticas de repulsão que tendem a manter as partículas separadas e, assim, o agente inicia a aglomeração das partículas presentes na água (Rubim, 2012).

A quantidade de coagulante que é adicionada no tratamento da água dependerá da qualidade dessa água. Dosagens além das necessárias podem comprometer a qualidade da água e oferecer riscos à saúde devido ao alumínio residual. Por isso variáveis como turbidez, pH, sólidos em suspensão, alcalinidade, coloração entre outras devem ser analisadas continuamente visando a definição das dosagens necessárias a um tratamento que resulte em água com qualidade. Para prever a quantidade de coagulante que deverá ser usada no tratamento de água, é realizado o teste de jarro (*jar test*) (Gomes; Esquerre; Magalhães, 2014).

Segundo Silva *et al*. (2019) há implícito no ensaio de *jar test* limitações como resposta lenta ao sistema, não acompanhando em tempo real as variações das características físico-química da água, como também, intervenções humanas constantes para ajustar a quantidade do reagente necessária para seu tratamento podendo gerar resultados fora dos padrões, consequentemente acarretando risco à saúde pública

Estudos recentes têm demonstrado com êxito a aplicabilidade de sistemas automatizados por redes neurais artificiais (RNAs) em estações de tratamento de água na predição de coagulante (Gomes *et al*., 2015). Dentre as principais vantagens de se utilizar RNAs estão: imunidade a falhas, ruídos e adaptabilidade, visto que uma vez construída uma rede eficiente, ela será utilizada em aplicações em tempo real (Silva *et al*., 2019).

Por causa das vantagens proporcionadas por essa nova abordagem na dosagem de coagulantes, a aplicação de

redes neurais artificiais tem se tornado um campo de pesquisa promissor. Nesse sentido, de acordo com Heller e Nascimento (2005), a identificação das formas e veículos disponíveis para a disseminação do conhecimento produzido e para a transferência de tecnologia e a identificação de periódicos associados ao tema devem atuar como multiplicadores na compreensão, na formação de pessoal e no de novas modalidades e tópicos envolvidos com o assunto.

O trabalho de prospecção e de monitoramento da tecnologia ou de estudos científicos pode, portanto, contribuir com a construção de um mapa conceitual de informações e de conhecimentos inerentes ao assunto, permitindo identificar, entre as diversas informações do universo prospectado, as tendências relevantes e os sinais de mudança no ambiente, reduzindo o grau de incerteza nas ações de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) (Amparo; Ribeiro; Guarieiro, 2012; Borschiver; Almeida; Roitmant, 2008).

Portanto, o objetivo desse estudo foi realizar uma análise prospectiva, com o intuito de mapear, selecionar e analisar as principais características do perfil da produção científica nacional e internacional na área do tratamento de água, por meio das plataformas *Web of Science (WOS)* e *Scopus.* Buscando entender a dinâmica do cenário em questão, verificando as tendências em uma era cada vez mais conectada e preocupada com as questões relacionadas ao uso racional, a proteção e o tratamento de água.

MATERIAL E MÉTODOS

A escrita desse artigo caracteriza-se por um estudo exploratório de natureza quantitativa, a fim de obter resultados acerca da utilização de redes neurais artificiais para a dosagem de coagulantes. Para isso, foi realizada uma busca nas bases de dados *Web of Science (WOS)* e *Scopus*, por serem bases de dados com cobertura abrangente de campos interdisciplinares com acesso baseado em assinaturas com foco em ciências da vida, ciências biomédicas, engenharia, ciências sociais, artes e humanidades.

A busca for realizada através da combinação das seguintes palavras-chave: "*Predicting real-time", "*Coagulant dosage*", "Water treatment" e "Artificial neural networks"*. A combinação foi realizada através dos operadores booleanos *AND*, *OR* e *NOT*. O primeiro operador apresenta os resultados que contêm todos os termos relacionados a busca, já o segundo resulta em documentos que possuam qualquer dos termos pesquisados, tanto sozinhos, quanto em conjunto. E o operador *NOT*, exclui as palavras-chave que estiverem referenciadas a ele, dessa forma, refinando os resultados da pesquisa.

A pesquisa ocorreu sem limitar o período de tempo, abrangendo publicações até abril de 2022. Na plataforma *WOS*, a busca ocorreu em tópicos, sendo filtrados por *articles* e *review*, sendo encontrados 329 resultados, e na base de dados *Scopus* a busca se deu pelo título (*title*), resumo (*abstract*) e palavras-chave (*keywords*), filtrando por tipo de documento (*articles* e *review*), obtendo 286 resultados.

Após aplicação da estratégia de busca, os documentos foram baixados em formato csv e convertido para o *software* Excel no qual foi feito um tratamento prévio dos dados obtidos na busca. As informações obtidas foram organizadas em tabelas e gráficos de forma a permitir a observação da evolução técnico-científica desse tema ao longo dos anos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados nas bases de dados estão apresentados na Tabela 1, que apresenta o número de publicações encontradas para cada combinação de palavra-chave. Observa-se que dentre as bases de dados, a *Web of Science* destaca-se com o maior número de publicações encontradas, com 53%, e a Scopus, com 47%. Observa-se que o maior número de resultados foi obtido quando foi pesquisado pelas palavras *Predicting real-time" AND "Water treatment"* e *"Water treatment" OR "*Coagulant dosage.

Tabela 1. Número de publicações por combinação de palavras-chave.

Palavras-chave	Base/número de publicações	
	Scopus	***WOS***
"Predicting real-time" AND "Coagulant dosage" AND "Water treatment" AND "Artificial neural networks"	4	6
"Predicting real-time" AND "Coagulant dosage" OR "Water treatment" AND "Artificial neural networks"	17	94
"Predicting real-time" AND "Coagulant dosage" OR "Water treatment" NOT "Artificial neural networks"	76	111
"Predicting real-time" AND "Water treatment) OR "Coagulant dosage" NOT "Artificial neural networks"	76	116
"Artificial neural networks" NOT "Coagulant dosage" AND "Water treatment" NOT "Predicting real-time"	113	2
Total	**286**	**329**

A Figura 1 demonstra a evolução temporal acerca da utilização de redes neurais artificiais para a dosagem de coagulantes do processo de tratamento de água. As publicações iniciaram-se a partir de 1991, tendo ainda poucos resultados, nos anos de 1992, e de 1993 até 1999 não existiu nenhum registro de produção nos termos pesquisados.

No Brasil, as aplicações de automação de sistemas de saneamento, incluindo estações de tratamento de água, tomaram impulso muito tardiamente, somente a partir da segunda metade da década de 1990. Desde então, as companhias de saneamento no Brasil, tem dado muita ênfase à automação dos processos de tratamento de água, com vistas à otimização operacional dos processos e insumos de produção envolvidos, bem como garantir água tratada de qualidade (Holanda; Santos, 2006).

Pode-se observar que a partir do ano de 2008 houve um crescimento expressivo das publicações, em que, no ano de 2021 obteve o maior número de registros de produções (97), seguido do ano de 2020 com 87 publicações. No ano de 2022 foi obtido poucos resultados em virtude de a pesquisa ter sido realizada no mês de abril.

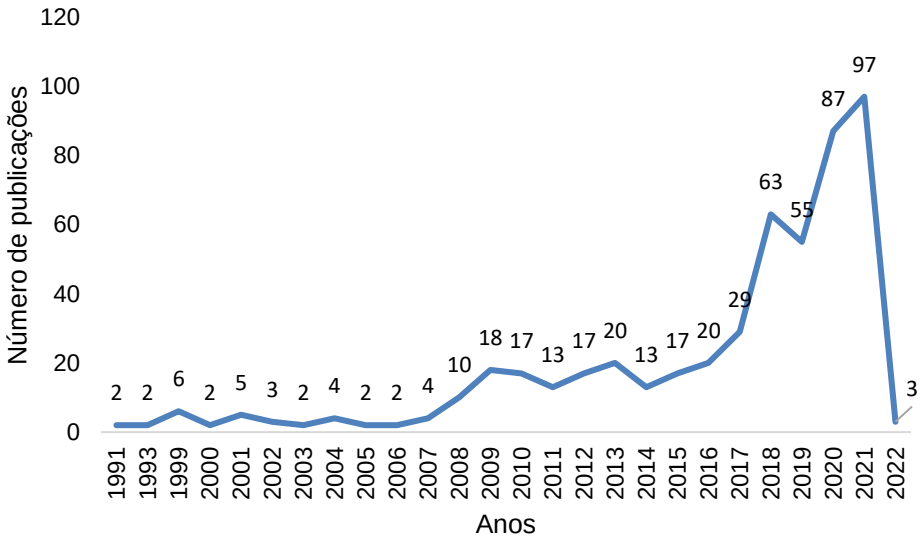


Figura 1. Evolução das publicações ao longo dos anos.

No intuito de se identificar os pesquisadores que trabalham com o tema, foi elaborado a Figura 2, a qual demonstra os 10 autores que mais realizam publicações sobre a utilização de redes neurais para a dosagem de coagulantes. No trabalho de Wu e colaboradores (2008) eles afirmaram que a dosagem insuficiente de coagulante resultará em qualidade de água insatisfatória para o consumo e que os ensaios de *jar test* são demorados e menos adaptáveis às mudanças na qualidade da água bruta em tempo real. Por isso, foi utilizado rede neural artificial e modelos de sistema de inferência difusa baseado em rede adaptativa (ANFIS) para modelar a dosagem de cloreto de polialumínio (PAC) da água do norte de Taiwan. A partir do trabalho foi obtido como resultado que o desempenho dos modelos foi considerado suficiente. Foram desenvolvidas duas ferramentas de simulação, que permitiram aos operadores obter a dosagem de PAC em tempo real com mais facilidade.

No trabalho de Yu *et al*. (2000) foi definido que a dosagem de coagulante é um dos maiores custos operacionais em estações de tratamento de água, e o controle convencional deste processo para a maioria das estações é geralmente determinado pelo ensaio do jarro. Os autores demonstram a viabilidade de aplicação de rede neural artificial (RNA) para controlar automaticamente a dosagem de coagulante em estação de tratamento de água, para isso foi utilizado cinco variáveis de monitoramento on-line, incluindo turbidez, pH e condutividade na água bruta. De acordo com o resultado deste estudo a aplicação do modelo RNA para controlar a dosagem de coagulante foi viável no tratamento de água.

No trabalho desenvolvido por Gholikandi e colaboradores (2011) foi utilizado a rede neural artificial (RNA) na predição do processo de coagulação/floculação de sólidos em suspensão na estação de tratamento de água (ETA) número 3&4 em Teerã. Nesta pesquisa, cinco tipos de policloreto de alumínio (PAC) como coagulante foram usados para examinar o impacto dos tipos de coagulante, dosagem de PAC e turbidez do afluente para remoção de sólidos suspensos. O modelo foi construído com base em 316 conjuntos de dados controlados por processo. O desempenho dos modelos foi muito bom, com valores de correlação (R^2) variando de 0,90 a 0,98 para os modelos de processo que predizem a turbidez da água tratada e o pH do efluente. Portanto, foi desenvolvido o modelo de simulação de RNA que permitiu aos operadores obterem a dosagem de PAC em tempo real com mais facilidade.

Já no trabalho de Kim *et al*. (2017) foi determinado a dosagem de coagulante na ETA de Bansong em tempo real baseada em rede neural de regressão generalizada (GRNN). Várias propriedades estatísticas foram determinadas para obter o modelo de melhor ajuste de cada método. Os modelos de melhor desempenho de cada método foram avaliados por índices de validação externa e erro relativo absoluto de acordo com nove zonas de turbidez. A rede neural de regressão generalizada apresentou alta precisão para a zona de maior turbidez que ocorre durante a estação chuvosa, concluindo que a GRNN pode auxiliar os operadores efetivamente na determinação em tempo real da dosagem de coagulante.

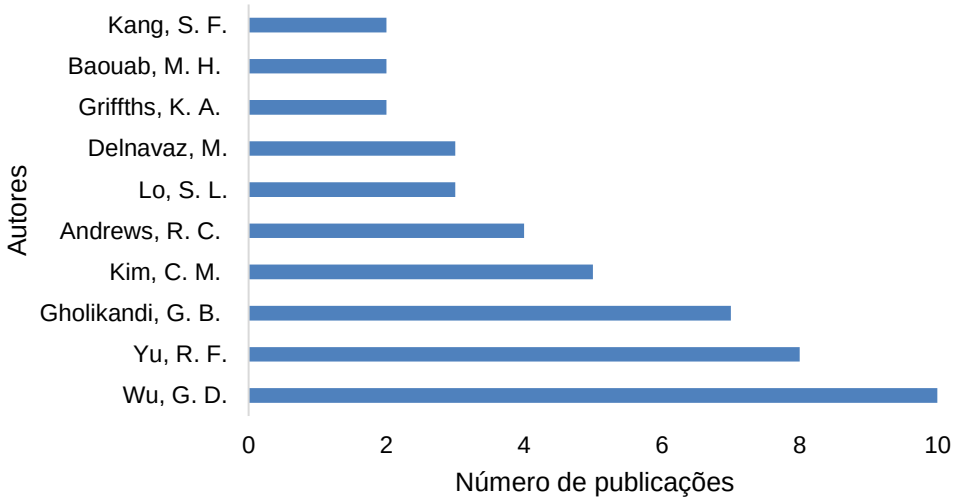


Figura 2. Autores que realizaram publicações sobre o assunto.

A Figura 3 mostra os países que publicaram documentos envolvendo o assunto desse estudo, sendo que do total de 31 países encontrados, os 10 que apresentaram maior número de publicações estão demonstrados. Os estados Unidos estão liderando o ranking, com 17,72% das publicações, isso pode ter ocorrido em virtude do grande investimento em tecnologias voltadas para o saneamento básico antes da década de 90. Em 1998, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (USEPA) publicou um documento técnico que traz em seu escopo formas de otimização das operações unitárias que envolve o tratamento de água a partir do desempenho da ETA, com base numa metodologia denominada *Composite Correction Program* (CCP), já aplicada desde 1988 em diversos sistemas de abastecimento de água dos Estados Unidos e Canadá. A finalidade básica desse programa era dividir todas as operações unitárias da ETA e analisá-las individualmente, de modo a estabelecer barreiras disponíveis eficazes, no processo de tratamento de água, contra a passagem de material particulado e/ou de agentes patogênicos na água tratada (Usepa, 1998).

O Brasil está em segundo lugar em relação aos países que mais realizam publicações sobre o assunto em estudo. Vários pesquisadores vêm estudando e apontando as vantagens de utilizar redes neurais para realizar a dosagem de coagulantes no tratamento de água. No trabalho realizado por Gabriel *et al.* (2019) em que foi desenvolvido um modelo matemático baseado em redes neurais artificiais para a predição da dosagem de coagulante em um processo de tratamento de água por flotação. A partir desse estudo foi observado que o modelo matemático baseado em RNA proposto se mostrou mais eficiente que o ajuste linear aplicado aos dados experimentais e pode, portanto, ser utilizado como importante ferramenta na predição do volume de coagulante, o que, otimiza o processo.

No trabalho realizado por Carvalho *et al*. (2021) em que foi realizado um sistema de automação de dosagem de produtos químicos em uma estação de tratamento de água do Jardim Japão em São Paulo com uso de inteligência artificial, foi observado que a mesma é uma abordagem eficaz para lidar com as complexas inter-relações entre os vários fatores e atividades de um sistema de tratamento de água.

Além disso, foi evidenciado que o sistema automatização aumentou a eficiência das estações de tratamento, onde a quantidade de análises realizadas on-line supera em muito os tradicionais ensaios de bancada, como também aumento de performance, economia no consumo de produtos químicos, diminuição do quadro de funcionários e maior controle operacional são alguns dos pontos positivos do processo de automação do tratamento de água.

Com a utilização do sistema automático, foi observado a redução na dosagem de todos os produtos químicos quando comparado os modos automáticos e manual de operação. O cloreto férrico apresentou redução de 28,9%, o consumo de hidróxido de cálcio em suspenção reduziu 14,62%, o ácido fluossilícico 31,4% e o hipoclorito de sódio 49,8%. Esta redução no consumo de produtos químicos é decorrente do ajuste realizado pelo *software* de controle baseados nos intervalos de análise das amostras de água.

Em outro trabalho realizado por Santos *et al.* (2017) eles utilizaram sistemas inteligentes para controlar a dosagem de coagulantes apresentando uma abordagem de rede neural artificial para otimizar a qualidade da água bruta, utilizando alguns parâmetros, tais como a cor da água bruta, turbidez das águas bruta decantada e filtrada, além de uma entrada calculada, denominada *Dose Rate* para monitorar o processo de filtração. Outra característica presente nesta abordagem é a utilização do método *backpropagation* nas redes neurais artificiais para estimar a melhor dosagem coagulante em dois pontos da instalação de tratamento de água simultaneamente.

Os resultados da simulação foram comparados com a dosagem atual e apontaram que o sistema proposto pode trazer redução nos custos de matéria-prima na estação de tratamento de água. Este estudo revelou que é possível alcançar uma redução nas dosagens de coagulante apresentadas na rede neural de 0,3766 mg L^{-1}, isso significa economia de 17.000 kg de alumínio durante um ano do uso proposto com vazão nominal ETA de produção de 1,25 m^3 s^{-1}.

Gomes *et al.* (2015), desenvolveram um sistema para determinação da dosagem de coagulante, em uma ETA no estado do Ceará, Brasil. As observações foram realizadas através de informações de ensaios de coagulação, com registros de dosagens de coagulante em função do pH e da turbidez da água bruta. Através desse estudo foi verificado que com base nos valores desses dois parâmetros avaliados e utilizando redes neurais foi possível realizar uma previsão de dosagens de sulfato de alumínio na água, se mostrando uma técnica eficiente no tratamento de água.

É visível, que apenas 32% (10) dos países concentraram mais da metade das publicações, tendo quase 80% de todos os trabalhos, enquanto o restante, os outros 68% (21 países) compõem 20,25% do montante de trabalhos publicados. Observa-se uma grande presença da China em questão de número de publicações compondo 12,03% das publicações, acompanhado por México com 6,96% do total de publicações, e da França, com 6,33%.

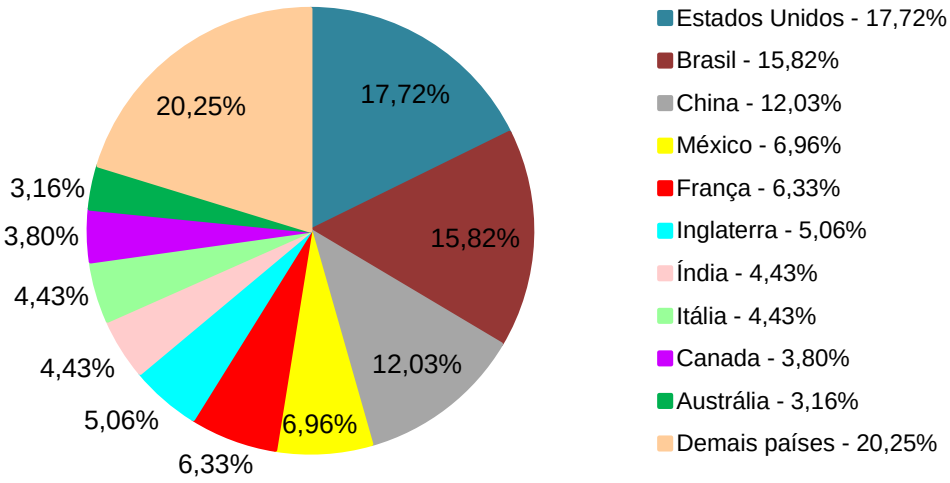


Figura 3. Percentual de publicações por países.

Na Figura 4, é possível analisar as palavras-chave que mais aparecem nas publicações dos autores, onde o seu tamanho está relacionado com a sua frequência, podendo-se afirmar que *artificial neural network* é uma das mais recorrentes, seguida de *water treatment* e *dosage coagulant*. Observa-se que outras palavras-chave apresentadas, como *jat test* e *turbidity* podem ser utilizadas em estudos futuros de prospecção sobre a temática.

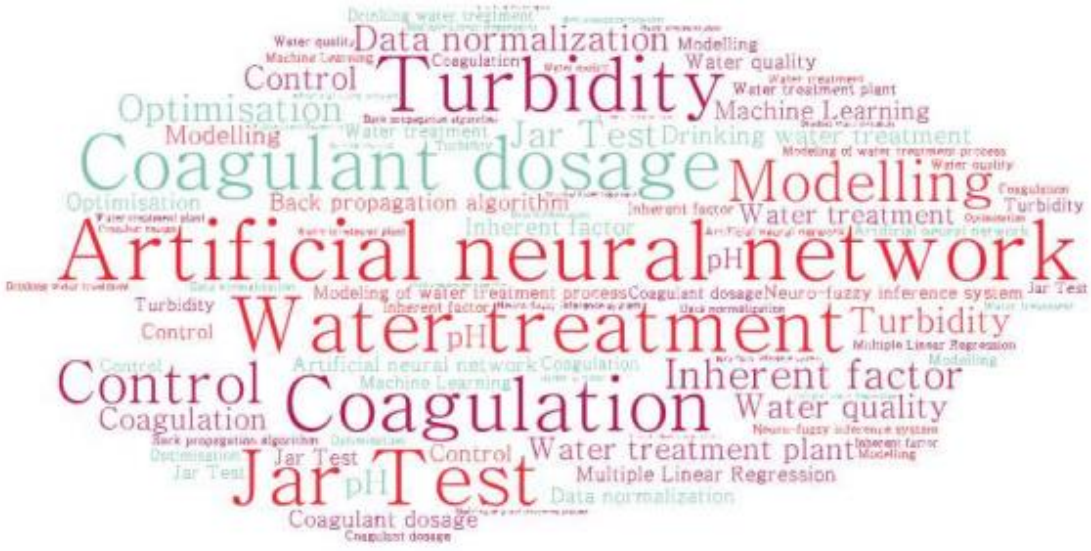


Figura 4. Nuvem com as palavras-chave mais utilizadas nas publicações.

A Figura 5, demonstra as subáreas de pesquisa que mais realizam publicações sobre a pesquisa em estudo. É possível notar que a subárea Ciências Ambientais foi a que mais se destacou com 208 documentos. Isso mostra que a preocupação relacionada as questões ambientais estão aumentando e que as inovações e tecnologias tem capacidade para melhorar a vida dos cidadãos sem comprometer o meio ambiente.

A subárea de pesquisa recursos hídricos ficou em segundo lugar, com 156 publicações, isso evidencia que existe uma preocupação com essa temática, uma vez que, a água é um recurso natural não renovável indispensável à sobrevivência de todas as formas de vida e ao desenvolvimento de qualquer sociedade, pois está diretamente associada a importantes setores da economia, como a agricultura e o meio industrial. Desta forma, os crescimentos populacional e econômico no mundo têm impacto direto na demanda deste recurso, o que faz com que o uso racional, a

proteção e o tratamento de água se tornem atividades imprescindíveis (Gabriel *et al.*, 2019).

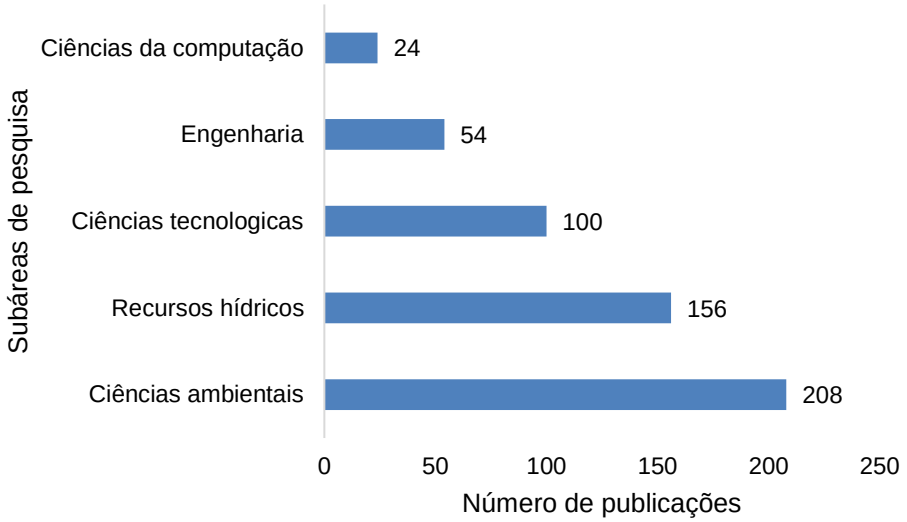


Figura 5. Subáreas de pesquisa.

CONCLUSÃO

A análise dos resultados mostrou que existe uma tendência global e crescente em relação a publicação de artigos relacionados a utilização de redes neurais artificiais para a dosagem de coagulante no tratamento da água. O país que mais realiza publicações nessa temática são os Estados Unidos. No Brasil, fica evidente que existe uma preocupação em inovar no quesito de tratamento de água, uma vez que ocupa o posto de 2ª nação que mais publicou, mostrando que mesmo sendo considerado um país em desenvolvimento, está trabalhando para incluir o uso de tecnologias inovadoras para promover água de qualidade a população.

Verifica-se uma tendência de um número cada vez maior de documentos na área de Ciências ambientais e Recursos hídricos, visto que a água tem suma importância para a sustentação da vida, tornando necessário o acesso da sociedade a água potável para a promoção da saúde pública.

A partir desse estudo, foi possível ter uma visão geral de diversos trabalhos que estão sendo publicados e a tendência é que o tema seja cada vez mais pesquisado e que aumente o número de publicações de trabalhos.

Para futuros estudos pode-se ampliar o universo de pesquisa, utilizando outras palavras-chave de busca e outras bases de dados, podendo realizar prospecção tecnológica utilizando base de patentes ou registros, possibilitando o entendimento do desenvolvimento tecnológico dessa área.

REFERÊNCIAS

AMPARO, K. K.; RIBEIRO, M. C. O.; GUARIEIRO, L. L. N. Estudo de caso utilizando mapeamento de prospecção tecnológica como principal ferramenta de busca científica. Perspectivas em Ciência da Informação, Minas Gerais, v. 17, n. 4, p. 195-209, 2012.

BORSCHIVER, S.; ALMEIDA, L. F. M.; ROITMANT, T. Monitoramento Tecnológico e Mercadológico de Biopolímeros. Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 18, n. 3, p. 256-261, 2008.

BRASIL. PORTARIA GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União. Brasília, DF. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562. Acesso em: 21/04/2022.

CARVALHO, W. de; SILVA, M. C. da.; SILVA, G. K. da.; FERREIRA, A. J. Automação do sistema de dosagem de produtos químicos em uma estação de tratamento de água com uso de inteligência artificial – case ETA Jardim Japão, Cotia-SP. XXXII Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente. São Paulo. 2021.

GABRIEL, J. G.; SILVA, F. V. da.; SOUZA, A. C. Desenvolvimento e aplicação de um modelo matemático baseado em redes neurais artificiais para a predição da dosagem de coagulante em um processo de tratamento de água por flotação, p. 539-545. In: **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica.** São Paulo: Blucher, 2019.

GOMES, L. L.; ESQUERRE, K. P.; MAGALHÃES, R. da. S. Avaliação do Iniciação Científica CESUMAR - v. 16, n. 2, p. 181-189, jul/dez 2014.

GOMES, L. S., "Redes Neurais Artificiais aplicadas à inferência dos sinais de controle de dosagem de coagulantes

em uma estação de tratamento de água por filtração rápida", Universidade Federal do Ceará – UFC, 2012.

GOMES, L. S., SOUZA, S. A. A., PONTES, T. R. A., NETO, F. R., Coagulant dosage determination in a water treatment plant using dynamic neural network models, International Journal of Computational Intelligence and Applications, 2015.

GHOLIKANDI, G. B.; DELNAVAZ, M.; RIAHI, R. Use of artificial neural network for prediction of coagulation/flocculation process by PAC in water treatment plant. v. 10, p. 1719-1725. 2011.

HELLER, L.; NASCIMENTO, N. de O. Pesquisa e desenvolvimento na área de saneamento no brasil: necessidades e tendências. v. 10, n. 1, p. 24-35, jan/mar 2005.

HOLANDA, A., SANTOS, C., Automação de olho no futuro, SANEAS – Associação dos Engenheiros da Sabesp, Revista, vol. 02, n. 24, 2006.

KIM, C. M; PARNICHKUN, M. M. L. SP, ANFIS, and GRNN based real-time coagulant dosage determination and accuracy comparison using full-scale data of a water treatment plant. v. 66, p. 49-61. 2017.

RUBIM, C. Produtos químicos para tratamento de água. **Revista Tae,** Santo André, v. 1, n. 6, p.1-2, 03 abr. 2012.Disponível em: http://www.revistatae.com.br/index.asp. Acesso em: 10 abr. 2022.

SANTOS, F. C. R. dos.; LIBRANTZ, A. F. H.; DIAS, C. G.; RODRIGUES, S. G. Intelligent system for improving dosage control. v. 39, n. 1, p. 33-38. Maringá. 2017.

SILVA, A. E.; FILHO, J. A. A.; ANDRADE, V. C. V.; MACENA, J. C. Aplicação de inteligência artificial no tratamento de água. Semana Nacional de Ciência e Tecnologia. Aracaju. 2019.

United States Environmental Protection Agency - USEPA. Optimizing Water Treatment Plant Performance Using the Composite Correction Program. USEPA: Washington, USA, 1998.

YU, R. F.; KANG, S. F.; LIAW, S.L.; CHEN, M. C. Application of artificial neural network to control the coagulant dosing in water treatment plant. v. 42, p. 403-408. Inglaterra. 2000.

WU, G. D; LO, S. L. Predicting real-time coagulant dosage in water treatment by artificial neural networks and adaptive network-based fuzzy inference system. v. 21, n. 8, p. 1189-1195. Inglaterra. 2008.