



ISSN: 2447-5580

Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE/index>



ARTIGO ORIGINAL

OPEN ACCESS

ANÁLISE DE LITERATURA (ARTIGOS) SOBRE O PROCESSO DE REMOÇÃO DE FERRO EM ÁGUA POR ADSORÇÃO ASSISTIDO POR ULTRASSOM

ANALYSIS OF LITERATURE (ARTICLES) ON THE USE OF REMOVAL OF IRON IN WATER BY ADSORPTION ULTRASOUND-ASSISTED

Emerson Canzian Cararo ^{1*}, Maristela de Araújo Vicente ², & Maria de Fátima Pereira dos Santos ³

^{1,2,3}Programa de pós-graduação em Energia do Centro Universitário Norte do Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo, Rodovia BR 101 Norte, Km. 60, Bairro Litorâneo, CEP 29932-540, São Mateus. ^{1*} emersoncanzian@hotmail.com, ² maristelavicente@gmail.com, ³ maria.f.santos@ufes.br

ARTIGO INFO.

Recebido em: 13/07/2018

Aprovado em: 15/10/2018

Disponibilizado em: 05/07/2019

PALAVRAS-CHAVE:

Ultrassom; Água; Adsorção; Ferro.

KEYWORDS:

Ultrasound; Water; Adsorption; Iron.

*Autor Correspondente: Cararo, E.C.

RESUMO

Pesquisas recentes apontam que o tratamento de águas residuais tem despertado bastante interesse dos pesquisadores para solucionar problemas industriais, minimizando cada vez mais o impacto ambiental desses poluentes. Com isso, novas técnicas de tratamento estão sendo elaboradas e um claro exemplo são as técnicas adsorptivas assistidas por ultrassom, que se mostram uma medida viável para a solução deste tema. Uma análise bibliométrica foi realizada na base de dados "Web of Science" e a estratégia de busca consistiu na palavra chave "ultrasound" e posteriormente focou nas palavras-chaves "water", "adsorption" e "iron". Por meio da bibliometria analisou-se quantitativamente e qualitativamente 10 artigos para compor o portfólio deste trabalho, onde foi possível identificar as

técnicas mais expressivas neste assunto, sendo elas: Degradação Sono-Fenton, ZVI (Ferro zero valente), carvão ativado e TiO₂. Ao final deste artigo foi elaborado uma Matriz SWOT ("Strengths", "Weaknesses", "Opportunities" e "Threats") e um georreferenciamento dos grupos de pesquisa onde foram publicados os artigos selecionados.

ABSTRACT

Recent research indicates that the treatment of wastewater has motivated a great interest of the researchers to solve industrial problems, minimizing the environmental impact of these pollutants. In this way, new treatment techniques are being elaborated and an example of this is adsorption assisted by ultrasound, which are a viable solution for this theme. A bibliometric analysis was performed in the Web of Science database and the search strategy consisted by the keyword ultrasound and later focused on the keywords water, adsorption and iron. Using the bibliometric analysis, 10 articles were analysed quantitatively and qualitatively to compose the portfolio of this work, it was possible to identify the most expressive techniques in this subject: Degradation Sono-Fenton, ZVI (zero valent iron), activated carbon and TiO₂. At the end of this article a SWOT Matrix (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats) was elaborated and a georeferencing of the research groups where the selected articles were published.



1. INTRODUÇÃO

O elemento ferro é um dos metais mais abundantes presentes na terra, e por consequência é comum a solubilização dos íons de ferro em água (Chaturvedi & Dave, 2012). A ocorrência de ferro em água se origina a partir da atividade industrial, da mineração, da corrosão de metais, e principalmente na forma natural (Ghosh, Solanki, & Purkait, 2008). O ferro presente nos recursos hídricos em geral ocasiona alguns problemas à água, como por exemplo, coloração diferente e forte odor (Cho, 2005).

A presença de ferro na água em sua forma natural é derivada, tanto de sua existência natural em formações rochosas subterrâneas, quanto da água de precipitações que se infiltram através dessas formações. O ferro na água é normalmente encontrado em três formas principais: o ferro dissolvido (Fe^{2+}), que se encontra em águas não expostas ao oxigênio, como poços e nascentes; o ferro insolúvel (Fe^{3+}), encontrado em águas exposta ao oxigênio; e ainda a forma de ferro dissolvido, contribuindo grandemente para crescimento de bactérias, que formam camadas escuras de lodo nas paredes internas das tubulações que entram em contato. (Borah, Bhuyan, & Sarma, 2010; Ityel, 2011).

As indústrias de um modo em geral costumam gerar grandes quantidades de íons de metais pesados que rotineiramente são descartados em ambientes aquáticos e causam poluição (Fu & Wang, 2011). Metais como Cd, Ni, Pb, Fe e Cu são os poluentes da água mais tóxicos que constituem os principais distúrbios ambientais. Devido ao fácil acúmulo desses íons nos sistemas vivos, sua presença e bio-acumulação na cadeia alimentar, podem causar sérios e permanentes danos ambientais, mesmo em concentrações muito baixas (Awual & Hasan, 2014; Cheng, Lee, Ko, Ueng, & Yang, 2012; Ge, Li, Ye, & Zhao, 2012; Komkiene & Baltreinaite, 2016; X. Wang, et al., 2014).

De forma a garantir a potabilidade da água algumas técnicas são utilizadas para remoção de íons metálicos de águas residuais. Alguns exemplos são: floculação, troca iônica, eletrocoagulação, bio-adsorção, filtração, adsorção e algumas outras (X. Li, et al., 2015; Z. Li, et al., 2011; Xiao, Xu, Jiang, Dan, & Duan, 2016; H. Xu, et al., 2015; J. Xu, et al., 2012). Entretanto na maioria destas técnicas, problemas bastante significativos são detectáveis. Como por exemplo para auxiliar no processo de floculação, coagulantes químicos são habitualmente utilizados, formando subprodutos prejudiciais ao meio ambiente, que geram custos adicionais para o tratamento (Pereira Vistuba, Nagel-Hassemer, Lapolli, & Lobo-Recio, 2012).



Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistido por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.

Adsorção é o método mais eficaz e amplamente utilizado para o tratamento de águas residuais, tem baixo custo de manutenção e é aplicável para a remoção de poluentes mesmo em baixas concentrações (Bonilla-Petriciolet, Mendoza-Castillo, & Reynel-A', 2017; N. Chen, et al., 2010). Nos últimos anos, uma atenção considerável tem sido focada no estudo da remoção de contaminantes usando materiais naturais. Esses adsorventes mostraram certo grau de capacidade de adsorção desses contaminantes, muitos deles apresentam um baixo custo e são ecologicamente viáveis (Bonilla-Petriciolet, et al., 2017). Sendo assim, um adsorvente cerâmico efetivo e de baixo custo é desejado como uma tecnologia de tratamento eficiente para resíduos em amostras de água em grande escala (N. Chen, et al., 2010).

A aplicação de ultrassom melhora o movimento do fluido aumenta os processos físicos de transferência de massa entre as interfaces sólido-líquido e líquido-gás (T. J. Mason & Lorimer, 2002) favorecendo os processos adsorptivos. Sendo assim, os efeitos sono físicos do ultrassom podem facilitar a mistura, decompor partículas e macromoléculas, processos de adsorção, descontaminação biológica, separação de fase, extração e limpeza (T. J. Mason & Tiehm, 2006). Durante a aplicação do ultrassom, os efeitos do ultrassom são combinações de efeitos sono químicos e sono físicos (T. Mason & Peters, 2002). As vantagens do ultrassom incluem potencial de oxidação livre de produtos químicos, termólise, degradação por cisalhamento e processos de transferência de massa aprimorados (Dong Chen, 2012).

A utilização em larga escala usando ultrassom de potência não é um conceito novo. Na década de 1960 e 70, os usos industriais do ultrassom de potência foram reconhecidos (T. J. Mason, 2000). Pode-se relatar que as taxas de reações sono químicas são aceleradas dependendo da frequência (T. J. Mason & Lorimer, 2002). Acredita-se que o passo de iniciação para esta reação seja a dissociação da água em radicais hidrogênio e hidroxila nos "Hot Spots" que resultam do colapso das bolhas de cavitação (Priego-Capote & Castro, 2004). Certamente, é verdade que a cavitação é normalmente considerada algo a ser evitado na construção de reatores. Isso ocorre porque os danos causados pela erosão da cavitação hidrodinâmica podem causar problemas às superfícies em contato com os sistemas de fluxo, contudo no processamento sono químico, a força motriz é a cavitação acústica (Entezari & Kruus, 1994; T. J. Mason, 2000).

Atualmente, uma grande quantidade de dados e informações podem estar disponíveis gratuitamente, inclusive sobre aplicação de ultrassom em sistemas adsorptivos, para todos usarem e republicarem como desejarem (Y. Zhang, Hua, & Yuan, 2018). Com isto a



Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistido por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.

bibliometria visa uma análise estatística de publicações escritas, e é também uma ferramenta e método útil para avaliar ou resumir esses dados de pesquisa em um campo muito específico (Kazakis, 2014). Geralmente, a análise bibliográfica se concentra em identificar os pontos fortes e fracos da pesquisa, avaliar as contribuições dos países e reconhecer o impacto de periódicos e acadêmicos (S. Zhang, Mao, Crittenden, Liu, & Du, 2017). Em resumo, a análise bibliométrica pode ser usada para resumir tendências globais de pesquisa de remediação de águas subterrâneas para fornecer um guia potencial para estudos atuais e futuros (S. Zhang, et al., 2017). O indicador vital de estimar a qualidade de um artigo é a taxa de citação (Schubert & Braun, 1986). A análise de citações é necessária para fornecer um resumo multidimensional para artigos em um campo específico. O “CiteSpace”, um software adequado e uma ferramenta útil que se concentra na visualização e análise de tendências e padrões na literatura científica, foi aplicado para conduzir análises bibliométricas (C. Chen, 2006). Os resultados da análise são importantes para a pesquisa deixando claro os assuntos relevantes para pesquisa. Portanto, a bibliometria sob a perspectiva da análise de artigos e número citações, que ajuda a nortear pesquisadores ou agências de fomento à pesquisa em áreas onde há falta de foco na atividade de pesquisa e fornecer uma visão e informações valiosas (Y.-B. Chen, Tong, Ren, Yu, & Cui, 2019).

Neste estudo, foram utilizados métodos bibliométricos para investigar quantitativa e qualitativamente as tendências de pesquisa relacionadas ao tratamento de águas residuais contaminadas utilizando uma metodologia de ultrassônica com um meio adsorção. Uma ferramenta de pesquisa comum utilizada por profissionais bibliométricos inclui o uso da plataforma “Web of Science”. Palavras chave foram inseridas na plataforma, seguidas por uma avaliação do resultado para determinar o impacto de autores, revisão dos resumos e ano de publicação. Com isto, o artigo mostra de uma maneira clara e sucinta os resultados obtidos com essa metodologia. Assim o artigo apresenta a seguir a estratégia de busca no tópico 2, na secção 3 os resultados são abordados e discutidos. A conclusão deste trabalho é explicitada no item 4.

2. ESTRATÉGIA DE BUSCA

A análise bibliométrica foi utilizada com base de dados “Web of Science®”, que cobre a maioria dos periódicos importantes e é amplamente aplicada em uma variedade de campos científicos (Jiang, Qi, Liu, & Chen, 2018). Faz uso também da base os principais periódicos acadêmicos do mundo, livros e anais nas ciências, um diferencial de utilizar esta plataforma é



Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistido por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.

pode exportar os dados para um tratamento mais aprimorado refinando e comparando resultados. A estratégia de busca foi delimitar um grupo inicial de pesquisa exploratória onde consistiu em uma procura por trabalhos que continham em suas palavras chaves ou título principal a palavra “*ultrasound*”, com a variação temporal entre os anos 1945 e 2018.

Após a pesquisa exploratória com ampla variação temporal, foi feito o refinamento dos resultados obtidos, primeiramente se acrescentou outras três palavras chaves de pesquisa “*water*”, “*adsorption*” e “*iron*”, e a seguir a se optou por restringir a pesquisa apenas aos anos de 2000 a 2018 com o intuito de obter um resultado onde os trabalhos mais recentes sejam de maior relevância e salientando que há uma tendência de pesquisa recente nesta área de pesquisa.

Após a obtenção dos dados e dos artigos selecionados, foi possível a elaboração de um relatório de citações considerando diversos fatores importantes para a pesquisa como: o valor do “*h-index*”, número total de citações, o número de citações de artigos por ano e contribuição das diferentes áreas de pesquisa. Munido dessas informações gráficas de número de publicações por ano, países onde os artigos estão sendo publicados e áreas de conhecimento foram apresentados para melhor ilustrar os resultados obtidos. O índice “*h-index*” foi escolhido como parâmetro importante, pois pode fornecer um parâmetro útil para comparar, de forma imparcial, artigos diferentes no ponto de vista de avaliação científica (Lovegrove & Johnson, 2008). O “*h-index*” é projetado para indicar o efeito cumulativo da saída de pesquisa e considera o número de downloads de artigos e o número de citações simultaneamente (Soosaraei, Khasseh, Fakhar, & Hezarjaribi, 2018).

Para um melhor aspecto visual dos resultados extraídos do site “*Web of Science*®”, os relatórios foram exportados em um arquivo “.txt” e importou-se esses dados para o software “*CiteSpace*®” na versão 5.2. O “*CiteSpace*” é projetado como um software de visualização do domínio do conhecimento. E os conceitos centrais dessa ferramenta são a detecção de ligações entre publicações. Além disso, pode-se apresentar os resultados em um fácil entendimento do formato visual através dos diagramas e até mesmo utilizando um “*software*” de georreferenciamento (Jiang, et al., 2018). Utilizou-se a ferramenta “*geographical*”, e assim gerou-se a localização destas publicações fazendo uso da plataforma “*Google Earth*®” possibilitou-se esse georreferenciamento destes artigos publicados.



Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistido por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.

Indicadores bibliométricos normalmente usam o número de citações que um artigo recebe, o que por sua vez representa uma medida de seu impacto e visibilidade internacional (Bertocchi, Gambardella, Jappelli, Nappi, & Peracchi, 2015). Sendo assim, houve o ordenamento dos artigos por ano e a classificação dos mais citados, selecionou um número de 10 artigos para realização da leitura, a partir disso analisou-se os artigos de maior relevância da plataforma, assim os resultados foram extraídos e sintetizados para explicitar as novidades e as tendências mundiais para o tratamento de águas residuais utilizando ultrassom.

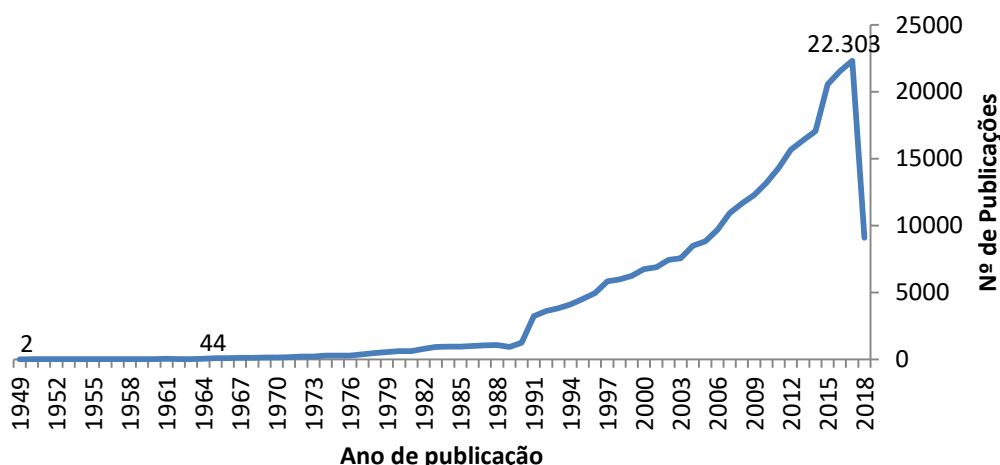
Ao final deste artigo elaborou-se uma Matriz *SWOT* (“*Strenghts, Weaknesses, Opportunities e Threats*”), apontando os pontos fortes, os pontos fracos, as fraquezas e oportunidades dessa técnica. A Matriz “*SWOT*” é uma das ferramentas mais importantes na literatura de gestão estratégica, que ajuda nas organizações e no planejamento estratégico (Mirzakhani, Parsaamal, & Golzar, 2014).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE PUBLICAÇÕES COM O TERMO DE PESQUISA “ULTRASOUND”

Utilizou-se a base de dados do “*Web of Science*” e obteve-se os primeiros resultados, o primeiro termo de pesquisa “*ultrasound*” forneceu 296.525 publicações (Figura 1), as pesquisas envolvendo ultrassom teve inicio nos Estados Unidos da América no ano de 1949 e foi publicado pela revista “*Anatomical Record*”, pelo autor Wilcox, H.

Figura 1 - Gráfico Evolução do número de publicações com base de dados do “*Web of Science*” com o termo de pesquisa “*ultrasound*”.



Como mostra a Figura 1, foi em 1964 onde as publicações tiveram início em 1949 com 2 publicações, contudo apenas em 1964 os estudos passaram a ser mais significantes com um



Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistido por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.

crescimento de 2.200%. E em 2017 teve sua maior participação nas publicações com um número de 22.303 publicações.

A Figura 2 apresenta a produtividade dos países com base de dados do “*Web of Science*” com o termo de pesquisa “*ultrasound*”. Maior detentor mundial de publicações foi o Estados Unidos com 82.789 publicações.

Os Estados Unidos da América possuem um papel de destaque em trabalhos sobre o tema, com aproximadamente 28% dos trabalhos são norte-americanos, a Inglaterra e Alemanha estão em segundo e terceiro colocado com 22.493 e 22.466 publicações respectivamente. Na Figura 2 o Brasil destaca-se em uma escala mundial ocupando o 15º lugar, a produção intelectual sobre o assunto é comparável a Peru, Índia e Coreia do Sul. Contudo, vemos na Figura 3 que a maioria dos trabalhos publicados está relacionada a áreas da Medicina com 81% das publicações nesta área de pesquisa, que não é o foco deste trabalho fazendo com que haja a necessidade de melhor refinamento para obter um resultado mais significativo ao nosso foco de trabalho.

Figura 2 - Número de publicações por países com base de dados do “*Web of Science*” com o termo de pesquisa “*ultrasound*”.

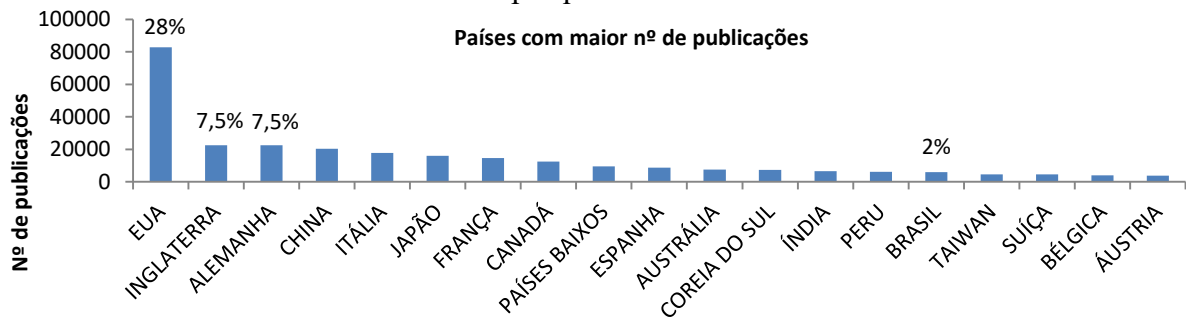
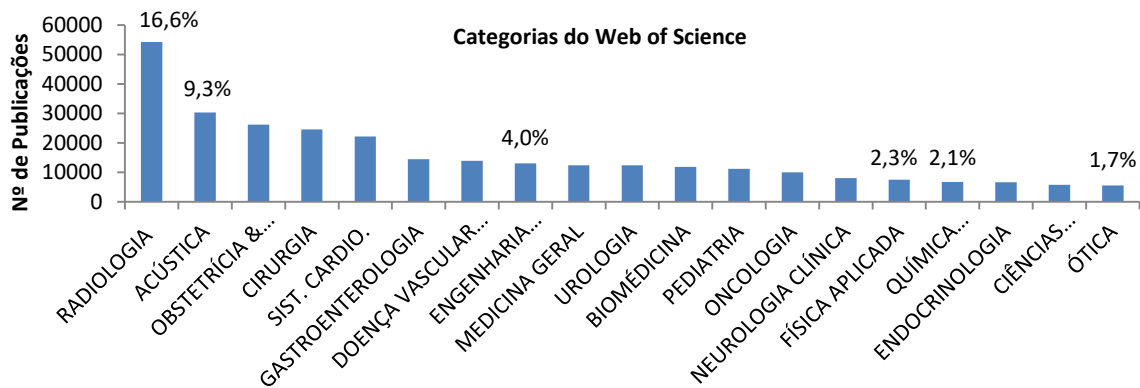


Figura 3 - Gráfico das áreas que utilizam ultrassom como base de estudo

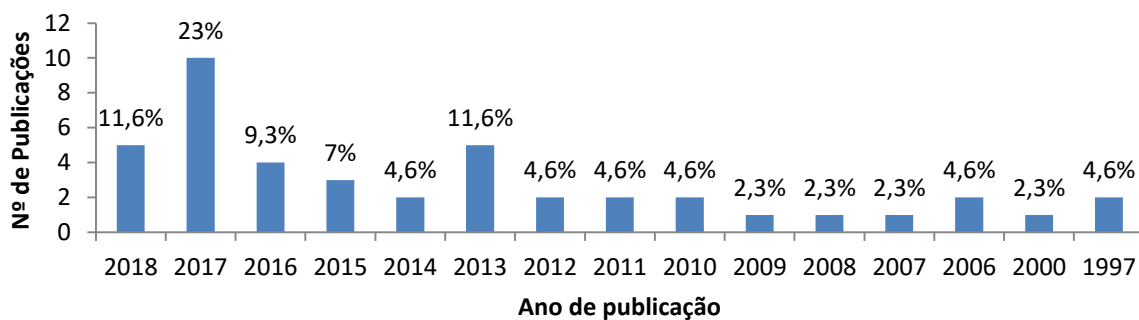


Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistido por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.

3.2.FOCO NO NÚMERO DE PUBLICAÇÕES COM O TERMO DE PESQUISA “WATER”, “ADSORPTION” E “IRON”

Para ter um refinamento melhor dos dados, e uma melhor confiabilidade nos resultados da pesquisa acrescentou-se três novas palavras chave a base de dados do “Web of Science”: “water”, “adsorption” e “iron”. Obteve-se assim 43 publicações (Figura 4), com isto notamos que as pesquisas envolvendo essas quatro palavras chaves teve princípio nos Estados Unidos da América no ano de 1997 e foi publicado pela revista “Chemistry of Materials”, pelo autor Ramesh, S, *et al.*

Figura 4 - Gráfico Evolução do número de publicações com base de dados do Web of Science com o termo de pesquisa “ultrasound”, “water”, “adsorption” e “iron” .



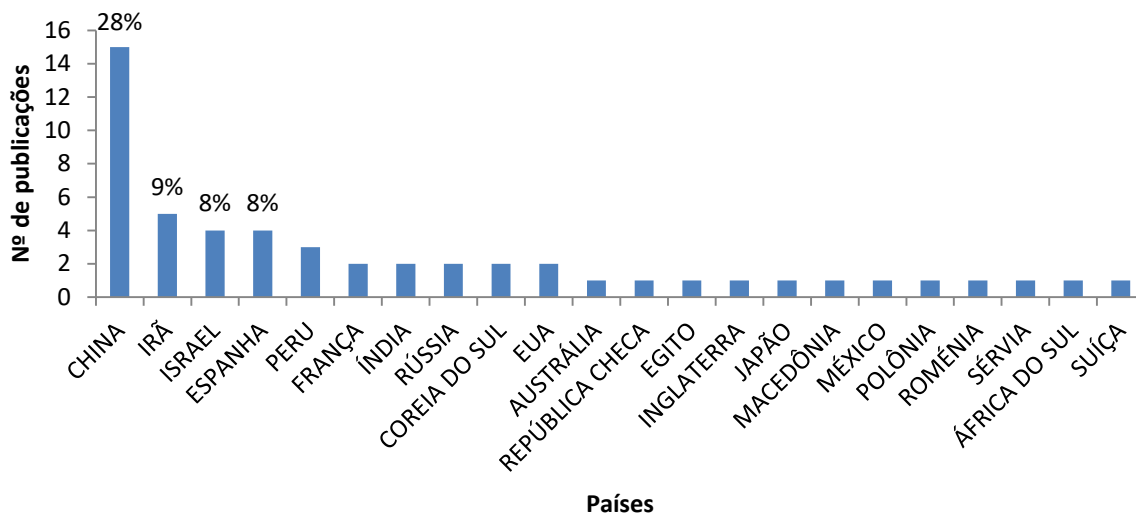
A Figura 4 ilustra o início dos trabalhos utilizando o tratamento de águas residuais assistidas por ultrassom, é possível destacar que as pesquisas iniciaram-se em 1997 com duas publicações. No ano de 2017 teve como o ano onde apresentou o maior número de trabalhos publicados contendo 10 publicações.

A Figura 5 evidencia que a China vem se destacando nos últimos anos neste tipo de estudo com 15 artigos publicados que corresponde a quase 35% de todo as publicações neste tema, sendo o principal produtor de novas metodologias e técnicas para utilização de ultrassom para tratamento de águas residuais. O Irã vem em segundo lugar neste tipo de publicação com cinco publicações, Israel e Espanha publicaram neste período quatro artigos cada mostrando a sim o seu interesse nesta técnica.



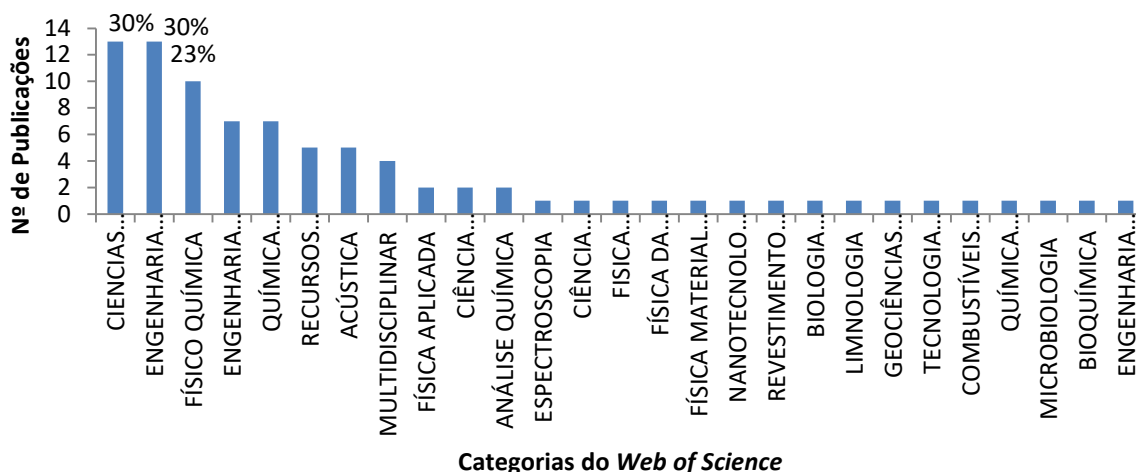
Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistido por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.

Figura 5 - Número de publicações por países com base de dados do *Web of Science* com o termo de pesquisa “ultrasound”, “water”, “adsorption” e “iron”.



Na Figura 6 descreve em quais categorias da base de dados *Web of Science*, as publicações vem sendo abordadas. As áreas ambientais são as que possuem um maior número de publicações, pois os resíduos industriais são de grande impacto ao meio ambiente. Sendo assim, somando-se as áreas de ciências ambientais e engenharia ambiental temos aproximadamente 60% dos artigos publicados nestas áreas. A físico-química vem logo a seguir no número de publicações com 10 publicações ao todo sendo de grande interesse esse estudo.

Figura 6 - Gráfico das áreas que utilizam ultrassom como base de estudo



Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistido por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.

3.3.COMPILAÇÃO DE ARTIGOS

Foram encontradas 43 publicações, houve ainda um refinamento por ano e número de citações restando apenas 41 publicações. Deste total foram selecionadas 10 publicações mais citadas no período de 2000 e 2018, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Lista de artigos refinados

Título	Autores
Magnetic α -Fe ₂ O ₃ /MCM-41 nanocomposites: Preparation, characterization, and catalytic activity for methylene blue degradation	(Ursachi, Stancu, & Vasile, 2012)
Mechanism of the enhanced degradation of pentachlorophenol by ultrasound in the presence of elemental iron	(Dai, et al., 2006)
Removal of cephalexin from aqueous solutions by original and Cu(II)/Fe(III) impregnated activated carbons developed from lotus stalks Kinetics and equilibrium studies	(Hai Liu, et al., 2011)
More on sonolytic and sonocatalytic decomposition of Diclofenac using zero-valent iron	(Ziylan Yavas, Kolytin, Gedanken, & Ince, 2012)
Phosphate adsorption on lanthanum hydroxide-doped activated carbon fiber	(L. Zhang, et al., 2012)
Sonocatalytic degradation of diclofenac with FeCeOx particles in water	(Chong, et al., 2017)
Degradation of a textile dye, Rhodamine 6G (Rh6G), by heterogeneous sonophotoFenton process in the presence of Fe-containing TiO ₂ catalysts	(Demir, Gündüz, & Dükkancı, 2015)
Simultaneous removal of Cd(II), Ni(II), Pb(II) and Cu(II) ions via their complexation with HBANSA based on a combined ultrasound-assisted and cloud point adsorption method using CSG-BiPO ₄ /FePO ₄ as novel adsorbent: FAAS detection and optimization process	(Kheirandish, et al., 2017)
Significant enhancement of bromate removal in drinking water: Implications for the mechanism of sonocatalytic reduction	(M. Cui, et al., 2017)
Adsorption study of selenium ions from aqueous solutions using MgO nanosheets synthesized by ultrasonic method	(W. Cui, Li, Wang, Zheng, & Zhang, 2017)



Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistido por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.

Compilação das principais informações contidas nos 10 artigos selecionados no estudo de ultrassom para tratamento de águas residuais, para justificar a escolha destes artigos utilizou-se o “*h-index*” 14 para fazer esta escolha. Sendo assim, cada publicação teve no mínimo 14 citações e como média de 16,47 publicações por artigo.

Segundo (Ursachi, et al., 2012), estudou a degradação de uma solução aquosa de azul metileno e o pH destas soluções. Para esta finalidade utilizou-se um processo do tipo “*Fenton*” assistido por ultrassom com frequência fixada em de 20 kHz, e verificou que a taxa de degradação do azul metileno aumenta com a diminuição do valor do pH da solução. Os resultados indicaram que o sistema do nano compósito US – H₂O₂ – α-Fe₂O₃/MCM-41 é eficaz para a degradação de azul metileno, sugerindo seu grande potencial na remoção de corantes de efluentes.

O trabalho realizado por (Dai, et al., 2006), mostrou que o ultrassom combinado com o ferro elementar (US / Fe⁰) é eficaz na oxidação de contaminantes orgânicos na água. A degradação do composto pentaclorofenol foi aumentada em mais de quatro vezes com a adição de ferro elementar, principalmente em reações contendo radical hidroxila. Experimentos foram realizados combinando diferentes aspectos:

- Tratamento com ultrassom;
- Ultrassom na presença de ferro;
- Ultrassom combinado com pó de cobre;
- Ultrassom na presença de Fe (II).

Foi observado que a degradação de pentaclorofenol e a produção de radicais hidroxila foram aumentadas utilizando métodos combinados. Estes resultados indicaram que as melhorias na taxa de degradação do sistema de ferro elementar, foram atribuídas primeiramente ao efeito do ferro sólido e a catálise do Fe (II) produzida a partir de ferro oxidado. O aumento da área superficial das partículas de ferro por cavitação acústica, promovendo o processo de adsorção (Dai, et al., 2006).

O estudo proposto por (Hai Liu, et al., 2011), teve como base a produção de carvão ativado do caule do lótus que será utilizado como meio adsorção. Nitrato de Cobre e Nitrato de Ferro foi impregnado nos carvões ativados, produzindo carvão ativado dopado por Cu (II) e Fe (III). Os carvões ativados modificados foram caracterizados por adsorção de N₂, espectroscopia de infravermelho e difração de raios-X. Através desses meios adsorção, estudou a cinética e as



Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistido por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.

isotermas de adsorção de cefalexina em solução aquosa para os carvões ativados do caule de lótus, e os carvões ativados dopados com Cu (II) e Fe (III). Os resultados mostraram que as capacidades de adsorção dos adsorvedores dopados com Cu (II) e Fe (III) foram maiores que a capacidade de do carvão ativado do caule de lótus. O carvão ativado dopado com Fe (III) foi o mais efetivo em a remoção de cefalexina em solução.

De acordo com (Ziylan Yavas, et al., 2012), foi proposto avaliar o efeito de um novo catalisador caseiro de nano partículas magnéticas de ferro zero valente. Verificou-se que para altas frequência de ultrassom foi mais eficaz do que o de potência 20 kHz, a melhor eficiência foi com ultrassom de 861 kHz. Foi possível observar que com um tempo de aplicação do ultrassom de 40 minutos houve a degradação quase completa do diclofenaco em produtos intermediários que são mais biodegradáveis. O tratamento sono catalítico mostrou que o efeito do catalisador foi maior em uma solução ácida não tamponada.

(L. Zhang, et al., 2012), mostrou que um novo adsorvente de fibra de carbono ativada, dopada com hidróxido de lantânio (ACF-LaOH) foi utilizado para preparação de um método de precipitação química assistida por ultrassom para remoção de fosfato de águas residuais. Baseado nas metodologias de fator único, superfície de resposta e usando um projeto “*Box-Behnken*” foi aplicado para avaliar as interações mútuas e os efeitos entre os três fatores e as condições de otimização (concentração, potência ultrassônica e tempo de ultrassom). Sendo assim, o mecanismo de adsorção do fosfato foi investigado através da análise da microscopia eletrônica de varredura, espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier e a relação entre a quantidade de adsorção e pH da solução de fosfato. Os resultados demonstraram que as interações de forças de ligantes, interações eletrostáticas e a interações ácido-base de Lewis foram os três principais mecanismos de adsorção de fosfato. Sendo assim, notou-se que as interações ácido-base de Lewis foram reforçadas com o aumento dos valores de pH, fazendo com que ocorresse a diminuição da adsorção.

O artigo de (Chong, et al., 2017), estuda a degradação sonoro-catalítica do diclofenaco em água utilizando o ultrassom catalisado por $FeCeO_x$. A caracterização de adsorção / dessorção de nitrogênio foram realizadas antes e depois da aplicação do ultrassom. Foi utilizado para caracterização métodos de microscopia de varredura, difração de Raio x, espectroscopia Raman e espectroscopia de fotoelétrons excitados por raios x. Os resultados mostram que o $FeCeO_x$ tem excelente desempenho em catalisar um sistema ultrassônico em água, e 80% do diclofenaco foi removido em 30 min de aplicação de ultrassom (contendo: diclofenaco = 20



Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistido por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.

mg / L, $\text{FeCeO}_x = 0,5 \text{ g / L}$, $\text{pH} = 6$, frequência do ultrassom = 20 kHz, temperatura = 298 K). A morfologia do FeCeO_x sofre mudança após o uso, mostrando que o Ce (III) é gradualmente oxidado para Ce(IV) e o Fe(III) é reduzido para Fe(II). O “*oxygen vacancy*” participa do processo ultrassônico, e o oxigênio singlete é a espécie ativa no processo de degradação.

No estudo realizado por (Demir, et al., 2015), a degradação da rodamina 6G foi investigada com heterogeneidade assistida por ultrassom processo Fenton utilizando catalisadores de TiO_2 contendo ferro. Os catalisadores foram preparados pelo método de “*dry impregnation*” e caracterizada por difração de raio x, microscopia eletrônica de varredura, espectroscopia de infravermelho, adsorção de nitrogênio e medições de Espectrometria de Emissão Óptica. Uma remoção de cor de 99,9% foi obtida após um tempo de reação de 90 minutos, enquanto a demanda química de oxigênio pode ser removida em 24% apenas com o TiO_2 contendo 1% em ferro como catalisador. A remoção inicial da cor deu-se após 15 minutos de reação e redução completa da demanda química de oxigênio 90 minutos de reação.

Métodos de irradiação ultrassônica, ponto de nuvem e adsorção foram estudados em (Kheirandish, et al., 2017) e unidos para desenvolver uma nova técnica para a remoção simultânea de íons Cd (II), Ni (II), Pb (II) e Cu (II). Com o objetivo de reduzir custos e melhorar a praticidade do processo, o gel de quitosana foi sintetizado hidro termicamente e caracterizado por diferentes técnicas. Além disso, estudou a possível correlação significativa entre diferentes variáveis (concentração, temperatura, concentração de CSG - $\text{BiPO}_4 / \text{FePO}_4$ e tempo de ultrassom) e a eficiência de remoção a partir das quais as eficiências máximas foram obtidas em 5,57 mg / L, 51.49 °C, 0.018 g e 10.73 minutos respectivamente. Sendo assim foi avaliado que o percentual de remoção variou entre 93% e 97%.

O trabalho realizado por (M. Cui, et al., 2017), buscou a redução sonoro-catalítica do BrO_3^- e para isto estudou o efeito de importantes parâmetros operacionais, como frequência de ultrassom, concentração de TiO_2 , pH, temperatura e outros ânions. Os resultados mostraram que as taxas de redução de BrO_3^- aumentam à medida que a taxa de produção de H_2 aumentou. As maiores intensidades de sonoluminescência para produção de H_2 e redução de BrO_3^- ocorreram em uma frequência de 500 kHz com a taxa de redução de $6,84 \times 10^{-2}$ /minuto.

O trabalho de (W. Cui, et al., 2017), relata um método novo e simples para a fabricação de nano folhas de MgO e o comportamento de adsorção de selênio. Essas Nano folhas de MgO com espessuras de 3 a 10 camadas moleculares e grande área específica foram fabricadas com



Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistida por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.

sucesso por um método de esfoliação assistida por ultrassom e usadas como adsorventes para a remoção de selenito e selenato de soluções aquosas. As nano folhas de MgO resultantes apresentaram capacidades de adsorção máxima de 103,52 e 10,28 mg/g para selenito e selenato, respectivamente. O processo simples de síntese de uma etapa de nanofolhas de MgO e alta capacidade de adsorção oferece um método promissor para a remoção de selenito e selenato no tratamento de água.

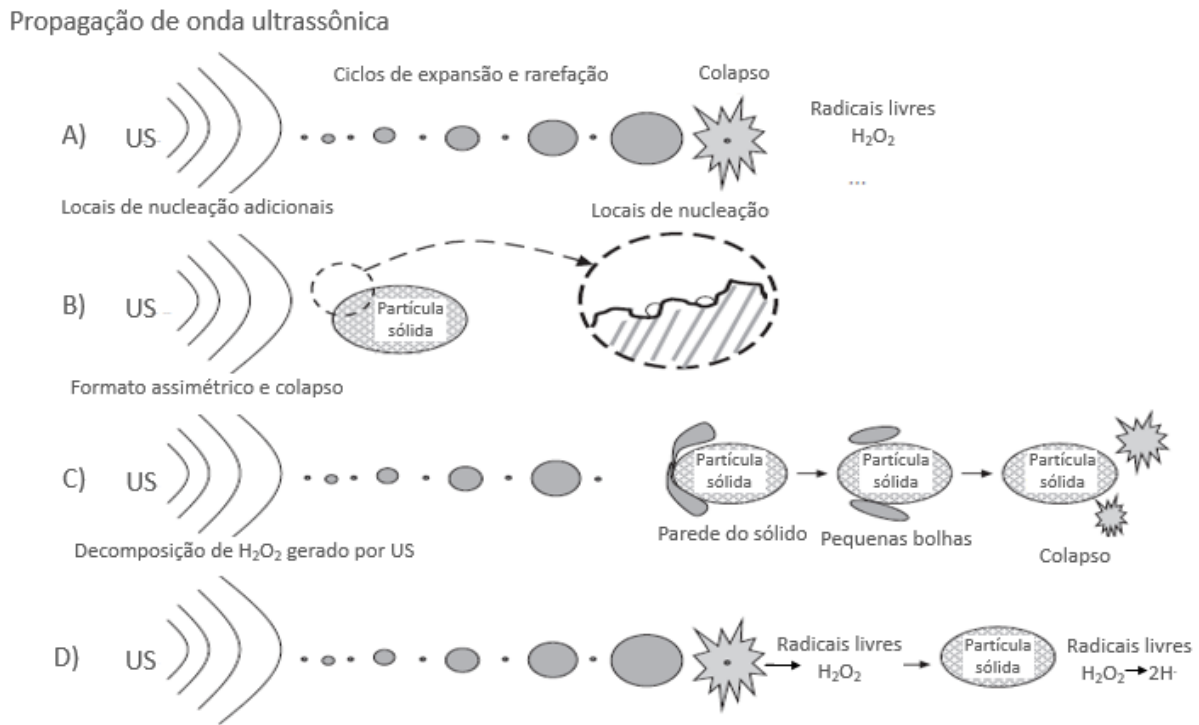
3.4. EFEITOS DAS PARTÍCULAS SÓLIDAS NA DEGRADAÇÃO DE POLUENTES EM SOLUÇÃO AQUOSA

A presença de material particulado pode desempenhar um papel crítico de diferentes formas para a oxidação sono química de poluentes em solução aquosa (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** - A). Assim, a presença de partículas dispersas na solução líquida durante a aplicação de ultrassom fornece locais de nucleação adicionais para eventos de cavitação sobre a sua superfície, aumentando o número de microbolhas na solução (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** - B) (Mousavi & Ghasemi, 2010). As partículas também podem atuar como uma parede para a transmissão de bolhas, produzindo um colapso assimétrico das bolhas de cavitação e levando à geração de um grande número de pequenas bolhas (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** - C). Ambos os fenômenos produzem um aumento de micro cavidades que aumentam o rendimento da oxidação sono química. O colapso assimétrico de microbolhas sobre a superfície sólida também oferece a degradação adicional de poluentes adsorvidos pela energia liberada durante a implosão “*in situ*” de cavidades (Melero, Martínez, Molina, & Segura, 2012). Alguns componentes das partículas sólidas podem ter uma atividade catalítica para a decomposição do peróxido de hidrogênio gerado sob condições de influência do ultrassom (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** - D).



Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistido por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.

Figura 7 – Diferentes tipos de efeitos ultrassônicos na presença de partículas sólidas.



Fonte: Adaptada de (Melero, et al., 2012)

3.4.1. DEGRADAÇÃO SONO-FENTON

Outro benefício da presença de certas partículas sólidas durante a sonicação é a decomposição do peróxido de hidrogênio gerado pela irradiação ultrassônica para formar radicais hidroxila altamente reativos e oxidantes. Dentro do tipo de sólidos que podem promover essa reação, óxidos de ferro como eles mesmos ou com suporte têm sido amplamente utilizados para a degradação de diferentes poluentes em solução aquosa (Ai, et al., 2007).

Embora o H_2O_2 seja o oxidante mais relevante usado em sistemas ultrassônicos, outros oxidantes também estão sendo usados. Por exemplo, um efeito sinérgico foi encontrado para a combinação dos USA e ozônio. A combinação da sono-ozonólise e catalisadores heterogêneos deve aumentar a eficiência dos processos, fornecendo locais de nucleação adicionais para a geração de bolhas de cavitação nas quais a decomposição térmica do ozônio poderia ocorrer. Além disso, esses catalisadores poderiam decompor o H_2O_2 , formado durante a sonificação, gerando radicais hidroxila (Chand, Ince, Gogate, & Bremner, 2009). A adição de peróxido de hidrogênio a sistemas de irradiação ultrassônica na presença de materiais contendo ferro como processos semelhantes a Fenton pode aumentar a produção de radical



Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistido por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.

hidroxila, aumentando a atividade global e a taxa de degradação do chamado sistema sono-Fenton. Assim, os efeitos turbulentos da cavitação promovem não apenas um aumento na área superficial da partícula.

3.4.2. FERRO ZEROVALENTE

O ferro elementar de ferro zero valente (ZVI) tem sido utilizado para a sono degradação de poluentes orgânicos como catalisador sólido de baixo custo. Sabe-se que o uso de ZVI, sob condições ácidas, promove sua oxidação a Fe^{2+} (Reação (1)). Adicionalmente, Fe^0 na presença de água pode ser oxidado pela Reação (2). O Fe^{2+} formado pelas Reações 17.1 e 17.2 reage rapidamente com as moléculas de H_2O_2 geradas pela cavitação para produzir radicais hidroxila adicionais no meio aquoso (Reação (3)). Finalmente, o Fe^{2+} pode ser regenerado pela reação entre Fe^{3+} e Fe^0 (Reação (4)) (Melero, et al., 2012).



Nesse processo, a liberação de íons ferrosos (Fe^{2+}) da superfície da partícula ZVI é identificada como a etapa de velocidade limitada, uma vez que a formação de uma camada de óxido de ferro pode inibir a geração de Fe^{2+} (Reação (1)) (Melero, et al., 2012). Como foi mencionado anteriormente, o colapso das bolhas de cavitação perto da superfície sólida causa micro jatos que atingem a superfície e produzem ondas de choque assimétricas (Figura 7 – C). Esse fenômeno resulta na conhecida ação de limpeza da US, que elimina a camada de óxido de ferro e, conseqüentemente, regenera e reativa a superfície do catalisador (Haining Liu, Li, Qu, & Liu, 2007).

3.4.3. CARVÃO ATIVADO

Combinação de US com carvão ativado também tem sido estudada na literatura para a degradação de poluentes orgânicos. Um passo adicional poderia ser a combinação de carvão ativado e irradiação ultrassônica em um sistema simultâneo. Desta forma, grafite esfoliada, um tipo de material de adsorção de carbono poroso tem sido usado em combinação com a irradiação ultrassônica para a descoloração de corantes. A maior eficiência desse processo, quando comparada à adsorção silenciosa, é atribuída à ruptura de partículas de grafite



Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistido por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.

esfoliada pela ação de ultrassom, com diminuição do tamanho das partículas e consequente aumento da área de superfície disponível para a adsorção do corante (J.-T. Li, Li, Li, & Sun, 2007).

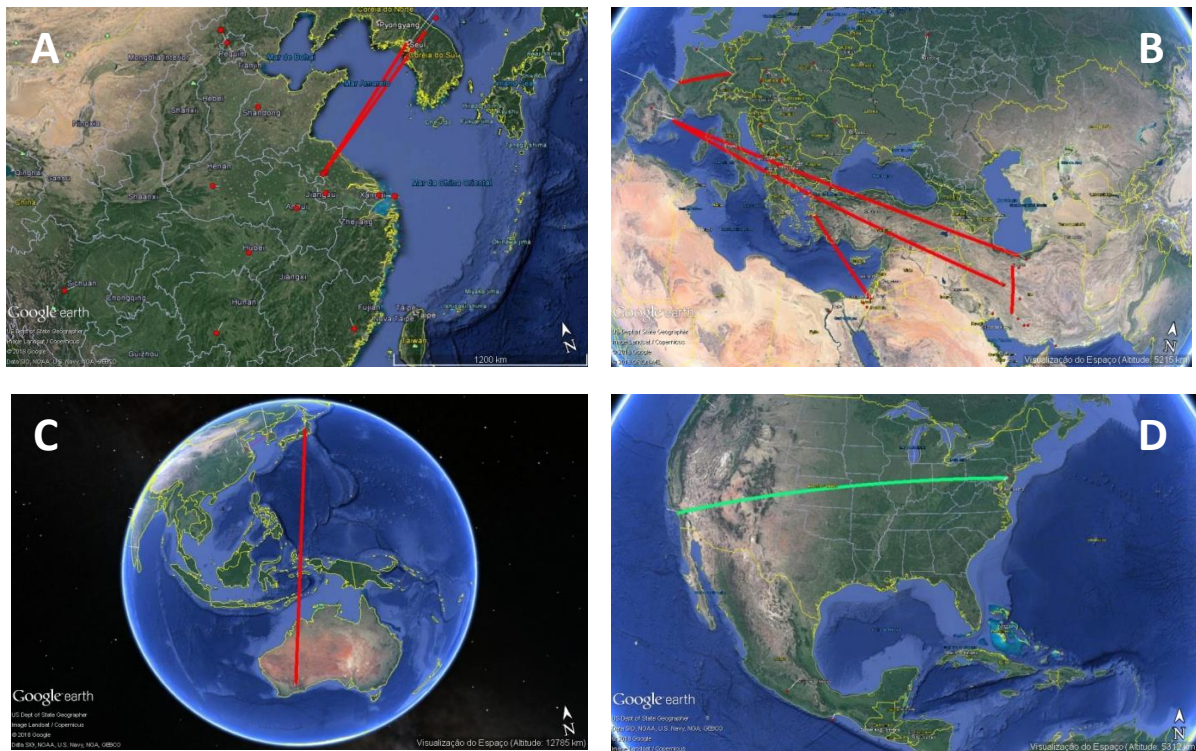
3.4.4. TiO₂

Vários autores propuseram que a eficiência do sistema US / TiO₂ não é devida apenas à geração de sítios de nucleação para bolhas de cavitação pela presença de partículas de TiO₂, mas também como resultado do efeito de sono luminescência. A sono luminescência é o fenômeno da emissão de luz do colapso de bolhas de gás conduzidas em um líquido (T. Mason & Peters, 2002). O sistema US / TiO₂ foi aplicado para a degradação de poluentes de corantes gerados nas indústrias têxteis (N. Wang, Zhu, Wang, Wang, & Tang, 2010). O sistema US / TiO₂ também tem sido utilizado com sucesso para o tratamento de diferentes poluentes orgânicos em solução aquosa (Nakajima, Sasaki, Kameshima, Okada, & Harada, 2007).

3.5. GEORREFERENCIAMENTO:

Através do software “CiteSpace®” imagem de satélites foram extraídas, para ilustrar a posicionamento dos grupos de pesquisa no globo terrestre.

Figura 8 – Georreferenciamento dos grupos de pesquisas que fazem uso de técnicas adsorptivas assistidas por US e que trocam informações entre si em diferentes partes do globo terrestre.



Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistido por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.

A Figura 8 - A ilustra as ligações entre pesquisadores que atuam nesta linha de pesquisa, podemos ver que há uma troca de informações entre a China e a Coréia do Sul. Pesquisadores franceses trocam informações com a Alemanha, como é possível ver na Figura 8 - B, a Espanha vem tendo uma participação importante no número de publicações apresenta fortes vínculos com grupos iranianos. Os grupos do Irã também fazem trocas de informações entre si. Grupos de pesquisadores israelenses fazem trabalhos em conjunto com pesquisadores turcos.

A Figura 8 - C apresenta a ligação dos pesquisadores do Japão com a Austrália, na Figura 8 - D é possível ver a ligação entre grupos distintos dos Estados Unidos da América que trocam informações entre si. A ligação presente entre a Califórnia e Washington DC está na cor verde, o que significa que não há publicações recentes destes grupos em conjunto.

3.5 MATRIZ SWOT:

Para finalizar, após a coleta destes dados presentes nos trabalhos realizou-se a elaboração de uma matriz SWOT (Figura 8) contendo os pontos positivos e negativos presente na coletânea de artigos estudos nesta revisão.

Tabela 2 - Matriz SWOT elaborada de acordo com os artigos revisados.

Matriz SWOT	
Positivo	Negativo
Forças	Fraquezas
Tratamento de Efluentes; Baixa complexidade da metodologia; Pouca toxicidade; Fácil controle.	Geração de um subproduto cerâmico contaminado.
Oportunidades	Ameaças
Metodologia eficaz para o tratamento de água; Redução de custo; Redução de produtos químicos; Possibilidade de utilizar outras técnicas em conjunto.	Viabilização de projetos em grande escala; Efeito corrosivo em metais causado pela cavitação.

4. CONCLUSÃO

Através da revisão bibliométrica foi possível avaliar os registros disponíveis no banco de dados “Web of Science”, onde se constatou que desde 1949 houve um crescimento ascendente



Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistido por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.

do número de artigos sobre o tema ultrassom no mundo. Com isto o tema desperta bastante interesse para os pesquisadores hoje em dia, principalmente no tratamento de águas residuais, onde diferentes técnicas podem ser utilizadas para melhorar a eficiência da remoção de poluentes de soluções aquosas.

Foi possível averiguar com o estudo bibliométrico que o a China é o país onde houve o maior número de publicações utilizando técnicas de adsorção assistida por ultrassom, e o Brasil foi apenas o décimo quinto com 2% do número total de publicações mundial. Ao compararmos as áreas de atuação da plataforma “*Web of Science*”, notamos que as áreas ambientais são as mais citadas, mostrando que os processos utilizando ultrassom está sendo utilizado como uma forma de tratamento de efluentes.

A bibliometria empregada no presente trabalho possibilitou destacar os 10 trabalhos mais relevantes na área de interesse, e após a avaliação dos artigos concluiu-se que diferentes técnicas são utilizadas para o tratamento de efluentes através de ondas ultrassônicas onde algumas destas técnicas e catalizadores sólidos podem ser destacados nesta área de atuação, sendo eles: Degradação Sono-Fenton, ZVI, carvão ativado e TiO_2 .

Com o uso das imagens de georreferenciamento pode-se concluir que há ligações entre distintos grupos de pesquisa, onde há a troca de informações e desenvolvem trabalhos juntos. Como esperado, pelo grande número de publicações, a China é o local onde há um maior número de grupos de pesquisa que fazem o uso de ultrassom e sistemas adsortivos.

A matriz SWOT mostrou-se uma ferramenta eficaz para sintetizar os resultados encontrados e apontou soluções para identificar problemas na metodologia empregada. Após a análise da matriz SWOT ficou claro que o estudo é viável por se tratar de uma metodologia simples, de baixa toxicidade para o meio ambiente e pelo grande volume de águas residuais hoje em dia, gerando possibilidades para solução de problemas ambientais. Sendo assim conclui-se que mesmo apresentando alguns pontos negativos, há grandes oportunidades para a linha de pesquisa.

5. REFERÊNCIAS

Ai, Z., Lu, L., Li, J., Zhang, L., Qiu, J., & Wu, M. (2007). *Fe@Fe₂O₃ Core-Shell Nanowires as Iron Reagent. 1. Efficient Degradation of Rhodamine B by a Novel Sono-Fenton Process. Journal of Physical Chemistry C - J PHYS CHEM C* (Vol. 111). doi:10.1021/jp065559l



Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistido por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.

Awual, M.R., & Hasan, M.M. (2014). Novel conjugate adsorbent for visual detection and removal of toxic lead(II) ions from water. *Microporous and Mesoporous Materials*, 196, 261–269. doi:10.1016/j.micromeso.2014.05.021

Bertocchi, G., Gambardella, A., Jappelli, T., Nappi, C.A., & Peracchi, F. (2015). Bibliometric evaluation vs. informed peer review: Evidence from Italy. *Research Policy*, 44(2), 451–466. doi:10.1016/j.respol.2014.08.004

Bonilla-Petriciolet, A., Mendoza-Castillo, D.I.V., & Reynel-A´, H.E. (2017). Adsorption: A Cost-Effective Technology for Water Treatment. In *Adsorption Processes for Water Treatment and Purification Processes for Water Treatment and Purification* (p. 12).

Borah, K.K., Bhuyan, B., & Sarma, H.P. (2010). Lead, arsenic, fluoride, and iron contamination of drinking water in the tea garden belt of Darrang district, Assam, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 169(1),347–352. doi:10.1007/s10661-009-1176-2

Chand, R., Ince, N., Gogate, P., & Bremner, D. (2009). *Phenol degradation using 20, 300 and 520kHz ultrasonic reactors with hydrogen peroxide, ozone and zero valent metals. Separation and Purification Technology* (Vol. 67). doi:10.1016/j.seppur.2009.03.035

Chaturvedi, S., & Dave, P. N. (2012). Removal of iron for safe drinking water. *Desalination*, 303, 1–11. doi:10.1016/j.desal.2012.07.003

Chen, C. (2006). CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 57(3), 359–377. doi:10.1002/asi.20317

Chen, N., Zhang, Z., Feng, C., Sugiura, N., Li, M., & Chen, R. (2010). Fluoride removal from water by granular ceramic adsorption. *Journal of Colloid and Interface Science*, 348(2), 579–584. doi:10.1016/j.jcis.2010.04.048

Chen, Y.-B., Tong, X.-F., Ren, J., Yu, C.-Q., & Cui, Y.-L. (2019). Current Research Trends in Traditional Chinese Medicine Formula: A Bibliometric Review from 2000 to 2016. *Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine (ECAM)*, 1–13. doi:10.1155/2019/3961395

Cheng, T. W., Lee, M. L., Ko, M. S., Ueng, T. H., & Yang, S. F. (2012). The heavy metal adsorption characteristics on metakaolin-based geopolymer. *Applied Clay Science*, 56, 90–96. doi:10.1016/j.clay.2011.11.027



Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistido por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.

Cho, B.-Y. (2005). Iron removal using an aerated granular filter. *Process Biochemistry*, 40(10), 3314–3320. doi:10.1016/j.procbio.2005.03.031

Chong, S., Zhang, G., Wei, Z., Zhang, N., Huang, T., & Liu, Y. (2017). Sonocatalytic degradation of diclofenac with FeCeOx particles in water. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 418–425. doi:10.1016/j.ultsonch.2016.06.023

Cui, M., Choi, J., Lee, Y., Ma, J., Kim, D., Choi, J., ... Khim, J. (2017). Significant enhancement of bromate removal in drinking water: Implications for the mechanism of sonocatalytic reduction. *Chemical Engineering Journal*, 317, 404–412. doi:10.1016/j.cej.2017.02.051

Cui, W., Li, P., Wang, Z., Zheng, S., & Zhang, Y. (2017). Adsorption study of selenium ions from aqueous solutions using MgO nanosheets synthesized by ultrasonic method. *Journal of Hazardous Materials* (Vol. 341). doi:10.1016/j.jhazmat.2017.07.073

Dai, Y., Li, F., Ge, F., Zhu, F., Wu, L., & Yang, X. (2006). Mechanism of the enhanced degradation of pentachlorophenol by ultrasound in the presence of elemental iron. *Journal of Hazardous Materials*, 137(3), 1424–1429. doi:10.1016/j.jhazmat.2006.04.025

Demir, N., Gündüz, G., & Dükkancı, M. (2015). Degradation of a textile dye, Rhodamine 6G (Rh6G), by heterogeneous sonophotoFenton process in the presence of Fe-containing TiO₂ catalysts. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(5), 3193–3201. doi:10.1007/s11356-014-2868-x

Dong Chen. (2012). Applications of Ultrasound in Water and Wastewater Treatment. In *Handbook on Applications of Ultrasonics Sonochemistry for Sustainability* (pp. 373–399).

Entezari, M. H., & Kruus, P. (1994). Effect of frequency on sonochemical reactions. I: Oxidation of iodide. *Ultrasonics Sonochemistry*, 1(2), S75–S79. doi:10.1016/1350-4177(94)90001-9

Fu, F., & Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 407–418. doi:10.1016/j.jenvman.2010.11.011

Ge, F., Li, M.-M., Ye, H., & Zhao, B.-X. (2012). Effective removal of heavy metal ions Cd²⁺, Zn²⁺, Pb²⁺, Cu²⁺ from aqueous solution by polymer-modified magnetic nanoparticles. *Journal of Hazardous Materials*, 211–212, 366–372. doi:10.1016/j.jhazmat.2011.12.013



- Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistido por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.
- Ghosh, D., Solanki, H., & Purkait, M. K. (2008). Removal of Fe(II) from tap water by electrocoagulation technique. *Journal of Hazardous Materials*, 155(1), 135–143. doi:10.1016/j.jhazmat.2007.11.042
- Ityel, D. (2011). Ground water: Dealing with iron contamination. *Filtration & Separation*, 48(1), 26–28. doi:10.1016/S0015-1882(11)70043-X
- Jiang, M., Qi, Y., Liu, H., & Chen, Y. (2018). *The Role of Nanomaterials and Nanotechnologies in Wastewater Treatment: a Bibliometric Analysis*. *Nanoscale Research Letters* (Vol. 13). doi:10.1186/s11671-018-2649-4
- Kazakis, N. A. (2014). Bibliometric evaluation of the research performance of the Greek civil engineering departments in National and European context. *Scientometrics*, 101(1), 505–525. doi:10.1007/s11192-014-1326-3
- Kheirandish, S., Ghaedi, M., Dashtian, K., Janesar, R., Montazerzohori, M., Pourebrahim, F., & Zare, M. (2017). *Simultaneous removal of Cd(II), Ni(II), Pb(II) and Cu(II) ions via their complexation with HBANSA based on a combined ultrasound-assisted and cloud point adsorption method using CSG-BiPO 4 /FePO 4 as novel adsorbent: FAAS detection and optimization proces*. *Journal of Colloid and Interface Science* (Vol. 500). doi:10.1016/j.jcis.2017.03.070
- Komkiene, J., & Baltreinaite, E. (2016). Biochar as adsorbent for removal of heavy metal ions [Cadmium(II), Copper(II), Lead(II), Zinc(II)] from aqueous phase. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(2), 471–482. doi:10.1007/s13762-015-0873-3
- Li, J.-T., Li, M., Li, J.-H., & Sun, H.-W. (2007). Decolorization of azo dye direct scarlet 4BS solution using exfoliated graphite under ultrasonic irradiation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 14(2), 241–245. doi:10.1016/j.ultsonch.2006.04.005
- Li, X., Zhou, H., Wu, W., Wei, S., Xu, Y., & Kuang, Y. (2015). Studies of heavy metal ion adsorption on Chitosan/Sulfydryl-functionalized graphene oxide composites. *Journal of Colloid and Interface Science*, 448, 389–397. doi:10.1016/j.jcis.2015.02.039
- Li, Z., Jiang, W.-T., Jean, J.-S., Hong, H., Liao, L., & Lv, G. (2011). Combination of hydrous iron oxide precipitation with zeolite filtration to remove arsenic from contaminated water. *Desalination*, 280(1), 203–207. doi:10.1016/j.desal.2011.07.009
- Liu, Hai, Liu, W., Zhang, J., Zhang, C., Ren, L., & Li, Y. (2011). Removal of cephalexin



Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistido por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.

from aqueous solutions by original and Cu(II)/Fe(III) impregnated activated carbons developed from lotus stalks Kinetics and equilibrium studies. *Journal of Hazardous Materials*, 185(2), 1528–1535. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.10.081

Liu, Haining, Li, G., Qu, J., & Liu, H. (2007). Degradation of azo dye Acid Orange 7 in water by Fe0/granular activated carbon system in the presence of ultrasound. *Journal of Hazardous Materials*, 144(1), 180–186. doi:10.1016/j.jhazmat.2006.10.009

Lovegrove, B. G., & Johnson, S. D. (2008). Assessment of Research Performance in Biology: How Well Do Peer Review and Bibliometry Correlate? *BioScience*, 58(2), 160–164. doi:10.1641/B580210

Mason, T. J. (2000). Large scale sonochemical processing: aspiration and actuality. *Ultrasonics Sonochemistry*, 7(4), 145–149. doi:10.1016/S1350-4177(99)00041-3

Mason, T. J., & Lorimer, J. P. (2002). *Applied Sonochemistry: The uses of power ultrasound in chemistry and processing*. London, UK, Wiley VCH.

Mason, T. J., & Tiehm, A. (2006). *ADVANCES IN SONOCHEMISTRY*. London, UK: JAI Press.

Mason, T., & Peters, D. (2002). *Practical Sonochemistry: Uses and Applications of Ultrasound*. *Practical Sonochemistry: Uses and Applications of Ultrasound* (2nd ed.). doi:10.1533/9781782420620.frontmatter

Melero, J. A., Martínez, F., Molina, R., & Segura, Y. (2012). Role of Heterogeneous Catalysis in the Sonocatalytic Degradation of Organic Pollutants in Wastewater. In dong CHE, sAnjAy K. sHArMA, & ACKmez mUdHoo (Eds.), *Handbook on Applications of UltrAsoUnd Sonochemistry for Sustainability* (1st ed., pp. 419–441).

Mirzakhani, M., Parsaamal, E., Golzar, A.B.T.-G.B., & M.R.A.I.J. (2014). Strategy formulation with SWOT matrix: a case study of an Iranian Company, 6(2), 150+. from <http://link.galegroup.com/apps/doc/A390091130/AONE?u=capes&sid=AONE&xid=e10a32fd>

Mousavi, M. F., & Ghasemi, S. (2010). Sonochemistry: a suitable method for synthesis of nano-structured materials. In *sonochemistry: theory, reactions, syntheses, and applications* (pp. 8–19).

Nakajima, A., Sasaki, H., Kameshima, Y., Okada, K., & Harada, H. (2007). Effect of TiO₂ powder addition on sonochemical destruction of 1,4-dioxane in aqueous systems. *Ultrasonics Sonochemistry*, 14(2), 197–200. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2006.06.001>

Pereira Vistuba, J., Nagel-Hassemer, M. E., Lapolli, F., & Lobo-Recio, M. (2012). *Simultaneous adsorption of iron and manganese from aqueous solutions employing an adsorbent coal*. *Environmental technology* (Vol. 34). doi:10.1080/09593330.2012.692716

Priego-Capote, F., & Castro, M. (2004). *Analytical uses of ultrasound - I. Sample preparation*. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* (Vol. 23). doi:10.1016/j.trac.2004.06.006



Citação (APA): Cararo, E.C., Vicente, M.de A., & Santos, M.de F.P.dos. (2019). Análise de literatura (artigos) sobre o processo de remoção de ferro em água por adsorção assistido por ultrassom. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 155-178.

Schubert, A., & Braun, T. (1986). Relative indicators and relational charts for comparative assessment of publication output and citation impact. *Scientometrics*, 9(5), 281–291. h doi:10.1007/BF02017249

Soosaraei, M., Khasseh, A. A., Fakhar, M., & Hezarjaribi, H. Z. (2018). A decade bibliometric analysis of global research on leishmaniasis in Web of Science database. *Annals of Medicine and Surgery*, 26, 30–37. doi:10.1016/j.amsu.2017.12.014

Ursachi, I., Stancu, A., & Vasile, A. (2012). Magnetic α -Fe₂O₃/MCM-41 nanocomposites: Preparation, characterization, and catalytic activity for methylene blue degradation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 377(1), 184–190. doi:10.1016/j.jcis.2012.03.066

Wang, N., Zhu, L., Wang, M., Wang, D., & Tang, H. (2010). Sono-enhanced degradation of dye pollutants with the use of H₂O₂ activated by Fe₃O₄ magnetic nanoparticles as peroxidase mimetic. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17(1), 78–83. doi:10.1016/j.ultsonch.2009.06.014

Wang, X., Liu, W., Tian, J., Zhao, Z., Hao, P., Kang, X., ... Liu, H. (2014). Cr(vi), Pb(ii), Cd(ii) adsorption properties of nanostructured BiOBr microspheres and their application in a continuous filtering removal device for heavy metal ions. *Journal of Materials Chemistry A*, 2(8), 2599–2608. doi:10.1039/c3ta14519k

Xiao, K., Xu, F., Jiang, L., Dan, Z., & Duan, N. (2016). The oxidative degradation of polystyrene resins on the removal of Cr(VI) from wastewater by anion exchange. *Chemosphere*, 156, 326–333. doi:10.1016/j.chemosphere.2016.04.116

Xu, H., Xie, J., Ma, Y., Qu, Z., Zhao, S., Chen, W., ... Yan, N. (2015). The cooperation of FeSn in a MnO_x complex sorbent used for capturing elemental mercury. *Fuel*, 140, 803–809. doi:10.1016/j.fuel.2014.10.004

Xu, J., Hao, Z., Xie, C., Lv, X., Yang, Y., & Xu, X. (2012). Promotion effect of Fe²⁺ and Fe₃O₄ on nitrate reduction using zero-valent iron. *Desalination*, 284, 9–13. doi:10.1016/j.desal.2011.08.029

Zhang, L., Zhou, Q., Liu, J., Chang, N., Wan, L., & Chen, J. (2012). Phosphate adsorption on lanthanum hydroxide-doped activated carbon fiber. *Chemical Engineering Journal* (Vol. s 185–186). doi:10.1016/j.cej.2012.01.066

Zhang, S., Mao, G., Crittenden, J., Liu, X., & Du, H. (2017). Groundwater remediation from the past to the future: A bibliometric analysis. *Water Research*, 119, 114–125. doi:10.1016/j.watres.2017.01.029

Zhang, Y., Hua, W., & Yuan, S. (2018). Mapping the scientific research on open data: A bibliometric review. *Learned Publishing*, 31(2), 95–106. from <http://10.0.3.234/leap.1110>

Ziylan Yavas, A., Koltypin, Y., Gedanken, A., & Ince, N. (2012). More on sonolytic and sonocatalytic decomposition of Diclofenac using zero-valent iron. *Ultrasonics sonochemistry* (Vol. 20). doi:10.1016/j.ultsonch.2012.05.005

