

**Uma análise bibliométrica sobre a remoção/recuperação de amônia de águas residuais  
através da precipitação em estruvita**

**A bibliometric analysis on the removal/recovery of ammonia from wastewater through  
precipitation in struvite**

**Un análisis bibliométrico de la eliminación / recuperación de amoníaco de las aguas  
residuales a través de la precipitación de estruvita**

Recebido: 30/06/2020 | Revisado: 13/07/2020 | Aceito: 17/08/2020 | Publicado: 22/08/2020

**Thales Rodrigues Barboza**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4783-1106>

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: [thalesrodriguesb@gmail.com](mailto:thalesrodriguesb@gmail.com)

**Rodrigo Randow de Freitas**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0170-6892>

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: [digorandow@gmail.com](mailto:digorandow@gmail.com)

**Paulo Sérgio da Silva Porto**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6486-7813>

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: [pssporto@gmail.com](mailto:pssporto@gmail.com)

**Resumo**

Este artigo tem como objetivo apresentar um levantamento das publicações que fazem referência ao estudo da remoção/recuperação de amônia de águas residuais através da precipitação em estruvita, no sentido de buscar estudos recentes, deste século, e apresentar um portfólio atualizado para pesquisas futuras. Para a pesquisa foi utilizado a base de dados *Web of Science* onde foi realizada uma análise qualitativa a respeito dos artigos selecionados. Além da análise qualitativa, foi realizada uma análise bibliométrica de citação e cocitação por meio do software *CiteSpace* verificando uma rede de colaborações. Dentre os 11 periódicos selecionados, a revista de maior destaque em relação à temática é a *ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY*. É observado que a China tem se destacado neste assunto. Os resultados demonstram que os estudos analisados tem buscado por reagentes de baixo custo e ao mesmo

tempo empregando a precipitação em estruvita em diversos tipos de águas residuais industriais que apresentam altas concentrações de amônia.

**Palavras-chave:** Eutrofização; Cristalização; MAP; Base de dados.

### **Abstract**

This paper aims to present a survey of publications that refer to the study of ammonia removal / recovery from wastewater through struvite precipitation, in order to seek recent studies of this century, and present an updated portfolio for future research. For the research, the *Web of Science* database was used, where a qualitative analysis was performed regarding the selected articles. In addition to the qualitative analysis, a bibliometric analysis of quotation and quotation was performed using the CiteSpace software and a network of collaborations was verified. Among the 11 selected journals, the most prominent magazine in relation to the theme is ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY. It is observed that China has excelled in this matter. The results demonstrate that the studies analyzed have been looking for low cost reagents and at the same time employing struvite precipitation in different types of wastewater that have high concentrations of ammonia.

**Keywords:** Eutrophication; Crystallization; MAP; Data base.

### **Resumen**

Este artículo tiene como objetivo presentar una encuesta de publicaciones que se refieren al estudio de la eliminación / recuperación de amoníaco de las aguas residuales a través de la precipitación de estruvita, con el fin de buscar estudios recientes de este siglo, y presentar una cartera actualizada para futuras investigaciones. Para la investigación, se utilizó la base de datos de *Web of Science*, donde se realizó un análisis cualitativo con respecto a los artículos seleccionados. Además del análisis cualitativo, se realizó un análisis bibliométrico de cita y cita usando el software *CiteSpace* para verificar una red de colaboraciones. Entre las 11 revistas seleccionadas, la revista más destacada en relación con el tema es la ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY. Se observa que China se ha destacado en este asunto. Los resultados demuestran que los estudios analizados han buscado reactivos de bajo costo y al mismo tiempo empleando precipitación de estruvita en varios tipos de aguas residuales industriales que tienen altas concentraciones de amoníaco.

**Palabras clave:** Eutrofización; Cristalización; MAP; Base de datos.

## 1. Introdução

A eutrofização pode ser um problema ambiental causado pelo incremento de nutrientes, como o nitrogênio e fósforo, em ecossistemas aquáticos onde ocorre o despejo de águas residuais sem o devido tratamento (Costa et al., 2018), por isso, a remoção desses nutrientes das águas residuais tem sido motivo de grande preocupação por várias décadas (Huang et al., 2016).

O nitrogênio é encontrado nessas águas na forma de amônia, provinda de esgoto sanitário, resultado direto de descargas de efluentes domésticos e industriais, da hidrólise da ureia e da degradação biológica de aminoácidos e outros compostos orgânicos nitrogenados (Reis & Mendonça, 2009).

A amônia apresenta-se tanto em solução na forma de íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) como na forma livre, sendo não ionizada ( $\text{NH}_3$ ). Sabe-se que quanto maior a concentração de amônia na forma ionizada menor será a concentração de amônia livre e em baixas concentrações causa toxicidade aos peixes (Mota & Sperling, 2009), pois, a amônia difunde-se facilmente através das membranas respiratórias, causando danos ao epitélio branquial e, dificultando as trocas gasosas entre o animal e a água, desestabilizando o sistema de osmorregulação (Piedras et al., 2006).

Para recuperar e reduzir a concentração de amônia das águas residuais, existe a possibilidade de precipita-la na forma de estruvita (Stolzenburg et al., 2015). A estruvita, denominada fosfato de magnésio e amônio hexa-hidratado (MAP) ( $\text{Mg NH}_4 \text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), é um mineral cristalino inorgânico branco de estrutura ortorrômbica, que pode ser usado como fertilizante de liberação lenta, auxiliando no crescimento de plantas (El Diwani et al., 2007; Kwon et al., 2018).

Devido a demanda no tratamento das águas residuais e a recuperação dos nutrientes presentes, este estudo tem por objetivo apresentar uma revisão bibliométrica, utilizando a base de dados da *Web of Science*, afim de levantar um portfólio de artigos que estejam atrelados a “remoção/recuperação de amônia de águas residuais através da precipitação em estruvita” e servir de consulta para futuras pesquisas, facilitando o acesso a literaturas que tratam diretamente do tema, pois muito tem visto a respeito da recuperação de fósforo e quase nada sobre a recuperação da amônia.

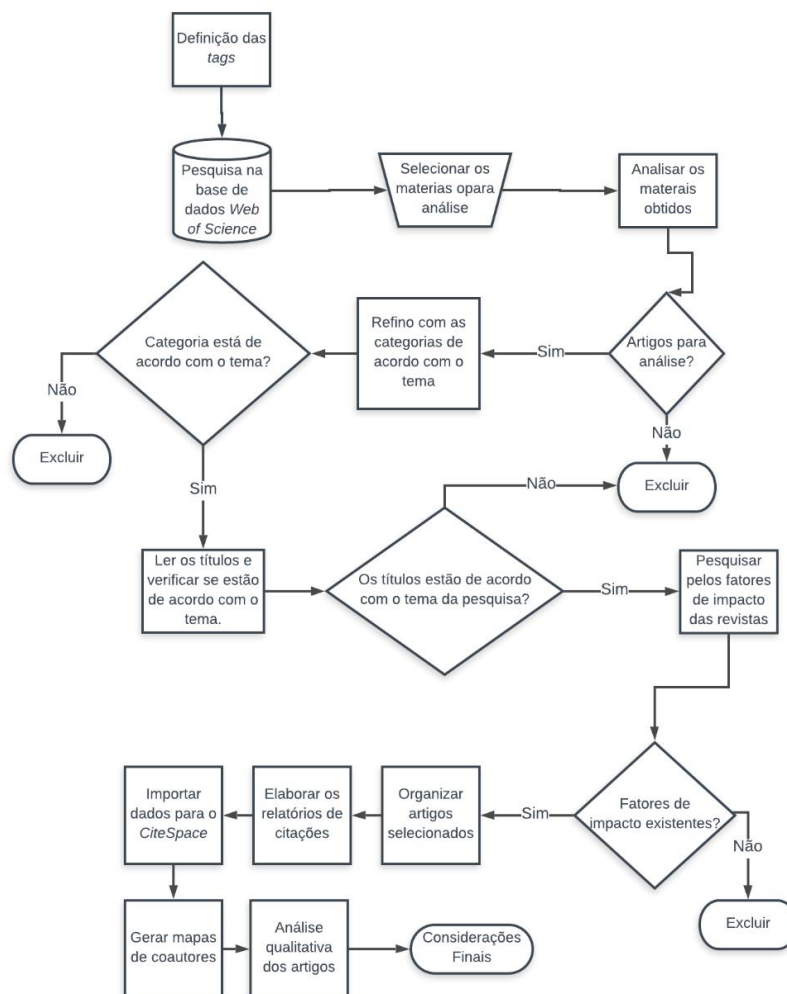
## 2. Metodologia

A metodologia é nada mais que o estudo dos princípios e métodos de pesquisa que são utilizados para se chegar até o objetivo determinado, utilizando de técnicas apropriadas para esse fim (Laville & Dionne, 1999).

O artigo é por base uma pesquisa exploratória e descritiva, com o objetivo de descrever ou caracterizar a natureza das variáveis que se quer conhecer e que procura descobrir com que frequência um fenômeno ocorre, sua natureza, causas, relações e conexões com outros fenômenos (Barros & Leheld, 2000, Köche, 2015).

Na Figura 1 é possível observar as etapas realizadas para chegar até as considerações finais na análise, foram realizadas conforme Barboza e Freitas (2019) e cada etapa será apresentada com clareza nas próximas seções.

**Figura 1** - Fluxograma do processo de obtenção de dados para análise final.



Fonte: Adaptado de (Barboza & Freitas, 2019).

O fluxograma (Figura 1) foi utilizado como guia para alcançar os objetivos deste estudo e serve como parâmetro detalhado das decisões impostas no artigo e os meios utilizados para a obtenção de um portfólio válido. Para esta análise, somente o *Web of Science* serviu de base de dados para a pesquisa, o que sugere que pesquisas diferentes podem ser feitas utilizando base de dados distintas.

### **2.1. Definição de palavras-chave e pesquisa em base de dados**

A pesquisa bibliométrica com tema “remoção/recuperação de amônia de águas residuais através da precipitação em estruvita”, teve início através da escolha da base de dados que restringe a amostra de artigos a serem considerados durante o processo. Foi utilizado a base de dados da *Web of Science*, por apresentar credibilidade ao meio acadêmico com periódicos que se destacam, pois apresentam estudos relevantes, e também por ser reconhecida mundialmente.

Com um período de abrangência das publicações de 2000 até março de 2020, foram formuladas quatro palavras chaves com o intuito de buscar o maior número de artigos relacionados ao tema. As palavras foram dispostas no site e foi discernido que as mesmas estivessem dentro do título de artigo, possibilitando uma busca mais refinada do assunto abordado. As palavras-chave utilizadas foram *struvite*, *recovery*, *removed* e *ammonia*.

Após definição da base de dados e a escolha das palavras-chave, foi possível dar prosseguimento a pesquisa com o intuito de fazer o levantamento dos artigos a serem analisados para alcançar o objetivo.

Após a separação dos artigos, buscou-se realizar um relatório de citações e também uma análise qualitativa de artigos selecionados dentro do portfólio. Também se utilizou do software *CiteSpace* para verificar a correlação geral das redes de cocitação.

## **3. Resultados e Discussão**

### **3.1. Seleção de materiais para composição do portfólio**

A seleção de materiais seguiu os mesmos passos demonstrados por Barboza e Freitas (2019). Após definir as palavras-chave e considerar este século como variação temporal das publicações, a base de dados (*Web of Science*) retornou como resultado da busca cerca de 12 arquivos para análise, com a primeira publicação ocorrendo em junho de 2000.

Após as pesquisas feitas pelas palavras-chave, foi realizada uma pequena seleção, onde buscou somente publicações de artigos da base de dados *Web of Science*, pois, na primeira pesquisa foi mostrado todos os tipos de publicações. Após realizado o refino que separou somente para análise os artigos, verificou-se que 1 publicação não era artigo e foi retirada do portfólio, restando somente 11 publicações.

Após a escolha de analisar somente artigos, verificou-se as categorias e foi observado que todas as categorias estavam de acordo com o tema proposto, sendo essas *environmental sciences, engineering chemical, engineering environmental, water resources, agricultural engineering, biotechnology applied microbiology, energy fuels, green sustainable science technolog..* Logo os 11 artigos permaneceram para serem analisados.

Os títulos dos artigos foram analisados, e verificou-se que todos estavam dentro do objetivo da pesquisa.

Para análise final do portfólio, optou-se por buscar artigos que somente estivessem publicados em revistas com fator de impacto, que foram publicados por meio da plataforma JCR (*Journal Citation Report*). Feito essa análise observou-se que todas as revistas estavam dentro da plataforma JCR, logo os 11 artigos permaneceram para análise (Tabela 1).

**Tabela 1** - Lista dos artigos selecionados para o portfólio.

---

Çelen, I., & Türker, M. (2001). Recovery of ammonia as struvite from anaerobic digester effluents. **Environmental Technology** (United Kingdom), 22(11), 1263–1272. <https://doi.org/10.1080/09593332208618192>

---

El Diwani, G., El Rafie, S., El Ibiari, N. N., & El-Aila, H. I. (2007). Recovery of ammonia nitrogen from industrial wastewater treatment as struvite slow releasing fertilizer. **Desalination**, 214(1–3), 200–214. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.08.019>

---

Hidalgo, D., Corona, F., Martín-Marroquín, J. M., del Álamo, J., & Aguado, A. (2016). Resource recovery from anaerobic digestate: struvite crystallisation versus ammonia stripping. **Desalination and Water Treatment**, 57(6), 2626–2632. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.1001794>

---

Huang, H., Yang, J., & Li, D. (2014). Recovery and removal of ammonia-nitrogen and phosphate from swine wastewater by internal recycling of struvite chlorination product. **Bioresource Technology**, 172(2014), 253–259. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.024>

Huang, H., Zhang, P., Zhang, Z., Liu, J., Xiao, J., & Gao, F. (2016). Simultaneous removal of ammonia nitrogen and recovery of phosphate from swine wastewater by struvite electrochemical precipitation and recycling technology. **Journal of Cleaner Production**, 127, 302–310. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.002>

Kwon, G., Kang, J., Nam, J. H., Kim, Y. O., & Jahng, D. (2018). Recovery of ammonia through struvite production using anaerobic digestate of piggery wastewater and leachate of sewage sludge ash. **Environmental Technology** (United Kingdom), 39(7), 831–842. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1312550>

Lind, B. B., Ban, Z., & Bydén, S. (2000). Nutrient recovery from human urine by struvite crystallization with ammonia adsorption on zeolite and wollastonite. **Bioresource Technology**, 73(2), 169–174. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)90157-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)90157-8)

Siciliano, A., & Rosa, S. De. (2014). Recovery of ammonia in digestates of calf manure through a struvite precipitation process using unconventional reagents. **Environmental Technology**, 35(7), 841–850. <https://doi.org/10.1080/09593330.2013.853088>

Wang, W., Ren, X., Yang, K., Hu, Z., & Yuan, S. (2017). Inhibition of ammonia on anaerobic digestion of synthetic coal gasification wastewater and recovery using struvite precipitation. **Journal of Hazardous Materials**, 340, 152–159. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.07.002>

Xu, K., Zhang, C., Li, J., Cheng, X., & Wang, C. (2017). Removal and recovery of N, P and K from urine via ammonia stripping and precipitations of struvite and struvite-K. **Water Science and Technology**, 75(1), 155–164. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.494>

Zhao, X., Tu, C., Zhou, Z., Zhang, W., Ma, X., & Yang, J. (2019). Recovery of ammonia nitrogen and magnesium as struvite from wastewaters in coal-fired power plant. **Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering**, 14(5), 1–9. <https://doi.org/10.1002/apj.2355>

Adaptado de: *Web of Science*.

Na Tabela 1 são apresentadas as referências que fazem parte do portfólio final de análise. Esse portfólio é composto por 11 artigos que se relatam o tema abordado. Para alcançar esse resultado é necessário seguir corretamente todos os passos aplicados até o momento, caso contrário, não obterá êxito.

### 3.2. Considerações Finais

A análise bibliométrica dos artigos selecionados para compor o portfólio de referencial teórico foram divididos em duas partes, sendo uma de relatório de citações e outra com a análise qualitativa dos artigos selecionados.

No Relatório de citações é mostrado a relação dos artigos, quantidade de publicações e número de citações por ano, países e periódicos que mais publicam, fator de impacto e categorias escolhidas no *Web of Sciences*.

Na análise qualitativa, é mostrado o que os autores estão relatando a respeito do tema e qual o grau de importância dos estudos realizados.

#### 3.2.1. Relatório de Citações

Nesta seção são abordados vários aspectos que relacionam de forma macro os artigos selecionados para análise, sendo apresentados a seguir.

Na Tabela 2, pode-se observar a relação dos artigos com os números de citações, sendo um total de 462 citações com média de 42 citações por artigo. A relação se baseia em artigos publicados de 2000 até a presente data desta pesquisa (março de 2020). Estes artigos foram dispostos na tabela de forma decrescente, mostrando o artigo que tem o maior número de citações até o que apresenta o menor número.

**Tabela 2** - Relação dos artigos com número de citações.

<b>Título</b>	<b>Título da Fonte</b>	<b>Ano da Publicação</b>	<b>Total de Citações</b>
<b>RECOVERY OF AMMONIA NITROGEN FROM INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT AS STRUVITE SLOW RELEASING FERTILIZER</b>	<i>Desalination</i>	<b>2007</b>	<b>120</b>
<b>NUTRIENT RECOVERY FROM HUMAN URINE BY STRUVITE CRYSTALLIZATION WITH AMMONIA ADSORPTION ON</b>	<i>Bioresource technology</i>	<b>2000</b>	<b>120</b>



**ZEOLITE AND  
WOLLASTONITE**

<b>RECOVERY OF AMMONIA AS STRUVITE FROM ANAEROBIC DIGESTER EFFLUENTS</b>	<i>Environmental technology</i>	<b>2001</b>	<b>67</b>
<b>SIMULTANEOUS REMOVAL OF AMMONIA NITROGEN AND RECOVERY OF PHOSPHATE FROM SWINE WASTEWATER BY STRUVITE ELECTROCHEMICAL PRECIPITATION AND RECYCLING TECHNOLOGY</b>	<i>Journal of cleaner production</i>	<b>2016</b>	<b>48</b>
<b>RECOVERY AND REMOVAL OF AMMONIA-NITROGEN AND PHOSPHATE FROM SWINE WASTEWATER BY INTERNAL RECYCLING OF STRUVITE CHLORINATION PRODUCT</b>	<i>Bioresource technology</i>	<b>2014</b>	<b>46</b>
<b>RECOVERY OF AMMONIA IN DIGESTATES OF CALF MANURE THROUGH A STRUVITE PRECIPITATION PROCESS USING UNCONVENTIONAL REAGENTS</b>	<i>Environmental technology</i>	<b>2007</b>	<b>26</b>
<b>INHIBITION OF AMMONIA ON ANAEROBIC DIGESTION OF SYNTHETIC COAL GASIFICATION WASTEWATER AND RECOVERY USING STRUVITE PRECIPITATION</b>	<i>Journal of hazardous materials</i>	<b>2017</b>	<b>12</b>
<b>REMOVAL AND RECOVERY OF</b>	<i>Water science and</i>	<b>2017</b>	<b>11</b>

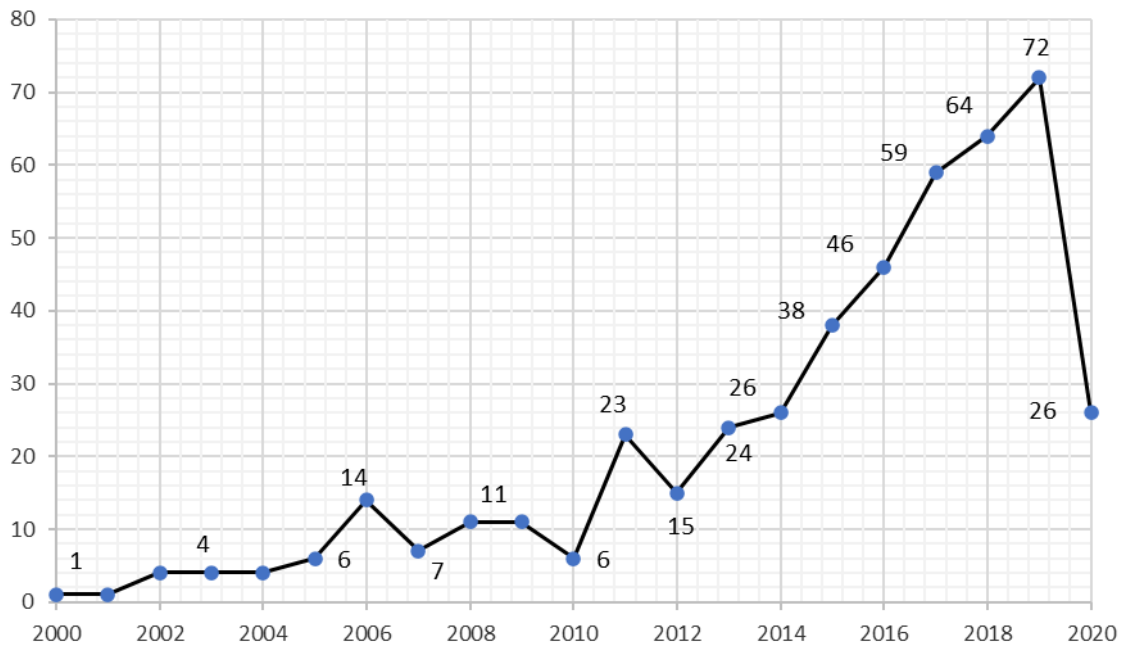
<b>N, P AND K FROM URINE VIA AMMONIA STRIPPING AND PRECIPITATIONS OF STRUVITE AND STRUVITE-K</b>	<i>technology</i>		
<b>RECOVERY OF AMMONIA THROUGH STRUVITE PRODUCTION USING ANAEROBIC DIGESTATE OF PIGGERY WASTEWATER AND LEACHATE OF SEWAGE SLUDGE ASH</b>	<i>Environmental technology</i>	<b>2018</b>	<b>6</b>
<b>RESOURCE RECOVERY FROM ANAEROBIC DIGESTATE: STRUVITE CRYSTALLISATION VERSUS AMMONIA STRIPPING</b>	<i>Desalination and water treatment</i>	<b>2014</b>	<b>6</b>
<b>RECOVERY OF AMMONIA NITROGEN AND MAGNESIUM AS STRUVITE FROM WASTEWATERS IN COAL-FIRED POWER PLANT</b>	<i>Asia-pacific journal of chemical engineering</i>	<b>2019</b>	<b>0</b>

Adaptado de: *Web of Science*.

Ao observar a relevância acadêmica dos artigos, no aspecto de publicações por ano, observa-se que dentre os 11 artigos analisados, foi publicado basicamente um artigo por ano (2000, 2001, 2007, 2016 e 2019) e dois artigos nos anos de 2014, 2016 e 2017. Fato demonstra que a abordagem científica se encontra muito tímida, o que pode dificultar embasamentos científicos no tema abordado.

Outra análise realizada foi utilizando o número de citações dos artigos selecionados para análise (Figura 2), pois, verifica-se que de 2000 até 2010, os mesmos não foram muito citados e a partir de 2011 é observado um crescimento considerável. Tal crescimento pode ser explicado pela preocupação ambiental com os recursos hídricos, visto a escassez de água potável no mundo.

**Figura 2** - Número de citações por ano.

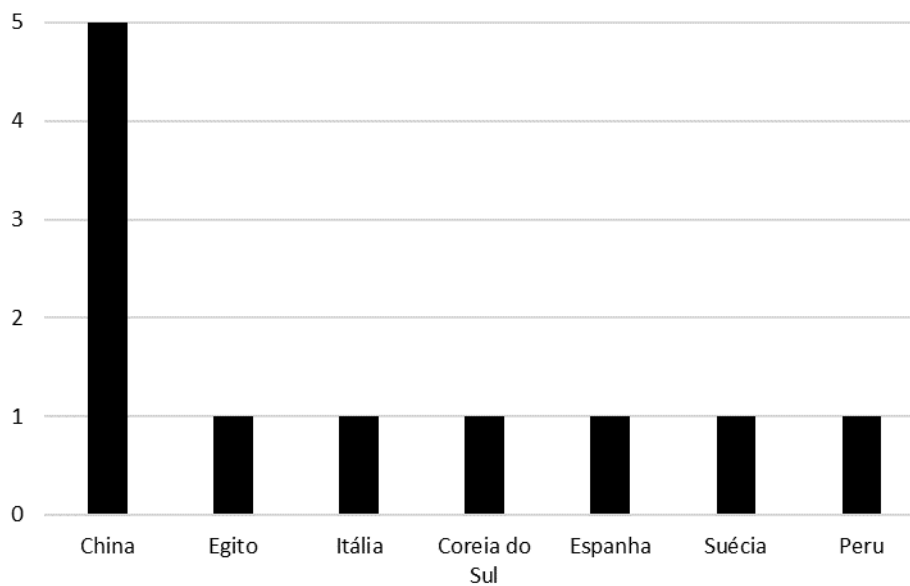


Adaptado de: *Web of Science*.

Na Figura 3, é possível observar que a China representa o país com maior número de artigos publicados e que o Brasil não apresenta nenhuma publicação entre os artigos selecionados. O fato de a China estar em destaque, é justificado pelo avanço em pesquisas para tratar as águas residuais e evitar que sejam lançadas em seus rios, pois a mesma apresenta bastante problemas com seus recursos hídricos, sendo que metade deles se encontram poluídos, apresentando serem problemas bem complexos, pois as causas podem ser (Gall, 2012):

- (1) desvalorização, desperdício e uso excessivo;
- (2) rápido esgotamento dos grandes reservatórios subterrâneos acumulados ao longo de milhares de anos;
- (3) erosão, desmatamento e assoreamento dos rios;
- (4) deterioração da infraestrutura de irrigação
- (5) poluição dos rios e lençóis freáticos por resíduos agrícolas, industriais e domésticos.

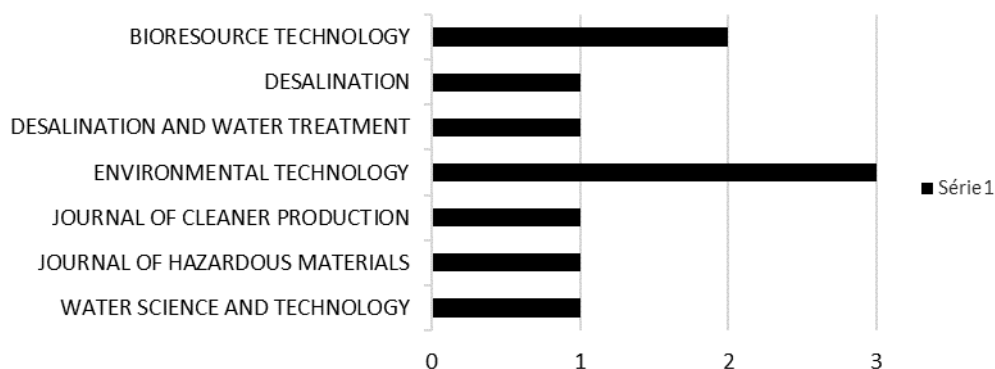
**Figura 3** - Relação de países dos autores das publicações.



Adaptado de: *Web of Science*.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é possível observar que o periódico que mais tem publicações sobre o tema é o “*ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY*” com cerca de três artigos. A revista possui foco em pesquisas relacionadas a agricultura, biologia e ciências do ambiente com conteúdos atuais em tecnologia da engenharia e ciências aplicada.

**Figura 4** - Quantidade de artigos publicados em cada periódico.

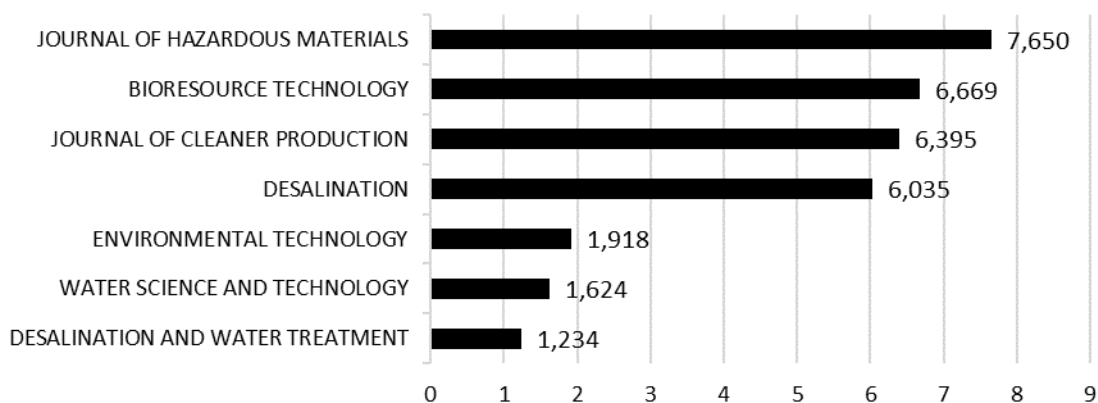


Adaptado de: *Web of Science*.

Na Figura 5, é feito um levantamento sobre o fator de impacto, que é uma ferramenta útil para avaliar os periódicos científicos e a produtividade intelectual (Portugal, Branca, & Rodrigues, 2011). Vale ressaltar que o fator de impacto só é válido até a data da pesquisa. Observa-se que a revista “*JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS*” tem se destacado com

um fator de impacto maior quando comparado com as outras revistas relacionadas na pesquisa. A revista publica artigos nas áreas de Ciência e Engenharia Ambiental. As publicações podem ser através de trabalhos completos, artigos de revisão e perspectivas que aprimoram nossa compreensão dos perigos e riscos que determinados materiais representam para a saúde pública e o meio ambiente.

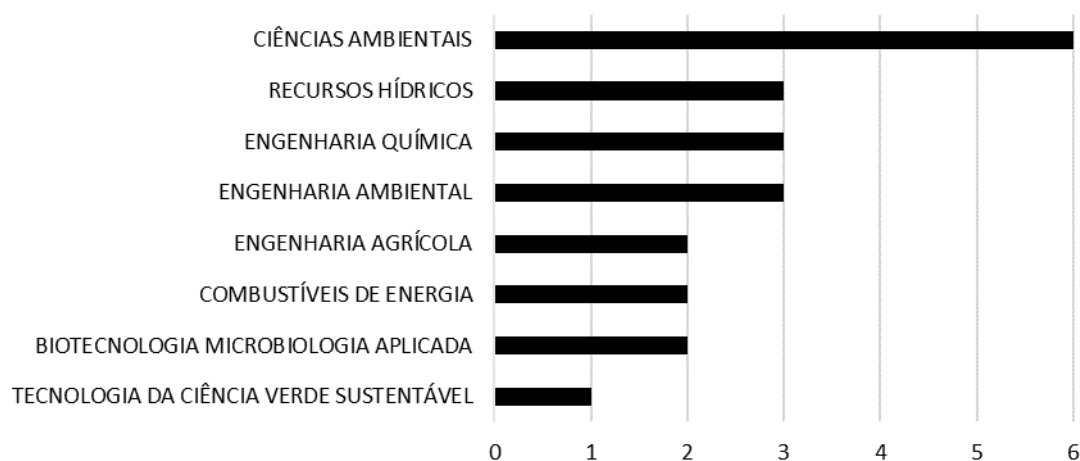
**Figura 5** - Fator de impacto dos periódicos.



Adaptado de: *Web of Science*.

Na Figura 6 é mostrado a quantidade de artigos publicados por categorias. Tais categorias são determinadas pelo próprio *Web of Science*. Verifica-se que a categoria que apresenta maior número de artigos publicados é na área de Ciências Ambientais, representando 6 artigos dentre os 11 artigos selecionados, o que comprova o foco dos artigos analisados no quesito ambiental.

**Figura 6** - Quantidade de artigos publicados por categoria do *Web of Science*.



Adaptado de: *Web of Science*.

Uma análise foi realizada para verificara a rede de cocitação entre os autores dos artigos da amostra. Na Figura 7 observa-se uma rede com 162 nós, ou seja, referências, 570 links de cocitações divididos em 27 *clusters* com módulo de 0,8203, indicando que representa uma quantidade muito boa de ligação entre os *clusters*. Já a densidade foi de 0,0411, indicando que apenas 4,11% de todas as conexões possíveis foram estabelecidas, o que mostra pouca conexão entre os autores dos 11 artigos.

**Figura 7** - Uma visão geral das redes de cocitação.



Fonte: Elaborada pelos autores no *Citespace*.

Para obter uma análise mais detalhada da pesquisa, foi realizado uma leitura dos resumos dos onze artigos selecionados e foram criadas duas tabelas que relacionam se o artigo utiliza fontes alternativas de íons de magnésio e/ou fosfato, reduzindo o valor final da estruvita precipitada ou se os estudos foram realizados com reagentes para análise (PA), que por serem mais caros, aumentam o valor final da estruvita.

O Grupo 1 (Tabela 3) representa os estudos voltados a utilização de reagentes alternativos para a precipitação da estruvita. Com a utilização desses, o produto final (estruvita) pode apresentar um valor mais baixo caso seja tenha o intuito de comercializar o fertilizante.

**Tabela 3** - Artigos com estudos relacionados a utilização de reagentes alternativos.

<b>Grupo 1 – Reagentes alternativos</b>		
<b>TÍTULO</b>	<b>Autores</b>	<b>Ano de publicação</b>
<b>RECOVERY AND REMOVAL OF AMMONIA-NITROGEN AND PHOSPHATE FROM SWINE WASTEWATER BY INTERNAL RECYCLING OF STRUVITE CHLORINATION PRODUCT</b>	Haiming Huang, Yang Jiang, Li Ding	2014
<b>RECOVERY OF AMMONIA THROUGH STRUVITE PRODUCTION USING ANAEROBIC DIGESTATE OF PIGGERY WASTEWATER AND LEACHATE OF SEWAGE SLUDGE ASH</b>	Gyutae Kwon, Jinyoung Kang, Ji-Hyun Nam, Young-O Kim e Deokjin Jahng	2014
<b>RECOVERY OF AMMONIA NITROGEN FROM INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT AS STRUVITE SLOW RELEASING FERTILIZER</b>	G. El Diwania, Sh. El Rafiea, N.N. El Ibiari, H.I. El-Aila	2018
<b>RECOVERY OF AMMONIA IN DIGESTATES OF CALF MANURE THROUGH A STRUVITE PRECIPITATION PROCESS USING UNCONVENTIONAL REAGENTS</b>	A. Siciliano e S. De Rosa	2019

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se na Tabela 3, que dos 11 artigos analisados, 4 são pertencentes ao Grupo 1, representando cerca de 36,4 % dos artigos do portfólio final. Isso demonstra que a preocupação com o custo da estruvita tem sido levado em consideração e fontes de reagentes alternativos tem sido estudados.

O grupo 2 (Tabela 4) representa os estudos voltados a precipitação de estruvita com a utilização dos reagentes para análise, que representa apenas fontes de estudos para verificar o percentual de recuperação de amônia/fósforo.

**Tabela 4** - Artigos com estudos relacionados a utilização de reagentes para análise (PA).

<b>Grupo 2 – Reagentes PA</b>		
<b>TÍTULO</b>	<b>Autores</b>	<b>Ano de publicação</b>
<b>NUTRIENT RECOVERY FROM HUMAN URINE BY STRUVITE CRYSTALLIZATION WITH AMMONIA ADSORPTION ON ZEOLITE AND WOLLASTONITE</b>	Bo-Bertil Lind, Zsófia Ban, Stefan Bydén	2000
<b>REMOVAL AND RECOVERY OF N, P AND K FROM URINE VIA AMMONIA STRIPPING AND PRECIPITATIONS OF STRUVITE AND STRUVITE-K</b>	Kangning Xu, Chi Zhang, Jiyun Li, Xiang Cheng and Chengwen Wang	2001
<b>RECOVERY OF AMMONIA AS STRUVITE FROM ANAEROBIC DIGESTER EFFLUENTS</b>	Çelen e M. Türker	2007
<b>RECOVERY OF AMMONIA NITROGEN AND MAGNESIUM AS STRUVITE FROM WASTEWATERS IN COAL-FIRED POWER PLANT</b>	Xiaodan Zhao, Chengqin Tu, Zhen Zhou, Wei Zhang, Xu Ma, Jiazhe Yang	2007
<b>SIMULTANEOUS REMOVAL OF AMMONIA NITROGEN AND RECOVERY OF PHOSPHATE FROM SWINE WASTEWATER BY STRUVITE ELECTROCHEMICAL PRECIPITATION AND RECYCLING TECHNOLOGY</b>	Haiming Huang, Peng Zhang, Zhao Zhang, Jiahui Liu, Jing Xiao, Faming Gao	2016
<b>INHIBITION OF AMMONIA ON ANAEROBIC DIGESTION OF SYNTHETIC COAL GASIFICATION WASTEWATER AND RECOVERY USING STRUVITE PRECIPITATION</b>	Wei Wang, Xuesong Ren, Kai Yang, Zhenhu Hu*, Shoujun Yuan	2017
<b><i>RESOURCE RECOVERY FROM ANAEROBIC DIGESTATE: STRUVITE CRYSTALLISATION</i></b>	Dolores Hidalgo, Francisco Corona, Jesús M. Martín-Marroquín, Josué del Álamo, Alicia Aguado	2017



**VERSUS AMMONIA  
STRIPPING**

---

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se na Tabela 4, que dos 11 artigos analisados, 7 são pertencentes ao Grupo 2, que abordam a precipitação da estruvita com a utilização de reagentes PA, representando cerca de 63,6 % dos artigos finais para análise. Avaliando a data, pode-se perceber que pesquisas com a utilização de reagentes PA estão entrando em desuso, pois, o alto valor desses tipos de reagentes acaba comprometendo a utilização da técnica em industriais que precisam recuperar/remover os nutrientes de águas residuais. Os dois artigos mais recentes (2017) utilizam reagentes PA, porém, aplicados em novas técnicas para a remoção dos nutrientes.

### **3.2.2. Análise Qualitativa do portfólio**

Esta seção tem por objetivo apresentar uma síntese dos artigos do portfólio de forma breve, dos 11 obtidos, foi verificado o que os autores estão relatando a respeito do tema abordado.

Wang et al. (2017) trazem uma abordagem sobre as águas residuais de gasificação de carvão, que apresentam altas concentrações de fenóis e amônia, que são grandes poluentes e podem causar grandes preocupações para o meio ambiente bem como para os microrganismos do digestor aeróbico. O alvo do estudo foi de esclarecer a inibição da amônia na digestão anaeróbica de fenóis e revelar o mecanismo de precipitação de estruvita associado ao tratamento anaeróbico de dos resíduos de gasificação de carvão sintético.

Xu et al. (2017) e Lind et al. (2000) estudaram a precipitação da estruvita para recuperar os nutrientes (N, P e K) encontrados na urina humana, uma alternativa a aplicação direta, pois o uso como fertilizante agrícola é problemático e controverso no que diz respeito à higiene, armazenamento, transporte e propagação. Além da estruvita, outros cristais foram obtidos como estruvita-K, estruvita-Na, montgomeryita, newberyita, brucita e eponita.

Huang et al. (2014) buscaram a remoção de ortofosfato e de nitrogênio amoniacal total de águas residuais de suínos. Utilizaram uma espécie de água mãe (salina) como fonte de magnésio para a precipitação de estruvita afim de baratear o produto final. Verificou-se que a eficiência e de recuperação de ortofosfato e a pureza da estruvita dependia do pH das águas residuais e da razão molar Mg:PT. O ponto chave deste estudo, foi que utilizando uma fonte

alternativa de reagente (Mg) foi possível obter uma economia de 37% para a cristalização da estruvita.

El Diwani et al. (2007) também utilizaram como fonte de magnésio um subproduto da fabricação de sal e realizaram um estudo em escala laboratorial para verificar a remoção de amônia e consequentemente a precipitação da estruvita. Utilizou-se de dois tipos de fontes de magnésio (água-mãe), com pH de 7 e 11 em duas proporções molares distintas de  $Mg:NH_4:PO_4$  (1:1:1) e (1,6:0,6:1) em água destilada. Foi verificado que para uma precipitação efetiva em estrita, um pH igual ao maior que 8,5 seria necessário, sendo que um pH ótimo se deu no valor de 9,6.

Çelen & Türker (2001) utilizaram de um reator do tipo batelada de escala laboratorial para realizar a remoção de amônia através da precipitação da estruvita, utilizando fontes de fósforo e magnésio como ácido fosfórico e  $MgCl_2$  ou  $MgO$ , respectivamente. Foram estudados os efeitos das relações de temperatura, pH, e razão molar (Mg:N:P). O autor concluiu que a temperatura (25-40°C) não influenciou na remoção de amônia, obtendo cerca de 90%. O pH se comportou de maneira significativa, obtendo uma maior remoção com pH entre 8,5 e 9,0. Observou-se que com um leve excesso de Mg e P, a recuperação de amônia como estruvita foi maior, porém quando em doses mais altas, foi verificado que não apresentou grandes diferenças.

Siciliano & Rosa (2014) estudaram a remoção de amônia pela precipitação em estruvita com a utilização de reagentes de baixo custo. O estudo foi realizado com a intenção de obter a estruvita através de águas residuais que continham esterco bovino e alguns restos alimentares. Como fontes alternativas aos reagentes de magnésio e fósforo, foi utilizado a água do mar e farinha de ossos, respectivamente. Com a utilização desses reagentes de baixo custo, foi possível obter uma remoção de até 90% de amônia, recuperação quase completa do magnésio e fósforo e confirmado a formação da estruvita.

Zhao et al. (2019) descreveram um método econômico para recuperar nitrogênio amoniacal de águas residuais de regeneração de uma usina de carvão utilizando o magnésio recuperado das águas residuais da dessulfuração de gases de combustão (DGC) da mesma usina. Para a recuperação de amônia, os resultados indicaram que a razão molar de fósforo para nitrogênio (P / N) foi o parâmetro mais dominante e as condições ideais foram previstas em Mg/N de 1,1 e P/N de 0,7. Como resultado, o autor obteve uma remoção de amônia de até 72,12%.

Kwon et al. (2018) estudaram a remoção de amônia e fósforo em águas residuais de porcos com a adição de lixiviados de cinzas de lodo de esgoto. A água residual e o lixiviado

foram misturados na razão volumétrica de 1:1,29, e a estruvita foi formada na proporção molar de 1,2:1,0:1,0 (Mg:P:NH<sub>3</sub>-N). As eficiências de remoção de amônia e fósforo foram de 91,95% e 99,65%, respectivamente.

Huang et al. (2016) também estudaram a remoção de nitrogênio amoniacal e fósforo de águas residuais de suínos, porém, com uma técnica diferente, realizada através de um processo eletroquímico e confirmou-se que tal processo é adequado para o tratamento de águas residuais de suínos, pois favorece a recuperação acima de 90% de amônia e fósforo.

Hidalgo et al. (2016) avaliou duas tecnologias utilizadas para a remoção de amônia de águas residuais sendo a cristalização em forma de estruvita ou outras através do processo de *stripping* (absorção). Constatou-se que a remoção de amônia juntamente com a absorção provou ser uma solução técnica adequada para a recuperação e validação do nitrogênio contido nos fluxos de resíduos. Experimentos em escala laboratorial resultam em mais de 80% de recuperação de amônia usando essa técnica. Na técnica de cristalização é possível remover cerca de 90% de P e N na razão estequiométrica, logo é considerada a técnica preferida. Ambos os processos são ecologicamente corretos e econômicos em instalações de grande escala.

Na Tabela 5 é apresentado uma Matriz SWOT (FOFA), uma ferramenta bastante difundida para realizar análises de cenário, utilizadas como uma base para a gestão e o planejamento estratégico de uma organização (BAUMOTTE, 2012). Na matriz SWOT é apresentado os pontos fortes e fracos, as oportunidades e as ameaças.

**Tabela 5** - Matriz SWOT elaborada com base nas análises observadas nos artigos.

<b>Positivo</b>	<b>Negativo</b>
<b>Forças</b>	<b>Fraquezas</b>
Redução da eutrofização; Produção de Fertilizantes;	Alto custo dos reagentes puros; Poucas pesquisas; Pouco conhecido no meio industrial;
<b>Oportunidades</b>	<b>Ameaças</b>
Estudo de fontes (reagentes) alternativas de baixo custo; Reaproveitamento das águas residuais; Marketing ambiental para indústrias;	- Devido ao alto custo dos reagentes, não são aplicados em escala industrial;

Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com a Tabela 5, a pesquisa toma direções que podem auxiliar o pesquisador na busca de novas ideias. A tabela demonstra pontos que podem ser analisados e utilizados afim

de reduzir a carga poluidoras em corpos d'água, se aproveitando de um produto que até pouco tempo atrás não continha valor e o transformando em fertilizante de alta qualidade, podendo até ser comercializado caso consiga reagentes de baixo custo para baratear o produto final, o que também é confirmado por Suela et al. (2018).

#### **4. Conclusão**

Utilizando a técnica de revisão bibliométrica, foi possível reunir artigos para serem utilizados em pesquisas futuras que relatam o tema abordado quando o assunto for remoção ou recuperação de amônia de águas residuais através da precipitação em estruvita. Este artigo servirá como suporte para pesquisas futuras e colaborará com outros pesquisadores afim de se aprofundarem no tema com pesquisas recentes.

Utilizando a base de dados da *Web of Science*, foi possível aplicar todos os procedimentos para obtenção dos artigos analisados, desenvolver uma revisão bibliométrica com o tema proposto e obter um portfólio para uma análise mais detalhada.

Observa-se que as pesquisas envolvendo o tema desta revisão apresentam-se bem centradas e bem abrangentes, sendo desenvolvida em diversas vertentes. Demonstram que os pesquisadores tem buscados por fontes alternativas de reagentes, em principal de magnésio, reduzindo os custos para obtenção de um produto mais barato, denominado estruvita.

Também foi observado que poucas pesquisas foram realizadas com o efluente provindo de fontes de esgotos urbanos, isso também é muito valioso para os estudos, pois outras águas residuais industriais apresentam grandes concentrações de nutrientes e poderão ser recuperados utilizando a técnica de precipitação.

É importante salientar que na base de dados utilizada, só se buscou artigos em inglês, o que abre um leque para pesquisas em outros idiomas e utilização de outras bases de dados, que podem contar com materiais para enriquecimento do estudo.

Observa-se que pesquisas ainda precisam ser realizadas para um profundo amadurecimento do tema. Logo, sugere-se pesquisas futuras como a utilização de tipos de reatores, modificando suas partes físicas para verificar uma melhor efetividade na remoção, pois não foi possível encontrar artigos que tratam de projetos de reatores para este fim.

#### **Agradecimentos**

Edital FAPES No 01/2015 - Cooperação FAPES/VALE/FAPERJ;

Curso de pós-graduação stricto sensu em energia (UFES/CEUNES).

## Referências

Barboza, T. R., & Freitas, R. R. de. (2019). Uma análise bibliométrica sobre os impactos do derramamento de petróleo na pesca marítima. *Research, Society And Development* 8(1), 1–23. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v8i1.520>

Baumotte, A. C. 40 + 8 Ferramentas e Técnicas de Gerenciamento. (4a ed.), Rio de Janeiro: BRASPORT Livros e Multimídia Ltda., 2012.

Çelen, I., & Türker, M. (2001). Recovery of ammonia as struvite from anaerobic digester effluents. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 22(11), 1263–1272. <https://doi.org/10.1080/09593332208618192>

Costa, J. A. da, Souza, J. P. de, Teixeira, A. P., Nabout, J. C., & Carneiro, F. M. (2018). Review article Eutrophication in aquatic ecosystems : a scientometric study Eutrofização em ecossistemas aquáticos : um estudo cienciométrico. 30. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X3016>

El Diwani, G., El Rafie, S., El Ibiari, N. N., & El-Aila, H. I. (2007). Recovery of ammonia nitrogen from industrial wastewater treatment as struvite slow releasing fertilizer. *Desalination*, 214(1–3), 200–214. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.08.019>

Gall, N. (2012). Água na China. *BRAUDEL PAPERS*, 47.

Hidalgo, D., Corona, F., Martín-Marroquín, J. M., del Álamo, J., & Aguado, A. (2016). Resource recovery from anaerobic digestate: struvite crystallisation versus ammonia stripping. *Desalination and Water Treatment*, 57(6), 2626–2632. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.1001794>

Huang, H., Yang, J., & Li, D. (2014). Recovery and removal of ammonia-nitrogen and phosphate from swine wastewater by internal recycling of struvite chlorination product. *Bioresource Technology*, 172(2014), 253–259. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.024>

Huang, H., Zhang, P., Zhang, Z., Liu, J., Xiao, J., & Gao, F. (2016). Simultaneous removal of ammonia nitrogen and recovery of phosphate from swine wastewater by struvite electrochemical precipitation and recycling technology. *Journal of Cleaner Production*, 127, 302–310. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.002>

Köche, J. C.. Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa. Petrópolis: Vozes, 2015.

Kwon, G., Kang, J., Nam, J. H., Kim, Y. O., & Jahng, D. (2018). Recovery of ammonia through struvite production using anaerobic digestate of piggery wastewater and leachate of sewage sludge ash. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 39(7), 831–842. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1312550>

Lakatos, E. M., & Marconi, M. d.. Fundamentos de metodologia científica. São Paulo: Atlas, 2007.

Laville, C., & Dionne, J. (1999). *A construção do saber: manual de metodologia da pesquisa em ciencias humanas*. Artmed.

Lind, B. B., Ban, Z., & Bydén, S. (2000). Nutrient recovery from human urine by struvite crystallization with ammonia adsorption on zeolite and wollastonite. *Bioresource Technology*, 73(2), 169–174. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)90157-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)90157-8)

Mota, F. S. B., & Sperling, M. von. (2009). *PROSAB - Livro 2. Nutrientes de esgoto sanitários: utilização e remoção*. 430.

Piedras, S. R. N., Oliveira, J. L. R., Moraes, P. R. R., & Bager, A. (2006). Toxicidade aguda da amônia não ionizada e do nitrito em alevinos de *Cichlasoma facetum* (Jenyns, 1842). *Ciência e Agrotecnologia*, 30(5), 1008–1012. <https://doi.org/10.1590/s1413-70542006000500027>

Portugal, M., Branca, S., & Rodrigues, M. (2011). Dados de medida de fator de impacto das revistas científicas. *Revista de Enfermagem Referência, III Série*(nº 5), 211–215.

<https://doi.org/10.12707/riii11ui4>

Reis, J. A. T. dos, & Mendonça, A. S. F. (2009). Technical analysis of the new brazilian concentration limits for ammonia in effluents and bodies of water Análise técnica dos novos padrões brasileiros para amônia em efluentes e corpos d' água. *Power*, 27, 353–362.

Siciliano, A., & Rosa, S. De. (2014). Recovery of ammonia in digestates of calf manure through a struvite precipitation process using unconventional reagents. *Environmental Technology*, 35(7), 841–850. <https://doi.org/10.1080/09593330.2013.853088>

Stolzenburg, P., Capdevielle, A., Teychené, S., & Biscans, B. (2015). Struvite precipitation with MgO as a precursor: Application to wastewater treatment. *Chemical Engineering Science*, 133, 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2015.03.008>

Suela, S. C., Porto, P. S. da S., & Freitas, R. R. de. (2018). *Tratamento de águas residuais para produção de estruvita: Um estudo bibliométrico*. 3409, 1–26.

Wang, W., Ren, X., Yang, K., Hu, Z., & Yuan, S. (2017). Inhibition of ammonia on anaerobic digestion of synthetic coal gasification wastewater and recovery using struvite precipitation. *Journal of Hazardous Materials*, 340, 152–159. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.07.002>

Xu, K., Zhang, C., Li, J., Cheng, X., & Wang, C. (2017). Removal and recovery of N, P and K from urine via ammonia stripping and precipitations of struvite and struvite-K. *Water Science and Technology*, 75(1), 155–164. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.494>

Zhao, X., Tu, C., Zhou, Z., Zhang, W., Ma, X., & Yang, J. (2019). Recovery of ammonia nitrogen and magnesium as struvite from wastewaters in coal-fired power plant. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 14(5), 1–9. <https://doi.org/10.1002/apj.2355>

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Thales Rodrigues Barboza – 45 %

Rodrigo Randow de Freitas – 30%

Paulo Sérgio da Silva Porto – 25%