

PANORAMA GLOBAL DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA SOBRE MICROALGAS NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

PANORAMA GLOBAL DE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DE MICROALGAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

GLOBAL OVERVIEW OF SCIENTIFIC PRODUCTION OF MICROALGAE IN THE TREATMENT OF WASTE WATER

Aline Antonia Castro*
alineantoniacaastro@yahoo.com.br

Odorico Konrad*
okonrad@univates.br

*Universidade do Vale do Taquari, Lajeado/RS – Brasil

Resumo

O tratamento de águas residuais usando microalgas destaca-se pela elevada eficácia na remoção de nutrientes e produção de biomassa, tornando-se uma fonte potencial para a produção de bioenergia. O objetivo deste estudo foi avaliar a produção científica global sobre o tratamento de águas residuais utilizando microalgas, no período de 1979 a 2018. A metodologia utilizada foi a análise bibliométrica de artigos científicos, na base Scopus, da Editora Elsevier, usando como descritores de busca os termos "microalgae AND wastewater", no título, no resumo e nas palavras-chave. Para a análise de redes, usou-se o software VOSviewer. Os aspectos analisados foram o ano, país, periódico e palavras-chave. Os indicadores bibliométricos utilizados para fins de classificação e análise foram o total de publicações, total de citações, CiteScore e índice-h. Os resultados indicaram que o número de publicações vem aumentando ao longo dos anos. China e EUA desempenham papel importante na produção científica e têm sido parceiros frequentes em colaborações internacionais. Bioresource Technology e Algal Research foram as revistas mais utilizadas para disseminar resultados. Análises de palavras-chave sugeriram que as pesquisas concentram-se em estudos sobre microalgas com foco na produção de biomassa, métodos de cultivo e desenvolvimento de biocombustíveis; e estudos sobre tratamento de águas residuais, focando a remoção de poluentes e nitrogênio, sendo a espécie *Chlorella Vulgaris* a mais comumente cultivada. Este artigo aponta para a necessidade de estudos futuros sobre métodos viáveis de colheita, uma vez que este termo está relacionado às questões muito relevantes dentro do tema, por ser considerada como um fator limitante ao cultivo devido ao alto custo associado.

PALAVRAS CHAVE: Bibliometria. Biocombustíveis. Biorremediação. Publicações.

Resumen

El tratamiento de aguas residuales mediante microalgas destaca por su alta eficiencia en la remoción de nutrientes y producción de biomasa, convirtiéndose en una fuente potencial para la producción de bioenergía. El objetivo de este estudio fue evaluar la producción científica global sobre el tratamiento de aguas residuales mediante microalgas, desde 1979 hasta 2018. La metodología utilizada fue el análisis bibliométrico de artículos científicos, basado en Scopus, de Editora Elsevier, utilizando descriptores de búsqueda. los términos "microalgas Y aguas residuales", en el título,

resumen y palabras clave. Para el análisis de la red se utilizó el software VOSviewer. Los aspectos analizados fueron año, país, publicación periódica y palabras clave. Indicadores bibliométricos utilizados para fines de clasificación y análisis fueron el número total de publicaciones, el total de citas, CiteScore e índice h. Los resultados indicaron que el número de publicaciones ha aumentado a lo largo de los años, China y los EE. UU. juegan un papel importante en la producción científica y se han convertido en socios frecuentes en colaboraciones internacionales. *Bioresource Technology* y *Algal Research* fueron las revistas más utilizadas para difundir resultados. Encontraron que la investigación se centra en estudios sobre microalgas con un enfoque en la producción de biomasa, métodos de cultivo y el desarrollo de biocombustibles; y estudios sobre tratamiento de aguas residuales, centrados en la remoción de contaminantes y nitrógeno, siendo la especie *Chlorella vulgaris* la más cultivada. Este artículo señala la necesidad de futuros estudios sobre métodos de cosecha viables, ya que este término está relacionado con temas muy relevantes dentro de la temática, ya que se considera un factor limitante del cultivo por el alto costo asociado.

PALABRAS CLAVE: Bibliometría. Biocombustibles. Biorremediación. Publicaciones.

Abstract

The treatment of wastewater using microalgae stands out for its high efficiency in removing nutrients and producing biomass, becoming a potential source for the production of bioenergy. The aim of this study was to evaluate the global scientific production on the treatment of wastewater using microalgae, from 1979 to 2018. The methodology used was the bibliometric analysis of scientific articles, based on Scopus, from Editor Elsevier, using search descriptors the terms "microalgae AND wastewater", in the title, abstract and keywords. For the network analysis, the VOSviewer software was used. The aspects analyzed were the year, country, periodical and keywords. Bibliometric indicators used for classification and analysis purposes were the total number of publications, total citations, CiteScore and h-index. The results indicated that the number of publications has increased over the years, China and the USA play an important role in scientific production and have been frequent partners in international collaborations. *Bioresource Technology* and *Algal Research* were the most used magazines to disseminate results. Keyword analysis suggested that the research focused on studies on microalgae with a focus on biomass production, cultivation methods and biofuel development; and studies on wastewater treatment, focusing on the removal of pollutants and nitrogen, with the species *Chlorella Vulgaris* being the most commonly cultivated. This article points to the need for future studies on viable harvesting methods, since this term is related to very relevant issues within the theme, as it is considered a limiting factor to cultivation due to the high associated cost.

KEYWORDS: Bibliometry. Biofuels. Bioremediation. Publications.

1. INTRODUÇÃO

As primeiras pesquisas relacionadas à produção de microalgas sob condições controladas surgiram na década de 1950, embora os processos biológicos com as microalgas tenham sido descritos ao longo de muitos séculos (GARRIDO-CARDENAS et al, 2018). O primeiro estudo sobre o cultivo intensivo de algas com a finalidade de remoção de nutrientes de águas residuais foi realizado por Bogan em 1960. Foram Oswald e Golueke que, em 1966, investigaram e propuseram o cultivo em lagoas de águas residuais com alta concentração de microalgas (ABDEL-RAOUF; AL-HOMAIDAN; IBRAHEEM, 2012).

Atualmente, a biotecnologia de microalgas recebeu grande destaque por se configurar em uma abordagem eficaz e de baixo custo para a remoção de nutrientes e outros contaminantes dos efluentes do tratamento de águas residuárias, como metais pesados e fármacos (ABDEL-RAOUF; AL-HOMAIDAN; IBRAHEEM, 2012; ZHU et al., 2016; VAN DEN HEND et al., 2017). Este novo método verde está sendo desenvolvido para suplantiar os modelos de tratamento convencional de águas residuais (HENKANATTEGEDERA et al., 2015; RAJASULOCHANA e PREETHY, 2016).

Cheah et al. (2016) e Abdel-Raouf; Al-Homaidan; Ibraheem (2012) relataram que o tratamento de águas residuais com uso de microalgas tem atraído grande interesse no meio acadêmico porque, além da eficácia na remoção de nutrientes, também apresenta elevada capacidade de produzir biomassa, muito útil para várias aplicações, tornando-se uma fonte potencial para a produção de biocombustíveis. Manara e Zabaniotou (2012) e Papel et al. (2016), sugeriram que o acoplamento da produção de biomassa com o tratamento de águas residuais aparece como uma solução mais provável para a aplicação em larga escala do cultivo de microalgas em curto prazo.

Este processo de biorremediação é uma área de pesquisa que cresceu substancialmente nos últimos anos, surgindo grande quantidade de produtos e instalações, cuja matéria-prima é a biomassa proveniente de microalgas (GARRIDO-CARDENAS et al., 2018). Tendo em vista o grande número de pesquisas publicadas sobre o tema, uma análise bibliométrica de artigos científicos pode ser um caminho que conduza ao conhecimento das descobertas científicas na área e ainda evidencie a propensão da evolução da produção científica global sobre tratamento de águas residuais e microalgas.

A análise bibliométrica considera a utilização de metodologia e indicadores com o intuito de analisar e avaliar as descobertas de toda a produção científica produzida sobre determinado tema de pesquisa. Diante destas análises, pode-se chegar a vários resultados, tais como, identificação dos autores e instituições mais produtivas e com maior influência acadêmica; verificação dos fatos mais relevantes da história da evolução das pesquisas; conhecimento das tendências de pesquisas e das lacunas, de forma a apontar a direção para futuros pesquisadores. Recentemente, grande é o número de estudos que utilizam a análise bibliométrica em diversas áreas científicas, comprovando a relevante utilidade desta metodologia (GARRIDO-CARDENAS et al., 2018; KAMDEM et al., 2019; VANZETTO; THOMÉ, 2019).

O objetivo deste estudo foi avaliar as pesquisas sobre tratamento de águas residuais com microalgas no período de 1979 a 2018, por meio de análise bibliométrica de resultados recuperados da base de dados Scopus, a fim de revelar o status atual das tendências das pesquisas no meio científico e sugerir o desenvolvimento de novos estudos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Indicadores e ferramentas bibliométricas

A bibliometria permite a quantificação da relação de produção e dispersão do conhecimento científico, além de mostrar o desenvolvimento de diferentes campos científicos, os parâmetros de autoria e o uso dos resultados dos estudos. (OKUBO, 1997; MAO et al., 2015). Para Chueke e Amatucci (2015), uma análise bibliométrica é capaz de colaborar na sistematização de pesquisas em um campo específico e apontar problemas a serem estudados em pesquisas futuras.

CiteScore (CS) de uma revista acadêmica é uma medida que reflete o número médio anual de citações de artigos publicados nessa revista. Essa medida de avaliação foi lançada em dezembro de 2016 pela Elsevier como uma alternativa aos fatores de impacto do Journal Citation Reports (JCR), muito utilizados. Embora o CS e o fator de impacto JCR sejam similares em sua definição, o CS é baseado nas citações registradas no banco de dados Scopus e não no JCR, e essas citações são coletadas para artigos publicados nos três anos anteriores (ELSEVIER, 2019). Em qualquer ano, o CS de uma

revista é o número de citações recebidas naquele ano de artigos publicados nessa revista durante os três anos anteriores, dividido pelo número total de citações durante os três anos anteriores (MAO et al., 2015; KHUDZARI et al., 2018; GARRIDO-CARDENA et al.2018).

O índice *h*, ou *h-index* (*h-i*) proposto por Hirsch em 2005, é um número usado para medir a influência de publicações (MAO et al., 2015). O *h-i* foi proposto com a finalidade de medir a produtividade e o impacto acadêmico de pesquisadores, tendo como base os seus artigos mais citados. O índice *h* considera tanto o número de artigos quanto o número de citações (KAMDEM et al., 2019) e corresponde ao número de artigos de um determinado autor com, pelo menos, o mesmo número de citações (MAO et al, 2015; MAO et al., 2018). Ele pode medir tanto a quantidade, quanto a qualidade das citações das publicações de um pesquisador, de um país, de um periódico, de uma organização, etc. (MAO et al., 2015; LI; HAN; LU, 2018; KAMDEM et al., 2019).

3. METODOLOGIA

3.1. Método de Pesquisa

O método utilizado para a realização da pesquisa apresenta abordagem quantitativa de natureza aplicada. Quanto aos procedimentos metodológicos, classifica-se como documental e quanto aos objetivos, como exploratória descritiva.

A ferramenta utilizada neste artigo foi a base de dados Scopus, da Editora Elsevier, que se constitui de um banco de dados multidisciplinar, onde são disponibilizados, via Web, instrumentos inteligentes para inspecionar, analisar e visualizar pesquisas. A Scopus é considerada como a maior base de dados de resumos e citações da literatura, com revisão por pares, incluindo revistas científicas, livros, processos de congressos e publicações do setor, oferecendo uma ampla visão da produção científica de pesquisadores em todo o mundo, em diversas áreas do conhecimento (ELSEVIER, 2019).

A extração de dados foi realizada no dia 13 de novembro de 2019 usando a base de dados Scopus. Inicialmente foram selecionados todos os artigos científicos, para proceder com a análise referente ao tema. Os descritores utilizados para a busca foram "microalgae AND wastewater", no título, no resumo e nas palavras-chave (TITLE-

ABS-KEY). A publicação mais antiga data de 1979 e as mais recentes são de 2020. A sequência de consulta usada para a pesquisa foi: TITLE-ABS-KEY (microalgae AND wastewater) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) AND (EXCLUDE (PUBYER, 2020) OR EXCLUDE (PUBYEAR, 2019)).

Para a análise de redes, a verificação das comunidades pode ser realizada usando a ferramenta de software VOSviewer, cujo acesso é livre por meio do sítio <http://www.vosviewer.com>. Este software permite elaborar gráficos nos quais cada país ou palavra-chave é representada por um nó, e as conexões entre dois nós representam a colaboração entre os dois termos que os nós representam (KHUDZARI et al., 2018; GARRIDO-CARDENA et al.2018; KAMDEM et al, 2019).

Os aspectos estudados neste artigo foram analisados com base no ano, país, periódico e palavras-chave. Indicadores bibliométricos como total de publicações, total de citações, CiteScore e índice-*h* foram utilizados para fins de classificação e análise, e estão relacionados aos itens estudados de acordo com o Quadro 1. O software VOSviewer foi usado para visualizar a rede de dados e analisar a colaboração de países e co-ocorrência de palavras-chave.

Quadro 1. Indicadores bibliométricos utilizados

| Aspectos estudados | Indicadores bibliométricos |
|--------------------|---|
| Ano | Número de publicações |
| País | Número de publicações Índice- <i>h</i> Número de citações |
| Periódico | Número de publicações CiteScore |

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2019.

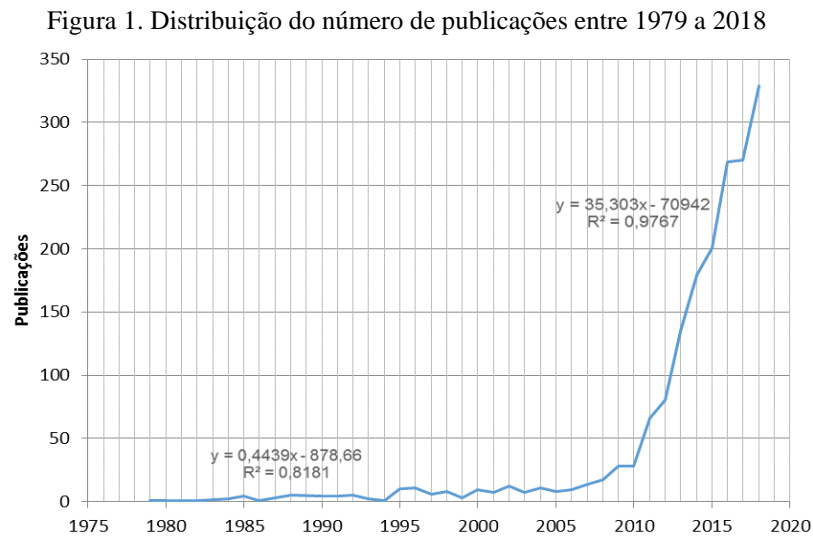
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Documento por ano

De acordo com os descritores utilizados, foram recuperados 1758 resultados na base de dados Scopus. O desenvolvimento de pesquisas sobre tratamento de águas residuárias com microalgas aumentou anualmente nos últimos 40 anos, saltando de 2 publicações em 1979 para 329 em 2018, apresentando um crescimento de 165,5 vezes.

As tendências de crescimento foram analisadas entre 1979 e 2018, por meio da análise de regressão linear, mostrada na Figura 1. Houve basicamente duas tendências de

crescimento, a primeira compreendendo o período de 1979 a 2008 e outra a partir de 2009, sendo 79 vezes maior que a anterior, representando um interesse muito maior pelo tema no meio científico a partir de 2008.



Fonte: Elaborada pelos Autores, 2019.

Os resultados indicam que os estudos continuaram crescendo, indicando a grande relevância do tema no meio científico atual. Segundo Cheah et al. (2016), o cultivo de microalgas para o tratamento de águas residuais vem atraindo o interesse da comunidade científica, pois configura-se como um método ideal para promover simultaneamente a redução de resíduos e a geração de biocombustíveis, auxiliando na diminuição do uso de combustíveis fósseis e promovendo a sustentabilidade ambiental.

4.2. Documento por País

Os 1758 artigos sobre tratamento de águas residuais com microalgas foram publicados por 88 países. A Tabela 1 apresenta os seis principais países relacionados aos artigos publicados sobre o tema. Com relação ao número de publicações, a China liderou o bloco, com um total de 414 artigos, representando 17,86% de todas as publicações. Os Estados Unidos ocuparam a segunda colocação, com 234 publicações, representando 13,31% da produção mundial. Espanha, Índia, Coreia do Sul e Brasil, ficaram nas posições seguintes, com 169, 143, 102 e 91 artigos respectivamente, somando um

percentual de 27,73% das publicações. O percentual de publicações destes seis países representa 59,90 % de todos os artigos, evidenciando a liderança na produtividade destes países em pesquisas na área.

Quando comparados o *h*-index da China (*h*-39) com os Estados Unidos (*h*-52), apesar da China ser o país mais produtivo, os Estados Unidos, por possuir um valor de *h*-i maior, apresentam uma influência acadêmica cerca de 33% mais elevada. A mesma verificação foi feita em relação ao total de citações destes dois países, Estados Unidos à frente com 5270, seguido pela China, com 4889 citações. Para Chen et al. (2017), artigos com maior número de citações indicam alta competitividade de um país em um determinado ramo de pesquisa.

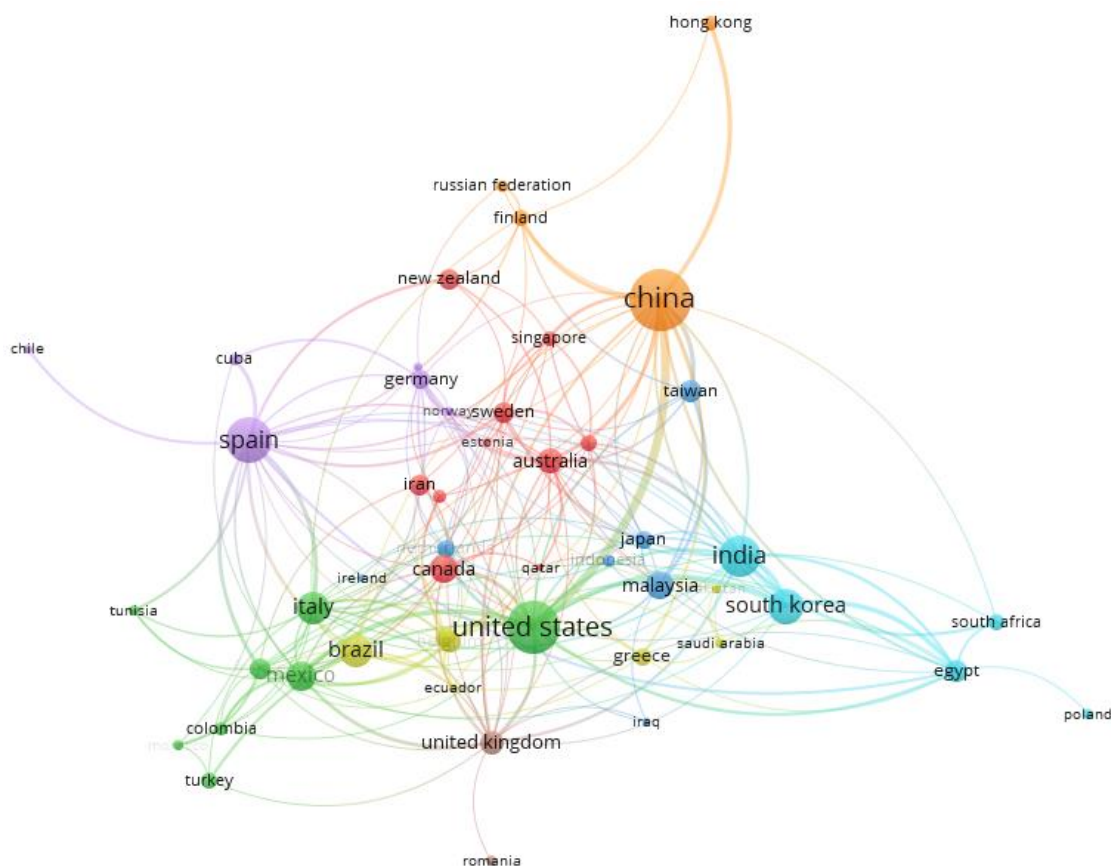
Tabela 1. Distribuição de publicação por países

| País | Número de publicações | Citações | <i>h</i> -i | Percentual de publicações |
|---------------|-----------------------|----------|-------------|---------------------------|
| China | 314 | 4889 | 39 | 17,86 |
| EUA | 234 | 5270 | 52 | 13,31 |
| Espanha | 169 | 3001 | 38 | 9,61 |
| Índia | 143 | 2021 | 30 | 8,13 |
| Coreia do Sul | 102 | 1589 | 28 | 5,80 |
| Brasil | 91 | 783 | 20 | 5,18 |

Fonte: Elaborada pelos Autores, 2019.

A Figura 2 apresenta o resultado dos países com maior número de publicações e a colaboração entre eles, na saída de dados do VOSviewer. Os países que produzem pesquisas estão agrupados em 08 comunidades, representadas pelas 8 cores, que são lideradas pela China, Estados Unidos, Espanha, Índia, Brasil, Canadá, Malásia e Reino Unido. A China possui uma rede de colaboração bem definida com os Estados Unidos, Rússia e Hong Kong. A seguir, aparece os Estados Unidos, com forte conexões com a China, México e Coréia do Sul. Segundo Khudzari et al. (2018), a colaboração complementar entre as comunidades internacionais pode ser capaz de promover um crescimento mais acelerado e amplo sobre o tema de pesquisa.

Figura 2. Países e suas conexões
(VOSviewer)



Fonte: Elaborada pelos Autores, 2019.

Ainda, de acordo com Khudzari et al. (2018), muitas são as vantagens de uma rede de colaboração, incluindo à expansão da própria rede e o intercâmbio e compartilhamento do saber. Alguns fatores podem contribuir para o crescimento da colaboração internacional, como a relevância do tema, elevada quantidade de pós-graduados, pesquisadores estrangeiros, diversidade de parceiros de pesquisas, financiamento forte em pesquisas, e especialmente, ter uma política permanente e ajustável, de forma a assegurar o avanço da cooperação internacional.

Com relação aos institutos que promovem pesquisas, Lahiri e Kumar (2012), evidenciam que os destaques são aqueles centros que utilizam o intercâmbio de cientistas, que desenvolvem projetos em compartilhamento e que permitem a vivência de experiências internacionais. A importância da classificação da produtividade deve-se ao fato de que pode influir no conceito de uma instituição e influenciar na sua capacidade de captação de recursos para pesquisas (LAHIRI; KUMAR, 2012).

4.3. Documento por Periódico

Segundo Liu; Sun; Jiang (2017), na ausência de expressões matemáticas que poderiam calcular diretamente a qualidade da pesquisa, a análise baseada em número de citações, poderia ser usada para esta finalidade. Além disso, os autores relataram que o número de artigos publicados e de citações é usado para medir e comparar a quantidade, a influência e o poder científico de diferentes países e instituições, revelando o interesse pelo desenvolvimento da ciência e tecnologia em determinado segmento.

Os 1758 artigos sobre tratamento de efluentes com microalgas foram publicados em 160 periódicos da Scopus. A Tabela 2 apresenta as 20 revistas mais produtivas, o número de publicações e também o fator CiteScore. A distribuição destas revistas cobre 52,4% (922 publicações) do total de artigos, sugerindo grande produtividade deste grupo de periódicos. A revista com maior produtividade foi a Bioresource Technology, com 317 artigos (18,1%), seguida pela Algal Research com 103 artigos (5,9%), Water Science And Technology com 74 artigos (4,2%), Water Research com 66 artigos (3,7%) e Journal Of Applied Phycology com 49 artigos (2,7%).

Analisando o CiteScore-2018 das 20 revistas mais produtivas (Tabela 2), sete revistas apresentaram um valor superior a 5, sendo bons indicadores das citações recebidas pelos periódicos. Na primeira colocação ficou a Applied Energy (CiteScore =9,54), seguida pela Water Research (CiteScore =8,55), Journal Of Chemical Technology And Biotechnology (CiteScore =7,38), Journal Of Cleaner Production (CiteScore =7,32), Bioresource Technology (CiteScore =7,08), Applied Microbiology And Biotechnology (CiteScore =5,92) e Environmental Science And Technology (FI=5,32).

Nota-se que o maior número de publicações nem sempre corresponde ao maior CiteScore. A revista que apresentou maior CiteScore foi a Applied Energy, ocupando a 11ª colocação em produtividade (20 publicações), enquanto que a Bioresource Technology, com maior produtividade (317 artigos), ocupou a 5ª posição. A Chemical Engineering Transactions, apesar de ter a 9ª posição em produção de artigos, ocupou a última classificação, com um CiteScore de 0,73, sugerindo uma qualidade inferior às demais em termos de citações.

Tabela 2. Distribuição dos 10 principais jornais mais produtivos da pesquisa

| Item | Periódico | Publicações | CiteScore - 2018 |
|------|---|-------------|------------------|
| 1 | Bioresource Technology | 317 | 7,08 |
| 2 | Algal Research | 103 | 4,26 |
| 3 | Water Science And Technology | 74 | 1,55 |
| 4 | Water Research | 66 | 8,55 |
| 5 | Journal Of Applied Phycology | 49 | 2,8 |
| 6 | Desalination And Water Treatment | 37 | 1,36 |
| 7 | Ecological Engineering | 36 | 3,73 |
| 8 | Environmental Science And Pollution Research | 28 | 3,14 |
| 9 | Chemical Engineering Transactions | 23 | 0,73 |
| 10 | Environmental Technology United Kingdom | 21 | 1,82 |
| 11 | Applied Energy | 20 | 9,54 |
| 12 | Journal Of Cleaner Production | 20 | 7,32 |
| 13 | Applied Biochemistry And Biotechnology | 18 | 2,17 |
| 14 | Applied Microbiology And Biotechnology | 18 | 5,92 |
| 15 | Science Of The Total Environment | 18 | 2,88 |
| 16 | Journal Of Chemical Technology And Biotechnology | 16 | 7,38 |
| 17 | Environmental Science And Technology | 15 | 5,32 |
| 18 | Journal Of Environmental Management | 15 | 3,96 |
| 19 | Biomass And Bioenergy | 14 | 4,08 |
| 20 | International Biodeterioration And Biodegradation | 14 | 2,47 |

Fonte: Elaborada pelos Autores, 2019.

A partir das análises realizadas, ficou evidente que o tema de pesquisa analisado neste estudo mostrou-se de relevante interesse científico, uma vez que o número de publicações foi grande em periódicos de alto impacto, representado pelo CiteScore.

Para Garrido-Cardenas et al. (2018), o aumento no interesse pelas pesquisas científicas sobre biotecnologia de microalgas foi devido ao rápido crescimento de instalações para processamento de produtos à base de microalgas, como por exemplo, os compostos de alto valor, como carotenoides e ácidos graxos; nutracêuticos, alimentos e rações;

biomassa para produção de biofertilizantes e biocombustíveis; e biorremediação para águas residuais e gases de combustão.

4.4. Análise de Palavras-chave

Como critério para a análise, foi feita a exclusão da ocorrência das palavras utilizadas como fonte de pesquisa na base de dados Scopus, ou seja, “tratamento de águas residuais”, “microalgas”, e suas variações. Foram agrupados manualmente os termos, e como critério, selecionaram-se as 12 palavras com frequência maior que 250. Estes resultados estão apresentados no diagrama de barras da Figura 3. A palavra “biomassa” é a que possui a maior frequência, correspondendo a 778 vezes, seguida por “biocombustível” (632 vezes), “nutrientes” (494 vezes), “azoto” (481 vezes) e “lipídico” (464 vezes). “Biomassa”, “biocombustível” e “nutrientes” se destacam, aparecendo em 37,1% de todas as publicações.

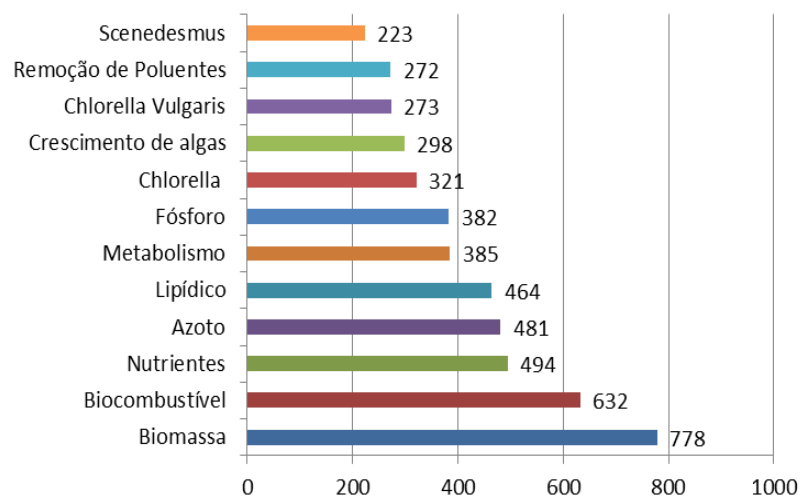
Para Mao et al. (2018), a análise de co-palavras é uma técnica muito valiosa para a verificação de conteúdo de publicações e serve para mostrar o destaque e as tendências de pesquisa, assim como os pontos críticos em diferentes campos.

A análise das palavras-chave forneceu um bom indicativo sobre o desenvolvimento das pesquisas no campo temático estudado. Quando a frequência de repetições é alta, indica que muitas pesquisas estão sendo desenvolvidas nesta área, como, por exemplo, o cultivo de microalgas ligado à “biomassa”, “biocombustíveis” e “nutrientes”. Também revelou informações sobre as espécies de microalgas estudadas, como a “*Chlorella*”, a “*Chlorella Vulgaris*” e a “*Scenedesmus*”.

Em contrapartida, quando a ocorrência de palavras-chave é baixa, pode ser um indicativo de carência de pesquisas, sugerindo um campo de estudo futuro do assunto no meio acadêmico. As palavras-chave que apresentaram menor ocorrência, como por exemplo, “adsorção”, “metais pesados”, “biofilme”, “imobilização”, “metano”, “floculação”, indicam uma lacuna no campo de pesquisas nestas áreas, uma vez que estão relacionadas às questões muito relevantes dentro do tema. A colheita de microalgas é considerada como um fator limitante ao cultivo, devido ao alto custo requerido com energia (ANSARI et al., 2019). Porém houve uma baixa frequência de

repetição desta palavra, aparecendo 78 vezes. Assim, estudos sobre métodos viáveis de colheita, são orientações importantes para futuras pesquisas.

Figura 3. Distribuição das 12 palavras-chaves com maiores ocorrências

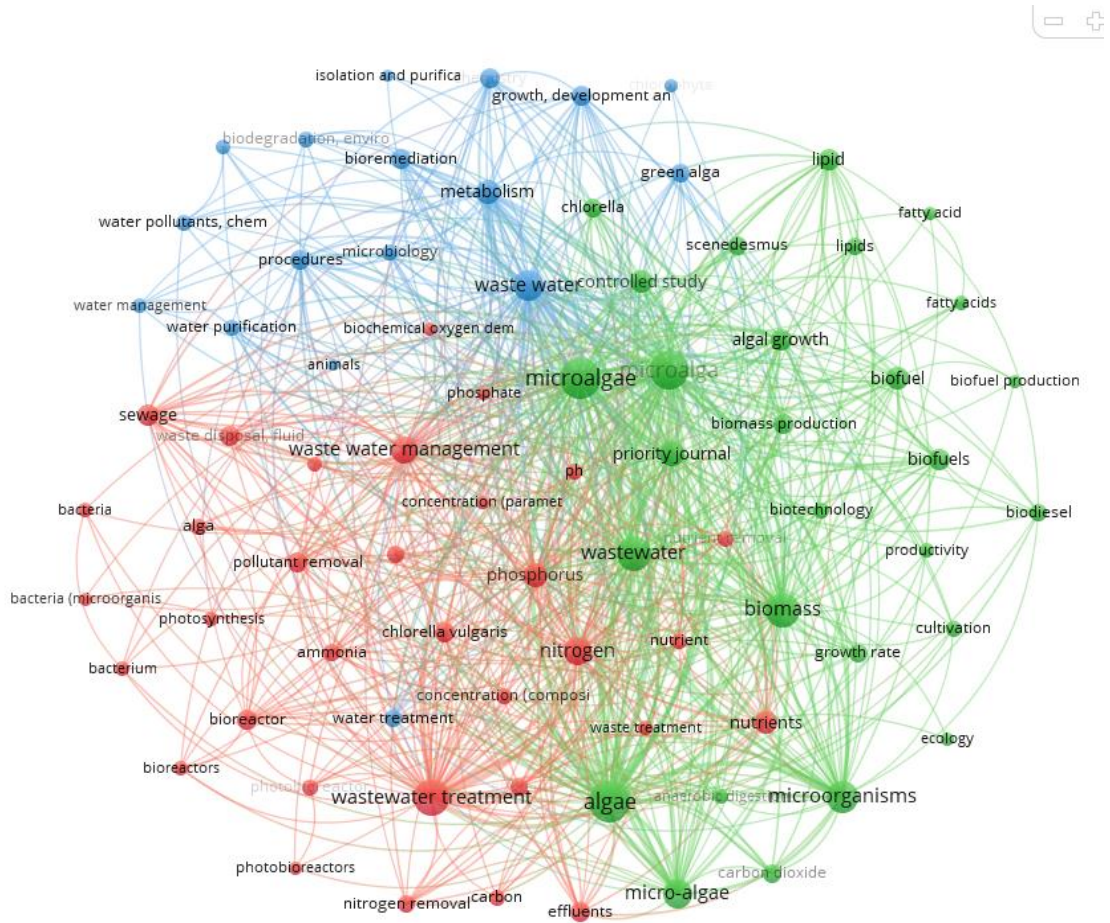


Fonte: Elaborada pelos Autores, 2019.

Com o auxílio do VOSviewer, foi feita a distribuição dos grupos e as conexões estabelecidas de todas as palavras-chave identificadas nos 1758 artigos, como mostrado na Figura 4. Três grupos podem ser observados, representados por três cores. O grupo verde, com a palavra-chave “microalga” no centro, possui fortes conexões com as palavras-chave “biomassa”, “crescimento de algas” e “biocombustível”, sugerindo a relevância das pesquisas relacionadas com as condições de cultura de microalgas para a produção de biocombustíveis.

O grupo vermelho, cuja palavra central é “tratamento de esgoto”, está ligado fortemente às palavras-chave “nitrogênio”, “remoção de poluentes” e “*Chlorella Vulgaris*”, denotando o uso da *Chlorella Vulgaris* na remoção de poluentes e nitrogênio de águas residuais. O grupo azul está centrado na palavra-chave “águas residuais”, e estabelece maiores conexões com “metabolismo”, “biorremediação” e “desenvolvimento e crescimento”, apontando uma forte influência de pesquisas com foco no aperfeiçoamento das condições metabólicas associadas à biorremediação.

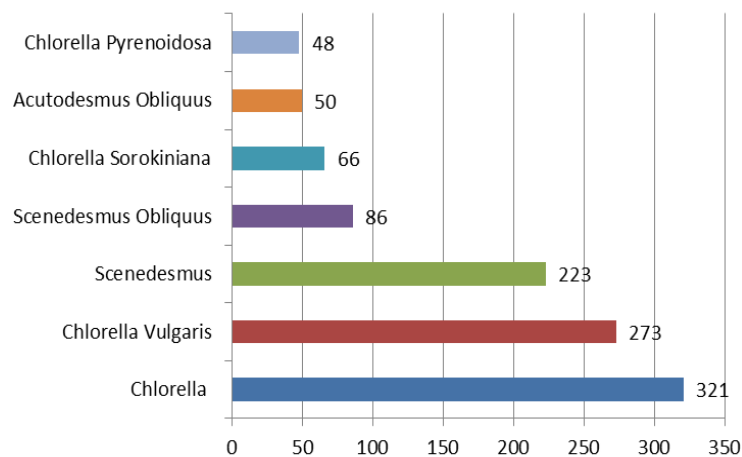
Figura 4. Palavras-chave e suas conexões (VOSviewer)



Fonte: Elaborada pelos Autores, 2019.

A Figura 5 mostra as sete espécies de microalgas, que aparecem com maior frequência, usadas para biorremediação de águas residuais, presentes nas 1758 publicações analisadas. A microalga *Chlorella* (321 vezes), *Chlorella Vulgaris* (273 vezes) e *Scenedesmus* (223 vezes) aparecem numa ocorrência de mais de 200 vezes cada uma, indicando uma forte tendência de pesquisas com estas espécies para o tratamento de efluentes residuais. A microalga do tipo *Chlorella Pyrenoidosa* aparece na última posição, com uma frequência de 48 vezes. A análise dos tipos de microalgas constantes nas palavras-chave fornece um bom indicativo sobre as espécies que estão apresentando melhor desempenho nas pesquisas.

Figura 5. Distribuição das 7 espécies de microalgas com maior ocorrência nas palavras-chave



Fonte: Elaborada pelos Autores, 2019.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho avaliou as pesquisas sobre tratamento de águas residuais com microalgas no período de 1979 a 2018, por meio de análise bibliométrica, com o objetivo de revelar o status atual das tendências das pesquisas no meio científico e sugerir o desenvolvimento de novos estudos. Foram recuperados 1758 artigos na base de dados do Scopus, da Editora Elsevier, publicados por 127 instituições em 88 países.

As tendências de crescimento foram estudadas por meio da análise de regressão linear, indicando um grande avanço do número de pesquisas nos últimos 40 anos. A China e os Estados Unidos foram os países com maior número de publicações e maior colaboração entre eles. A Bioresource Technology foi apontada como a revista que, além de deter o maior número de publicações, também apresentou a maior quantidade de citações (8893) e o maior índice-*h* ($h-i=60$).

Os resultados da análise de palavras-chave mostram que as pesquisas concentram-se em três questões, que são os estudos sobre microalgas, com foco principalmente na produção de biomassa, métodos de cultivo e desenvolvimento de biocombustíveis; estudos sobre tratamento de águas residuais, focando na remoção de poluentes e de nitrogênio, usando a espécie *Chlorella Vulgaris*, com maior frequência; estudos sobre

águas residuais, com fortes tendências em pesquisas sobre o metabolismo, biorremediação e melhoramento do crescimento das microalgas.

A microalga *Chlorella* (321 vezes), *Chlorella Vulgaris* (273 vezes) e *Scenedesmus* (223 vezes) apareceram numa ocorrência de mais de 200 vezes cada uma, indicando uma forte tendência de pesquisas com estas espécies para o tratamento de efluentes residuais.

A co-ocorrência da palavra-chave “colheita” foi baixa, indicando uma lacuna no campo de pesquisas nesta área. Uma vez que este termo está relacionado às questões muito relevantes dentro do tema, por ser considerada como um fator limitante ao cultivo devido ao alto custo associado, este artigo aponta para a necessidade de estudos futuros sobre métodos viáveis de colheita.

Neste artigo, ficou evidente que o tema de pesquisa analisado mostrou-se de relevante interesse científico, uma vez que o número de publicações foi grande em periódicos de alto impacto. Finalmente, este estudo forneceu uma análise para ampliar o conhecimento sobre as publicações relacionadas ao assunto, permitindo que os pesquisadores concentrem suas pesquisas no preenchimento de lacunas no assunto e contribuam de maneira mais eficaz para a ciência, fornecendo uma referência útil para acadêmicos, pesquisadores e tomadores de decisão.

Referências

ABDEL-RAOUF, N.; AL-HOMIDAN, A.A.; IBRAHEEM, I.BM. Microalgae and wastewater treatment. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 19, n. 3, p. 257-275, 2012.

ANSARI, Ahmad; RAVINDRAN, Balasubramani; GUPTA, Sanjay Kumar; NARS, Mahmoud; RAWAT, Ismail; BUX, Faizal. Techno-economic estimation of wastewater phycoremediation and environmental benefits using *Scenedesmus obliquus* microalgae. **Journal of Environmental Management**, v. 240, p. 293-302, 2019.

CHEAH, Wai Yan; SHOW, Pau Loke; JUAN, Joon Ching; CHANG, Jo-Shu; LING, Tau Chuan. Microalgae cultivation in palm oil mill effluent (POME) for lipid production and pollutants removal. **Energy Conversion and Management**, v. 174, n. 15, p. 430-438, 2018.

CHUEKE, Gabriel Vouga; AMATUCCI, Marcos. O que é bibliometria? Uma introdução ao Fórum. **Revista Eletrônica de Negócios Internacionais**, v. 10, n. 2, p. 1-5, 2015.

ELSEVIER, Editora. Disponível em <<https://www.elsevier.com/pt-br/solutions/scopus>>. Acesso em 20 nov. 2019.

GARRIDO-CARDENAS, Jose Antonio; MANZANO-AGUGLIARO, Francisco; ACIEN-FERNADEZ, Francisco Gabriel; MOLINA-GRIMA, Emilio. Microalgae research worldwide. **Algal Research**, v. 35, p. 50-60, 2018.

GONÇALVES, Ana L.; PIRES, José C. M.; SIMÕES, Manuel. A review on the use of microalgal consortia for wastewater treatment. **Algal Research**, v. 24, p. 403-415, 2017.

HENKANATTE-GEDERA, S.M; SELAVARATNAM, T.; KARBAKHSHRAVARI, M.; MYINT, M.; NIRMALAKHANDAN, N.; VAN VOORHIES, W.; LAMMERS, Peter J. Removal of dissolved organic carbon and nutrients from urban wastewaters by *Galdieria sulphuraria*: Laboratory to field scale demonstration. **Algal Research**, v. 24, p. 450-456, 2017.

KAMDEM, Jean Paul; DUARTE, Antonia Eliene; LIMA, Kátia Regina Rodrigues; rocha, João Batista Teixeira; HASSAN, Waseem; BARROS, Luiz Marivando; ROEDER, Thomas; TSOPMO, Apollinaire. Research trends in food chemistry: A bibliometric review of its 40 years anniversary (1976–2016). **Food Chemistry**, v.294, p. 448-457, 2019.

KHUDZARI, Jauharah Md; KURIAM, Jiby; TARTAKOVSKY, Boris; RAGHAVAN, G.S.Vijaya. Bibliometric analysis of global research trends on microbial fuel cells using Scopus database. **Biochemical Engineering Journal**, v. 136, p. 51-60, 2018.

LAHIRI, S.; KUMAR, V. Ranking international business institutions and faculty members using research publication as the measure. **Management International Review**, v.52, p. 317-340, 2012.

LI, Jing; WU, Dengsheng; LI, Jianping; LI, Minglu. A comparison of 17 article-level bibliometric indicators of institutional research productivity: Evidence from the information management literature of China. **Information Processing & Management**, v. 53, n. 5, p. 1156-1170, 2017.

LI, Nan; HAN, Ruru; LU, Xiaohui. Bibliometric analysis of research trends on solid waste reuse and recycling during 1992–2016. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 130, p. 109-117, 2018.

MANARA, P.; ZABANIOTOU, A. Towards sewage sludge based biofuels via thermochemical conversion - a review. **Renew. Sustainable Energy Rev.**, v. 16, p. 2566-2582, 2012.

MAO, Guozhu; LIU, Xi; DU, Huibin; ZUO, Jian; WANG, Linyuan. Way forward for alternative energy research: A bibliometric analysis during 1994–2013. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 48, p. 276-286, 2015.

MAO, Guozhu; HUANG, Ning; CHEN, Lu; WANG, Hongmei. Research on biomass energy and environment from the past to the future: A bibliometric analysis. **Science of The Total Environment**, v. 635, p. 1081-1090, 2018.

OKUBO, Yoshiko – Bibliometric indicators and analysis of research systems: methods and examples. **OECD Science, Technology and Industry Working Papers**. 71 p., 1997.

PATEL, B.; GUO, M.; IZADPANA, A.; SHAH, N.; HELLGARDT, K. A review on hydrothermal pre-treatment technologies and environmental profiles of algal biomass processing. **Bioresource Technology**, v. 199, p. 288-299, 2016.

RAJASULOCHANA, P.; PREETHY, V. Comparison on efficiency of various techniques in treatment of waste and sewage water – A comprehensive review. **Resource-Efficient Technologies**, v. 2, n. 4, p. 175-184, 2016.

VAN DEN HENDE, Sofie; VERVAEREN, Han; DESMET, Sem; BOON, Nico. Biofloculation of microalgae and bacteria combined with flue gas to improve sewage treatment. **New Biotechnology**, v. 29, n. 1, p. 23-31, 2011.

VANZETTO, Guilherme Vitor; THOMÉ, Antonio. Bibliometric study of the toxicology of nano-scale zero valent iron used in soil remediation. **Environmental Pollution**, v.252, p. 74-83, 2019.

WAYNE, Chew Kit; REEN, Chia Shir; SHOW, Pau Loke; JIUN, Yap Yee; CHUAN, Ling Tau; CHANG, Lo-Shu. Effects of water culture medium, cultivation systems and growth modes for microalgae cultivation: A review. **Journal of the Tiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 91, p. 332-344, 2018.

ZHU, A.; GUO, J.; NI, B.J.; WANG, S.; YANG, Q.; PENG, Y. Um novo protocolo para calibração de modelo no tratamento biológico de águas residuais. **Science Rep.**, v. 5, p. 84-93, 2015.

Recebido em: 14/05/2020

Aceito em: 05/12/2020

Endereço para correspondência:

Nome: Aline Antonia Castro

Email: alineantoniacaastro@yahoo.com.br



Esta obra está licenciada sob uma [Licença Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)