

Modelagem do crescimento de microalgas: Um estudo bibliométrico

Modeling the growth of microalgae: A bibliometric study

Modelado del crecimiento de microalgas: Un estudio bibliométrico

Vinícius Molini Benedito

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: vinicius.mb@hotmail.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

Rodrigo Randow de Freitas

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

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: digorandow@gmail.com

Recebido: 11/07/2018 – Aceito: 16/08/2018

Resumo

As microalgas são sugeridas como fontes promissoras para a produção de biocombustíveis, por serem capazes de conter grandes quantidades de lipídeos. O desenvolvimento de modelos de crescimento de microalgas para a síntese de lipídeos com relação a nutrientes e luz, são extremamente importantes para prever a produção de lipídeos e ajudar a melhorar o processo de produção. Este trabalho tem por objetivo selecionar artigos relevantes para compor um portfólio de referenciais bibliográficos sobre o tema “Modelagem de crescimento de microalgas”, utilizando a plataforma *Web of Science* e variadas técnicas de refino de artigos. Foram selecionados 13 artigos mais relevantes alinhados com o tema de pesquisa. A análise bibliométrica destes artigos mostraram que o tema é viável e possui um crescente número de publicações e citações nos últimos anos em vários países. Por fim, foi realizada uma análise qualitativa dos artigos e estudada a relação entre vários grupos de pesquisa do mundo ao tema de pesquisa, através dos softwares *CiteSpace* e *Google Earth*.

Palavras-chave: Bibliometria; Lipídeos; Biodiesel; Base de dados.

Abstract

Microalgae are suggested as promising sources for the production of biofuels because they are capable of containing large amounts of lipids. The development of microalgae growth models for lipid synthesis in relation to nutrients and light are extremely important in predicting lipid production and helping to improve the production process. This work aims to select relevant articles to compose a portfolio of bibliographic references on the theme "Microalgae growth modeling", using the Web of Science platform and various techniques of article refining. We selected 13 more relevant articles in line with the research theme. The bibliometric analysis of these articles showed that the theme is viable and has a growing number of publications and citations in recent years in several countries. Finally, a qualitative analysis of the articles was carried out and the relationship between several research groups from the world to the research theme was studied through the CiteSpace and Google Earth softwares.

Keywords: Bibliometrics; Lipids; Biodiesel; Database.

Resumen

Las microalgas son sugeridas como fuentes prometedoras para la producción de biocombustibles, por ser capaces de contener grandes cantidades de lípidos. El desarrollo de modelos de crecimiento de microalgas para la síntesis de lípidos con relación a nutrientes y luz, son extremadamente importantes para predecir la producción de lípidos y ayudar a mejorar el proceso de producción. Este trabajo tiene por objetivo seleccionar artículos relevantes para componer una cartera de referencias bibliográficas sobre el tema "Modelado de crecimiento de microalgas", utilizando la plataforma Web of Science y variadas técnicas de refinamiento de artículos. Se seleccionaron 13 artículos más relevantes alineados con el tema de investigación. El análisis bibliométrico de estos artículos mostró que el tema es viable y tiene un creciente número de publicaciones y citas en los últimos años en varios países. Por último, se realizó un análisis cualitativo de los artículos y estudió la relación entre varios grupos de investigación del mundo al tema de investigación, a través del software CiteSpace y Google Earth.

Palabras clave: Bibliometría; lípidos; biodiesel; Base de datos.

1. Introdução

Atualmente há uma enorme procura mundial por fontes energéticas sustentáveis. Justificada pelos grandes impactos ambientais gerados pelo consumo das fontes atuais de

energia, principalmente combustíveis fósseis. Por exemplo, a crescente concentração de CO₂ atmosférico é considerada a principal razão para o aquecimento global e pode ter consequências catastróficas para o meio ambiente (CHANG et al., 2016).

As microalgas receberam assim uma atenção no âmbito das energias renováveis, pois usam fótons como fonte de energia para fixar dióxido de carbono (CO₂), reduzindo-o do ar atmosférico. O seu elevado rendimento fotossintético, comparado com plantas terrestres, conduz a grandes produções de biomassa microalgal. Essa biomassa pode atingir um teor lipídico alto (60% do peso seco sob certas condições de estresse), assim, essas possibilidades levaram alguns autores a considerar as microalgas como uma das principais fontes de biocombustíveis para o futuro (BERNARD, 2011).

Além disso, elas podem ser utilizadas como matéria-prima para a produção de uma infinidade de bioprodutos, como combustíveis, produtos químicos, materiais, alimentos para animais e suplementos alimentares (FOLEY, BEACH, ZIMMERMAN, 2011).

A elevação da taxa de fixação de CO₂ na fotossíntese de microalgas é um importante tema e é buscado por diversos pesquisadores. Por exemplo, para aumentar a biofixação de CO₂ é importante manter as microalgas sob condições de cultivo otimizadas, e a este respeito, é necessário dispor de modelos cinéticos de crescimento microalgal, que sejam capazes de elucidar quantitativamente as influências de parâmetros operacionais cruciais (intensidade de luz, taxa de arejamento, concentração de CO₂, etc.) no crescimento de microalgas (CHANG et al., 2016).

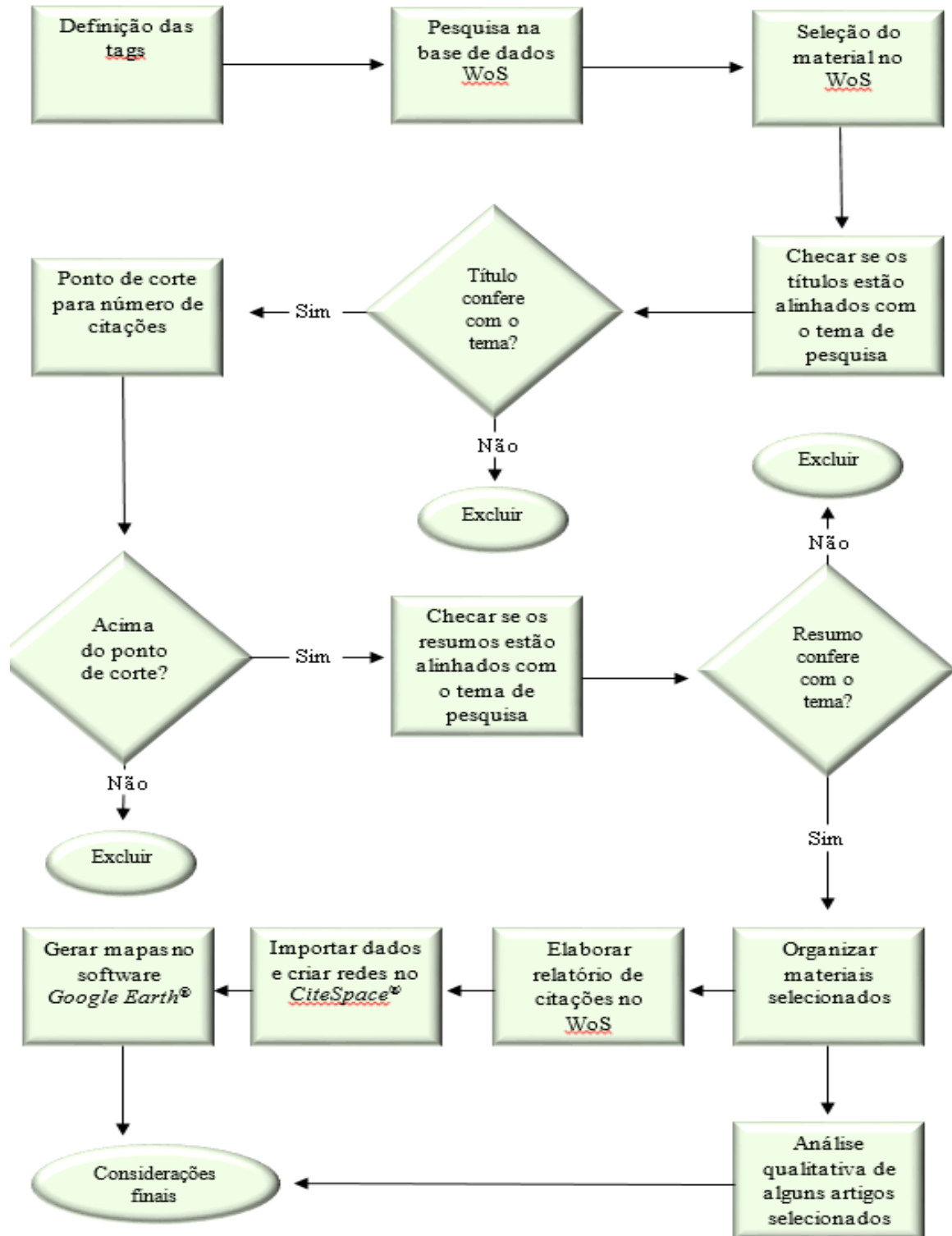
Portanto, o desenvolvimento e aplicação de modelos matemáticos que levem em conta os efeitos acoplados de intensidade de luz e concentração de nutrientes é necessário para otimizar as condições de cultivo para o crescimento máximo de microalgas e biofixação de CO₂ (CHANG et al., 2016).

Com o exposto, vê-se o potencial das microalgas na geração de biocombustíveis, assim como a aplicação de modelos matemáticos que potencialize a sua produção. Desta forma, observa-se uma oportunidade para a execução de uma análise bibliométrica que gere um portfólio de estudos de excelência acadêmica sobre este assunto. Assim, este artigo visa mapear o desenvolvimento da atividade científica do tema “Modelagem do crescimento de microalgas”, através da ferramenta de pesquisa acadêmica *Web of Science – WoS* (plataforma do periódico Capes) e dos softwares *CiteSpace*[®] e *Google Earth*[®].

2. Metodologia aplicada

A metodologia utilizada no presente estudo pode ser visualizada no fluxograma abaixo (Figura 1), sendo analisado com maior detalhe nas seções seguintes.

Figura 1 – Fluxograma do processo de seleção, refino e análise de materiais científicos.



Fonte: Elaborado pelos autores.

2.1. Definição de tags

Utilizou-se neste trabalho como base de dados a plataforma *Web of Science*, que possui periódicos de grande relevância para o meio acadêmico e científico, sendo selecionado primeiramente, todo o período disponível pela base (1945 até 2018).

As palavras-chave (*tags*) foram definidas de acordo com o tema principal deste estudo, “Modelagem do crescimento de microalgas”, elas determinam o foco da pesquisa. As *tags* foram definidas e pesquisadas da seguinte maneira: “*modeling growth microalgae*” or “*Modeling growth microalgae Nannochloropsis oculata*”. Após sua definição e pesquisa na base de dados *Web of Science*, gerou-se uma quantidade aceitável de referências. Deste modo, deu-se início ao refino e seleção dos resultados gerados.

3. Resultados e Discussão

3.1. Seleção de materiais para composição do portfólio

Utilizando as palavras-chave definidas, a busca na base de dados *Web of Science* retornou um total de 1.360 publicações, sendo que devido à grande quantidade de material encontrado, foi feito inicialmente, uma seleção dentro da própria base de dados, selecionando-se apenas artigos científicos de língua inglesa publicados nos últimos 15 anos (2003 a 2018). Após este primeiro refino, restaram 909 artigos, que foram exportados para uma planilha do *Microsoft Excel*[®] para a realização das demais etapas presentes no fluxograma da Figura 1.

Passada esta etapa, foi checado na própria planilha gerada cada um dos 909 títulos dos artigos, de modo a excluir os títulos não relacionados ao tema de pesquisa, restando apenas 163 artigos com títulos alinhados.

De posse dessas informações, foi aplicado o método descrito por Lacerda (2012), que baseia-se em um valor de corte para os artigos mais citados. Os artigos foram ordenados de forma decrescente em relação ao número de citações, até que suas citações representem um valor próximo de 80% de todas as citações obtidas pelos 163 artigos analisados. Após esta análise, restaram 44 artigos, ou seja, apenas 27% do total de artigos detinham 80% das citações.

Posteriormente foi checado cada um dos resumos dos 44 artigos selecionados, excluindo os que não eram exatamente o foco do tema de pesquisa. Desta forma, restaram 13

manuscrtos que atendiam a todos os critérios definidos no fluxograma apresentado na Figura 1. Esses 13 artigos compuseram o portfólio de pesquisa sobre modelagem de crescimento de microalgas (Tabela 1).

Tabela 1 – Lista dos artigos selecionados para o portfólio.

XIN, Li et al. Effects of different nitrogen and phosphorus concentrations on the growth, nutrient uptake, and lipid accumulation of a freshwater microalga *Scenedesmus* sp. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 101, n. 14, p.5494-5500, jul. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.016>.

BERNARD, Olivier. Hurdles and challenges for modelling and control of microalgae for CO₂ mitigation and biofuel production. **Journal Of Process Control**, [s.l.], v. 21, n. 10, p.1378-1389, dez. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jprocont.2011.07.012>.

QUINN, Jason; WINTER, Lenneke de; BRADLEY, Thomas. Microalgae bulk growth model with application to industrial scale systems. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 102, n. 8, p.5083-5092, abr. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2011.01.019>.

PACKER, Aaron et al. Growth and neutral lipid synthesis in green microalgae: A mathematical model. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 102, n. 1, p.111-117, jan. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.029>.

CHANG, Hai-xing et al. Kinetic characteristics and modeling of microalgae *Chlorella vulgaris* growth and CO₂ biofixation considering the coupled effects of light intensity and dissolved inorganic carbon. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 206, p.231-238, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.01.087>.

HUESEMANN, M. H. et al. A screening model to predict microalgae biomass growth in photobioreactors and raceway ponds. **Biotechnology And Bioengineering**, [s.l.], v. 110, n. 6, p.1583-1594, 17 jan. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/bit.24814>.

CONCAS, Alessandro et al. Comprehensive modeling and investigation of the effect of iron on the growth rate and lipid accumulation of *Chlorella vulgaris* cultured in batch photobioreactors. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 153, p.340-350, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.11.085>.

YANG, Jinshui et al. Mathematical model of *Chlorella minutissima* UTEX2341 growth and lipid production under photoheterotrophic fermentation conditions. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 102, n. 3, p.3077-3082, fev. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.049>.

ADESANYA, Victoria O. et al. Kinetic modelling of growth and storage molecule production in microalgae under mixotrophic and autotrophic conditions. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 157, p.293-304, abr. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.032>.

HAN, Feifei et al. Enhancement of microalgal biomass and lipid productivities by a model of photoautotrophic culture with heterotrophic cells as seed. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 118, p.431-437, ago. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.05.066>.

HE, Lian; SUBRAMANIAN, Venkat R.; TANG, Yinjie J.. Experimental analysis and model-based optimization of microalgae growth in photo-bioreactors using flue gas. **Biomass And Bioenergy**, [s.l.], v. 41, p.131-138, jun. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.02.025>.

RUIZ, J. et al. Photobiotreatment model (PhBT): a kinetic model for microalgae biomass growth and nutrient removal in wastewater. **Environmental Technology**, [s.l.], v. 34, n. 8, p.979-991, abr. 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2012.724451>.

ÇELEKLI, Abuzer; YAVUZATMACA, Mehmet; BOZKURT, Hüseyin. Modeling of biomass production by *Spirulina platensis* as function of phosphate concentrations and pH regimes. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 100, n. 14, p.3625-3629, jul. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.055>.

Adaptado de: *Web of Science*.

Esta tabela mostra as principais referências a serem utilizadas no referencial bibliográfico do tema “Modelagem de crescimento de microalgas”.

3.2. Análise Bibliométrica

A análise bibliométrica do portfólio de artigos selecionados foi dividida em duas partes, a primeira corresponde ao relatório de citações que é uma análise quantitativa dos artigos, e a segunda corresponde a uma análise qualitativa dos artigos selecionados. Elas serão detalhadas nos tópicos a seguir.

3.2.1. Relatório de Citações

Os artigos selecionados estão dispostos na Tabela 2, em ordem decrescente de citações por ano, assim como a listagem do ano de publicação, título do artigo, periódicos e total de citações.

Tabela 2 – Relação dos artigos com número de citações por ano.

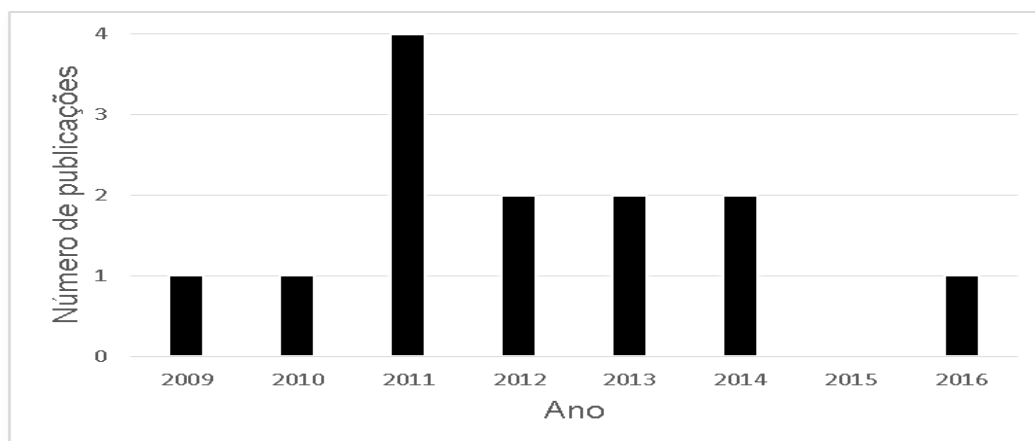
TÍTULO	TÍTULO DA FONTE	ANO DA PUBLICAÇÃO	TOTAL DE CITAÇÕES	CITAÇÃO POR ANO
EFFECTS OF DIFFERENT NITROGEN AND PHOSPHORUS CONCENTRATIONS ON THE GROWTH, NUTRIENT UPTAKE, AND LIPID ACCUMULATION OF A FRESHWATER MICROALGA SCENEDESMUS SP.	<i>Bioresource Technology</i>	2010	350	38,89
HURDLES AND CHALLENGES FOR MODELLING AND CONTROL OF MICROALGAE FOR CO2 MITIGATION AND BIOFUEL PRODUCTION	<i>Journal of Process Control</i>	2011	125	15,63
MICROALGAE BULK GROWTH MODEL WITH APPLICATION TO INDUSTRIAL SCALE SYSTEMS	<i>Bioresource Technology</i>	2011	90	11,25
GROWTH AND NEUTRAL LIPID SYNTHESIS IN GREEN MICROALGAE: A MATHEMATICAL MODEL	<i>Bioresource Technology</i>	2011	80	10
KINETIC CHARACTERISTICS AND MODELING OF MICROALGAE CHLORELLA VULGARIS GROWTH AND CO2 BIOFIXATION CONSIDERING THE COUPLED EFFECTS OF LIGHT INTENSITY AND DISSOLVED INORGANIC CARBON	<i>Bioresource Technology</i>	2016	26	8,67
A SCREENING MODEL TO PREDICT MICROALGAE BIOMASS GROWTH IN PHOTOBIOREACTORS AND RACEWAY PONDS	<i>Biotechnology and Bioengineering</i>	2013	43	7,17
COMPREHENSIVE MODELING AND INVESTIGATION OF THE EFFECT OF IRON ON THE GROWTH RATE AND LIPID	<i>Bioresource Technology</i>	2014	33	6,60

ACCUMULATION OF CHLORELLA VULGARIS CULTURED IN BATCH PHOTOBIOREACTORS				
MATHEMATICAL MODEL OF CHLORELLA MINUTISSIMA UTEX2341 GROWTH AND LIPID PRODUCTION UNDER PHOTOHETEROTROPHIC FERMENTATION CONDITIONS	<i>Bioresource Technology</i>	2011	51	6,38
KINETIC MODELLING OF GROWTH AND STORAGE MOLECULE PRODUCTION IN MICROALGAE UNDER MIXOTROPHIC AND AUTOTROPHIC CONDITIONS	<i>Bioresource Technology</i>	2014	30	6
ENHANCEMENT OF MICROALGAL BIOMASS AND LIPID PRODUCTIVITIES BY A MODEL OF PHOTOAUTOTROPHIC CULTURE WITH HETEROTROPHIC CELLS AS SEED	<i>Bioresource Technology</i>	2012	29	4,14
EXPERIMENTAL ANALYSIS AND MODEL-BASED OPTIMIZATION OF MICROALGAE GROWTH IN PHOTO-BIOREACTORS USING FLUE GAS	<i>Biomass & Bioenergy</i>	2012	28	4
PHOTOBIO-TREATMENT MODEL (PHBT): A KINETIC MODEL FOR MICROALGAE BIOMASS GROWTH AND NUTRIENT REMOVAL IN WASTEWATER	<i>Environmental Technology</i>	2013	23	3,83
MODELING OF BIOMASS PRODUCTION BY SPIRULINA PLATENSIS AS FUNCTION OF PHOSPHATE CONCENTRATIONS AND PH REGIMES	<i>Bioresource Technology</i>	2009	23	2,30

Adaptado de: *Web of Science*.

A análise dos dados da Tabela 2 demonstra que todos os 13 artigos selecionados possuem, somados, 931 citações, com uma média de 71,62 citações por item. Além disso, os artigos são datados de 2009 até 2016, gerando um número de 93,10 citações por ano. Também de modo a avaliar o comportamento de publicação dos autores no tema de pesquisa, desenvolveu-se a Figura 3, que mostra a relação da quantidade de publicações por ano.

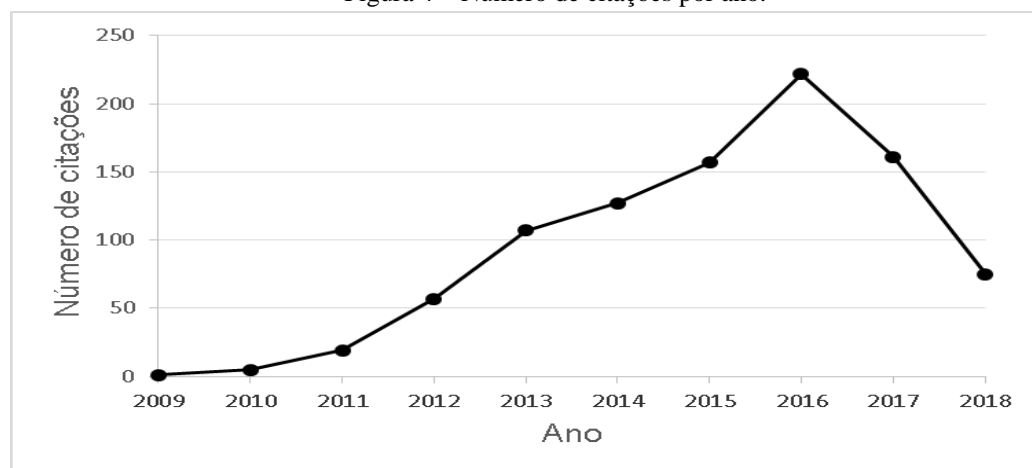
Figura 3 – Quantidade de publicações por ano.



Adaptado de: *Web of Science*.

A pequena amostra de artigos selecionados causou uma falta de uniformidade no crescimento do número de publicações, visto na Figura 3. Desta maneira, fez-se necessário também elaborar uma análise quanto ao número de citações gerados por estas publicações no decorrer dos anos, como demonstrado pela Figura 4.

Figura 4 – Número de citações por ano.



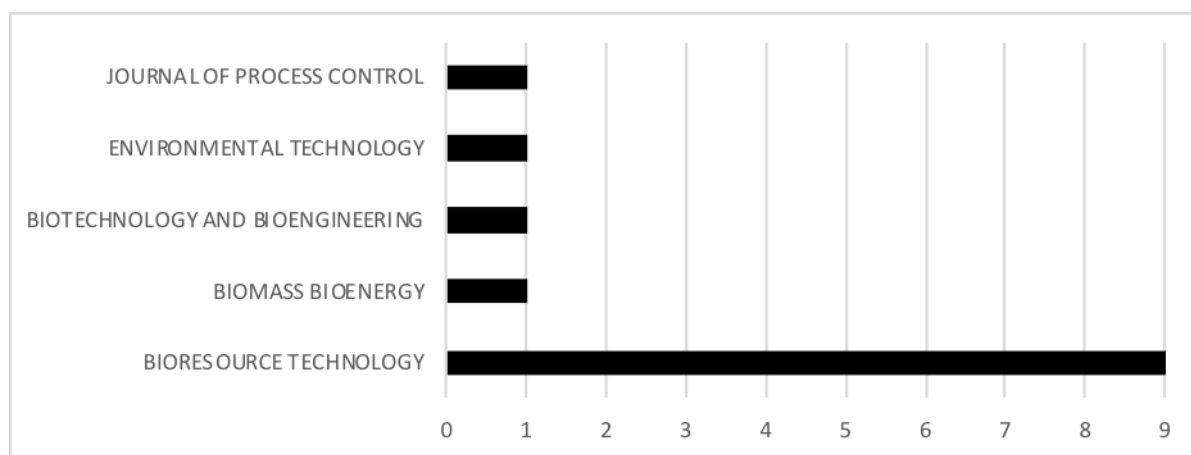
Adaptado de: *Web of Science*.

Através da Figura 4, observa-se o aumento do número de citações por parte dos artigos selecionados para o portfólio no decorrer dos anos, tendo seu máximo no ano de 2016. A partir do ano de 2016 começa um decréscimo do número de citações, que pode ser explicado

pela proximidade dos anos com a data de análise, e no caso de 2018, pelo ano não ter se encerrado no momento da análise. A tendência é que, em uma nova análise feita daqui alguns anos, os anos de 2017 e 2018 tenham mais citações do que no ano de 2016.

O periódico ao qual um artigo é publicado mostra sua relevância para a sociedade acadêmica. O tema proposto neste trabalho possui artigos publicados nas mais diversas revistas científicas, com distintas avaliações, e diferentes temas de pesquisa. As revistas relacionadas aos 13 artigos selecionados para o portfólio são mostradas na Figura 5.

Figura 5 – Apresentação dos periódicos com sua respectiva quantidade de artigos publicados.



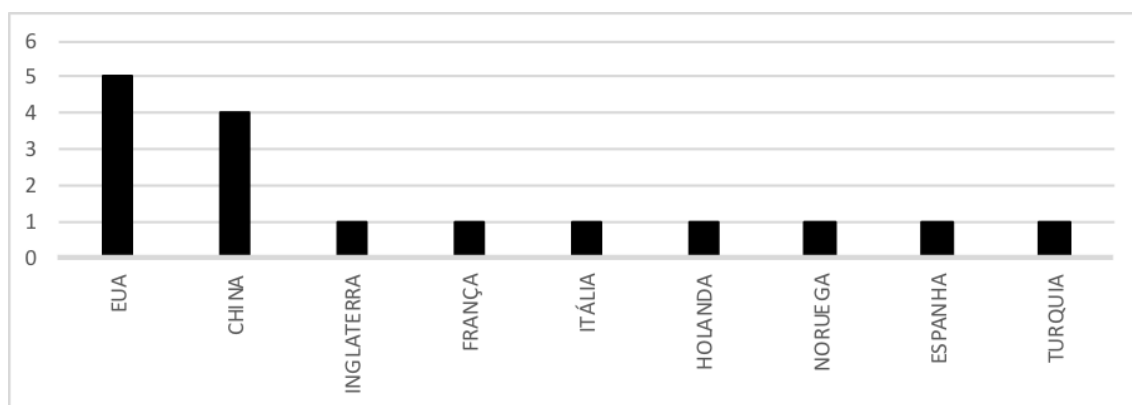
Adaptado de: *Web of Science*.

De acordo com Barata (2016) o Qualis Periódicos é um dos instrumentos fundamentais para a avaliação do quesito produção intelectual, agregando o aspecto quantitativo ao qualitativo. A revista com a maior quantidade de publicação entre os artigos selecionados para o portfólio possui o maior conceito Qualis Capes, A1, de acordo com pesquisa feita na plataforma *Sucupira*. Este fato mostra a grande relevância que os artigos selecionados possuem para a sociedade acadêmica.

De modo a ver a relação de países que estão realizando pesquisas sobre a modelagem do crescimento de microalgas, elaborou-se o gráfico da Figura 6.

Tem-se os Estados Unidos como líder em termos de publicações neste tema, fato justificado por ser um país pioneiro em pesquisas científicas, mantendo-se como uma potência. Também é importante destacar a participação da China em pesquisas científicas, fato corroborado por Jabbour (2008) ao mostrar que a China se mostra voltada a grandes investimentos em Ciência e Tecnologia, em resposta à iminência de problemas gerados pela escassez de recursos energéticos, degradação do meio ambiente e principalmente emissão de CO₂ (SUELA et al., 2018).

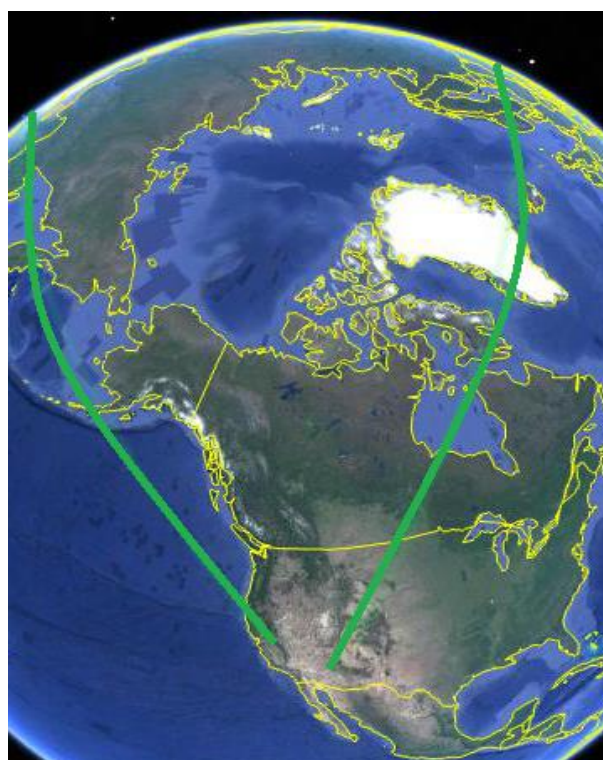
Figura 6 – Relação de países por publicações.



Adaptado de: *Web of Science*.

Para se avaliar o relacionamento entre os autores e coautores no mundo, fez-se o uso do software *CiteSpace* para projeção das redes de parcerias de grupo de pesquisa, e através de sua função *geographical* gerou-se os gráficos por intermédio do software *Google Earth* (Figuras 7 e 8).

Figura 7 – Mapa do *Google Earth* gerado pelo *CiteSpace*.

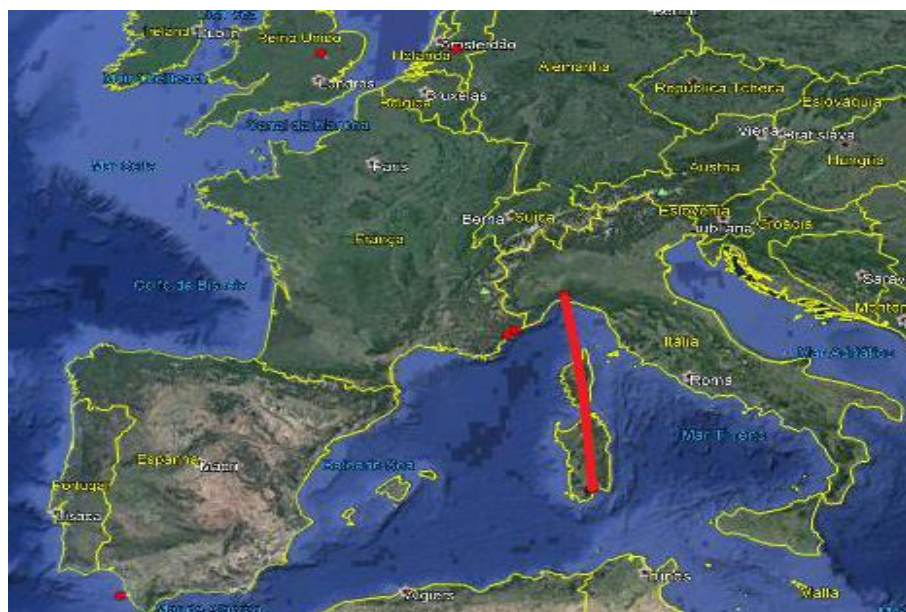


Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Figura 7 nota-se os relacionamentos intercontinentais entre grupos de pesquisa dando destaque para a conexão dos Estados Unidos com a Noruega e China. A direta vê-se a parceria entre a Universidade do Arizona (EUA) com a Universidade de Oslo (Noruega), já a

esquerda a parceria entre a Universidade da Califórnia (EUA) e a Universidade de Pequim (China).

Figura 8 – Mapa do *Google Earth* gerado pelo *CiteSpace*.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Analisando a Figura 8 dá-se destaque para a conexão entre grupos de pesquisa da Itália, mais precisamente localizados em Génova e Cagliari. Nota-se também a existência de grupos de pesquisa isolados, localizados na Espanha, França, Reino Unido e Países Baixos.

Trabalhos em coautoria nos anos mais recentes estão ligados por linhas em vermelho, enquanto que as colaborações mais antigas são mostradas em linhas verde ou azul. Deste modo, as relações dos grupos de pesquisa de Estados Unidos, Noruega e China são mais antigas do que aquelas entre os grupos de pesquisa na Itália.

3.2.2. Análise Qualitativa do portfólio

Esta seção apresenta uma síntese dos artigos selecionados, escolhendo-se os 8 artigos mais citados por ano, por terem uma maior importância para a comunidade acadêmica.

Xin et al. (2010) afirmam que as microalgas têm alto potencial para remover nutrientes inorgânicos das águas residuais e produzir biodiesel. Eles estudaram os efeitos das concentrações de nitrogênio e fósforo no crescimento, na absorção de nutrientes e no acúmulo de lipídeos de uma microalga de água doce *Scenedesmus sp.* LX1. O crescimento da LX1 estava de acordo com o modelo Monod, porém a produtividade lipídica / volume unitário de cultura, não foi melhorada.

Bernard (2011) apontou que as microalgas oleaginosas são consideradas potenciais produtoras de biocombustível no futuro, uma vez que, sob condições de privação de nitrogênio, elas são capazes de conter grandes quantidades de lipídeos, enquanto consomem CO₂ industrial. Segundo ele a previsão do comportamento dos processos baseados em microalgas é delicada devido à forte interação entre biologia (desenvolvimento de microalgas e respiração) e física (atenuação de luz e hidrodinâmica), deste modo, ele revisou os modelos existentes e, em particular, o modelo Droop, que tem sido amplamente utilizado para prever o comportamento de microalgas sob limitação de nutrientes.

Quinn, Winter e Bradley (2011) explicam que a escalabilidade dos sistemas de crescimento de microalgas é um tópico de pesquisa primário em antecipação à comercialização de biocombustíveis baseados em microalgas. Eles apresentaram a construção e validação de um modelo de biomassa de microalgas e acúmulo de lipídeos em um fotobiorreator de escala industrial em ambiente externo.

Packer et al. (2011) reforçam que devido ao grande potencial de produção lipídica, as microalgas têm sido sugeridas como fontes promissoras para a produção de biocombustíveis. No entanto, não foram desenvolvidos modelos para a síntese de lipídeos de algas com relação a nutrientes e luz para prever a produção de lipídeos e ajudar a melhorar o processo de produção, assim, eles propuseram um modelo matemático descrevendo a dinâmica de crescimento e a produção de lipídeos neutros de microalgas verdes cultivadas em culturas de lotes. Para meios de crescimento com baixa concentração de nitrogênio, o modelo concordou com os dados experimentais; no entanto, com alta concentração de nitrogênio, o modelo superestimou a biomassa.

Chang et al. (2016) afirmam que otimizar o processo de crescimento de microalgas é um pré-requisito essencial para a captura efetiva de CO₂ usando microalgas em fotobiorreatores. Eles investigaram as características cinéticas do crescimento da microalga *Chlorella vulgaris* em resposta à intensidade de luz e concentração de carbono inorgânico dissolvido. Os modelos foram capazes de prever a evolução temporal do crescimento de *C. vulgaris* e as taxas de biofixação de CO₂ das fases lag até estacionária, comprovadas por experimentos de verificação.

Huesemann et al. (2013) desenvolveram um modelo de crescimento de biomassa de microalgas para o rastreamento de novas estirpes quanto ao seu potencial para exibir elevadas produtividades de biomassa sob condições repletas de nutrientes em fotobiorreatores ou lagos ao ar livre. O modelo foi bem-sucedido em prever a taxa de crescimento de biomassa nestas

culturas em lotes de garrafas Roux durante a fase linear limitada a luz a diferentes intensidades de luz incidente.

Concas et al. (2014) afirmam que trabalhos recentes mostraram que cepas específicas de microalgas são capazes de aumentar simultaneamente sua taxa de crescimento e conteúdo lipídico quando cultivadas sob concentrações adequadas de ferro. Desta forma, eles propuseram um modelo matemático abrangente descrevendo o efeito do ferro na síntese de clorofila, assimilação de nitrogênio, taxa de crescimento e acúmulo de lipídeos em uma cepa de água doce de *C. vulgaris*. Os resultados do modelo foram comparados com sucesso com dados experimentais que confirmam o efeito positivo das concentrações crescentes de ferro na produtividade lipídica de *C. vulgaris*.

Yang et al. (2011) desenvolveram um modelo matemático para descrever o crescimento de microalgas, produção de lipídeos e consumo de glicerina sob condições fotoheterotróficas baseadas em equações logísticas. Os resultados mostraram que a concentração inicial de glicerina, foi o fator mais significativo para o crescimento de microalgas e produção de lipídeos.

De acordo com as informações coletadas nos artigos selecionados, foi elaborada uma Matriz SWOT, de modo a avaliar os pontos negativos e positivos em relação ao uso de microalgas no âmbito mundial (Tabela 3).

Tabela 3 - Matriz SWOT.

Positivo	Negativo
Forças	Fraquezas
- Grande geração de lipídeos; - Diminuição dos gases de efeito estufa CO ₂ ; - Modelagem pode prever o crescimento e geração de lipídeos;	- Custo elevado quando utilizado em pequena escala; - Forte dependência da luminosidade;
Oportunidades	Ameaças
- Potencial produtora de biocombustíveis do futuro; - Potencial para remover nutrientes inorgânicos de águas residuais;	- Carência de estudos de modelagem para várias espécies de microalgas; - Pode afetar zonas litorâneas.

Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com Lima et al. (2018), na matriz SWOT, as forças são fatores internos positivos, como vantagens; por outro lado, as fraquezas são condições internas desfavoráveis,

trazendo limitações e desvantagens. Lima (2018) ainda destaca que os fatores externos são divididos entre oportunidades e ameaças, sendo que as oportunidades são tendências externas que podem contribuir para a concretização dos objetivos, enquanto as ameaças são as condições externas que não podem ser controladas, e se caracterizam como prejudiciais à execução dos objetivos (SUELA et al., 2018).

Dessa maneira é possível afirmar que o estudo do tema “Modelagem do crescimento de microalgas” é extremamente importante, tendo em vista a previsão do crescimento e geração de lipídeos proveniente de microalgas, mas também para a geração de novos modelos de predição para espécies de microalgas até o momento não avaliadas, como é o caso da *Nannochloropsis Oculata*.

4. Conclusão

Pode-se aferir que as microalgas são sugeridas como fontes promissoras para a produção de biocombustíveis, por serem capazes de conter grandes quantidades de lipídeos. O desenvolvimento de modelos de crescimento de microalgas para a síntese de lipídeos com relação a nutrientes e luz são extremamente importantes para prever a produção de lipídeos e ajudar a melhorar o processo de produção.

Por meio da pesquisa bibliométrica, foi constatado que dentro da plataforma *Web of Science*, o tema “Modelagem de crescimento de microalgas” se mostra viável, devido ao notável aumento das quantidades de publicações e citações ao longo dos últimos anos por vários países, dando destaque aos Estados Unidos que lideram as publicações no tema analisado.

Foram selecionados 13 artigos para compor o portfólio, seus resultados servem de base para compor o referencial bibliográfico de pesquisas futuras. Uma análise de todos os artigos que compõem o portfólio mostrou que não foram analisados ainda modelos para crescimento de microalgas da espécie *Nannochloropsis Oculata*, gerando uma grande oportunidade de pesquisa futura sobre este tema inovador.

A pesquisa bibliométrica foi feita através da base de dados *Web of Science*. Sugere-se para trabalhos futuros que sejam utilizadas outras bases de dados e plataformas para análise bibliométrica de forma a gerar resultados mais abrangentes sobre o tema “Modelagem de crescimento de microalgas”.

Agradecimentos

Editais FAPES No 006/2014 - Universal - Projeto Individual de Pesquisa. Chamada No 18/2013 MCTI/CNPq/SPM-PR/Petrobras - Meninas e Jovens. Chamada CNPq/Vale S.A. 05/2012 – Forma Engenharia.

Referências

ADESANYA, Victoria O. et al. Kinetic modelling of growth and storage molecule production in microalgae under mixotrophic and autotrophic conditions. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 157, p.293-304, abr. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.032>.

BARATA, R. B. A ABRASCO e a pós-graduação stricto sensu em Saúde Coletiva. In: LIMA, N. T.; SANTANA, J. P.; PAIVA, C. H. A. (Eds.) **RBPB**. Brasília, v. 13, n. 1, 2016.

BERNARD, Olivier. Hurdles and challenges for modelling and control of microalgae for CO₂ mitigation and biofuel production. **Journal Of Process Control**, [s.l.], v. 21, n. 10, p.1378-1389, dez. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jprocont.2011.07.012>.

ÇELEKLI, Abuzer; YAVUZATMACA, Mehmet; BOZKURT, Hüseyin. Modeling of biomass production by *Spirulina platensis* as function of phosphate concentrations and pH regimes. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 100, n. 14, p.3625-3629, jul. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.055>.

CHANG, Hai-xing et al. Kinetic characteristics and modeling of microalgae *Chlorella vulgaris* growth and CO₂ biofixation considering the coupled effects of light intensity and dissolved inorganic carbon. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 206, p.231-238, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.01.087>.

CONCAS, Alessandro et al. Comprehensive modeling and investigation of the effect of iron on the growth rate and lipid accumulation of *Chlorella vulgaris* cultured in batch photobioreactors. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 153, p.340-350, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.11.085>.

FOLEY, P. M.; BEACH, E. S.; ZIMMERMAN, J. B. Algae as a source of renewable chemicals: opportunities and challenges. **Green Chemistry**, v. 13, n. 6, p. 1399-1405, 2011.

HAN, Feifei et al. Enhancement of microalgal biomass and lipid productivities by a model of photoautotrophic culture with heterotrophic cells as seed. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 118, p.431-437, ago. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.05.066>.

HE, Lian; SUBRAMANIAN, Venkat R.; TANG, Yinjie J.. Experimental analysis and model-based optimization of microalgae growth in photo-bioreactors using flue gas. **Biomass And Bioenergy**, [s.l.], v. 41, p.131-138, jun. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.02.025>.

HUESEMANN, M. H. et al. A screening model to predict microalgae biomass growth in photobioreactors and raceway ponds. **Biotechnology And Bioengineering**, [s.l.], v. 110, n. 6, p.1583-1594, 17 jan. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/bit.24814>.

JABBOUR, Elias. Conceito Científico” e os Desafios do Desenvolvimento na China de Hoje. In: **Conferência Nacional de Política Externa e Política Internacional. O Brasil no Mundo que Vem Aí.** 2008. p. 161-184.

LACERDA, Rogério Tadeu de Oliveira; ENSSLIN, Leonardo; ENSSLIN, Sandra Rolim. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 1, 2012.

LIMA, Kárita Fernanda Fontes et al. Métodos de extração de bio-óleo a partir da microalga *Nannochloropsis oculata*: uma análise bibliométrica. **Research, Society And Development**, Cidade, v. 7, n. 6, p.1-22, fev. 2018.

PACKER, Aaron et al. Growth and neutral lipid synthesis in green microalgae: A mathematical model. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 102, n. 1, p.111-117, jan. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.029>.

QUINN, Jason; WINTER, Lenneke de; BRADLEY, Thomas. Microalgae bulk growth model with application to industrial scale systems. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 102, n. 8, p.5083-5092, abr. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2011.01.019>.

RUIZ, J. et al. Photobiotreatment model (PhBT): a kinetic model for microalgae biomass growth and nutrient removal in wastewater. **Environmental Technology**, [s.l.], v. 34, n. 8, p.979-991, abr. 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2012.724451>.

SUELA, Sólton Colodetti et al. Tratamento de águas residuais para produção de estruvita: um estudo bibliométrico. **Research, Society And Development**, Cidade, v. 7, n. 9, p.1-26, jun. 2018.

XIN, Li et al. Effects of different nitrogen and phosphorus concentrations on the growth, nutrient uptake, and lipid accumulation of a freshwater microalga *Scenedesmus* sp. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 101, n. 14, p.5494-5500, jul. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.016>.

YANG, Jinshui et al. Mathematical model of *Chlorella minutissima* UTEX2341 growth and lipid production under photoheterotrophic fermentation conditions. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 102, n. 3, p.3077-3082, fev. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.049>.