

**PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DA PRODUÇÃO DE BIO-ÓLEO A PARTIR DE BIOMASSA DE *Chlorella vulgaris* PELO PROCESSO DE PIRÓLISE**

**TECHNOLOGICAL PROSPECTION OF BIO-OIL PRODUCTION FROM BIOLOGIA OF CHORELLA VULGARIS BY THE PYROLYSIS PROCESS**

Sheila Silva de Oliveira<sup>1</sup>; Cristina Ferraz Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-graduação em Engenharia Química – Universidade Federal de Sergipe  
[oliv.s.sheila@gmail.com](mailto:oliv.s.sheila@gmail.com)

<sup>2</sup> Programa de Pós-graduação em Engenharia Química – Universidade Federal de Sergipe  
[ferrazcristina@yahoo.com.br](mailto:ferrazcristina@yahoo.com.br)

**Resumo**

*A necessidade de novas fontes energéticas que substituam parcial ou totalmente os combustíveis não renováveis tem reunido esforços de cientistas e pesquisadores em busca por alternativas energéticas renováveis, biodegradáveis e competitivas. O potencial de produção de combustíveis a partir de microalgas vem sendo especulado desde a década de 1950, o que possibilitou o surgimento da terceira geração de biocombustíveis. Dentre as espécies mais promissoras para essa finalidade, destaca-se a *Chorella vulgaris* pela sua resistência e versatilidade. Para a obtenção de combustível a partir dessa biomassa, foi escolhido o conhecido processo de pirólise, o qual é bastante utilizado junto à biomassa de celulose. No intuito de analisar o panorama mundial acerca do desenvolvimento de tecnologias nessa área, foi realizado um estudo de prospecção tecnológica com base na produção de bio-óleo a partir de biomassa de *Chlorella vulgaris* pelo processo de pirólise. Os resultados indicam que o refinamento da pesquisa implica em menos dados disponíveis dentro das plataformas analisadas. Além disso, as publicações disponíveis entre patentes, teses e artigos científicos ainda são em número bastante reduzido, o que pode ser explicado pelo fato de que as pesquisas nessa esfera ainda são muito recentes. Todavia, o crescente interesse na área indica que as perspectivas futuras são promissoras.*

**Palavras-chave:** *Chlorella vulgaris*, microalgas, pirólise, prospecção tecnológica.

**Abstract**

*The need for new energy sources to partially or totally replace non-renewable fuels has drawn the efforts of scientistis and researchers in search of renewable, biodegradable and competitive energy alternatives. The potential for fuel production from microalgae has been speculated since the 1950, which allowed the emergence of th third generation of biofuels. Among the most promising species for this purpose, *Chlorella vulgaris* stands out for its strength and versatility. In order to obtain fuel*

*from this biomass, the known pyrolysis process was chosen, which is widely used in cellulose biomass. For the purpose of analyze the world panorama about the development of technologies in this area a technological study was carried out based on the production of bio-oil from Chlorella vulgaris biomass by the pyrolysis process. The results indicate that the refinement of the research implies les data available within the analyzed platforms. Moreover, the available publications among patents, theses and scientific articles are still in very small numbers, which can be explained by the fact that research in this sphere is still very recent. However, growing interest in the area indicates that future prospects are promising.*

**Key-words:** *Chlorella vulgaris*, microalgae, pyrolysis, technological forecasting.

## 1. Introdução

Muito se tem discutido acerca da necessidade de novas fontes energéticas que substituam parcial ou totalmente os combustíveis de origem não renovável. A grande demanda por energia tem ampliado a esfera de busca por alternativas renováveis, biodegradáveis e competitivas (BARATA, 2016). Dessa forma, a tecnologia usada nos biocombustíveis tem sido cada vez mais aprimorada e diversificada para acompanhar as necessidades atuais e a gama de potenciais fontes que vêm sendo estudadas. Em consequência disso, a terceira geração de biocombustíveis vem ganhando destaque nos últimos anos por propor a utilização de microalgas para a produção de combustíveis (FERREIRA, 2010).

O grande potencial para a produção de biocombustível a partir de microalgas vem da semelhança das características físico-químicas do óleo armazenado no interior da célula e do óleo vegetal (TEIXEIRA e MORALES, 2016). Esse tipo de microrganismo apresenta elevada taxa de crescimento e pode ser cultivado em águas doce e salgada ou simultaneamente ao tratamento de efluentes (BABICH et al., 2001). Além disso, Gazzoni (2016) relata que para a produção de 1 tonelada de biomassa são necessárias 1,8 toneladas de gás carbônico, o que indica que as microalgas podem ser associadas à mitigação de grandes quantidades desse gás. Dentre as inúmeras espécies de microalgas existentes, a *Chlorella vulgaris* é a mais cultivada comercialmente e uma das mais exploradas no meio científico devido a sua versatilidade de aplicações, poucas exigências nutricionais, resistência e capacidade de adaptação a diversos ambientes (SILVEIRA, 2015).

A biomassa microalgal pode dar origem a dois tipos de combustíveis líquidos, a partir da sacarificação das cadeias de carboidratos obtém-se bioetanol e o biodiesel é proveniente do bio-óleo (MIRANDA et al., 2012; JIANG, 2011). A produção de bio-óleo é uma grande aposta dentro do contexto dos biocombustíveis de terceira geração e a sua obtenção pode ser feita pelo processo de pirólise (JOHNSON e WEN, 2009).

Os conceitos dessa vertente de combustíveis ainda são relativamente novos e o volume de informações sobre o assunto ainda é reduzido. Em virtude disso, é importante que estudos de prospecção tecnológica nessa área sejam desenvolvidos a fim de entender e analisar o seu

desenvolvimento no panorama mundial. A gestão de informações de fontes confiáveis como patentes, teses e artigos científicos é bastante útil e torna o estudo de prospecção tecnológica a base da tomada de decisões envolvendo empreendimentos e desenvolvimento tecnológico (SANTOS, 2012).

Com métodos bem definidos podem-se obter informações contendo dados de toda a trajetória de determinado setor que, quando analisados de forma coerente, geram inferências promissoras sobre as tendências futuras (BORSCHIVER et al.,2017). Sendo assim, o objetivo desse trabalho é buscar informações a respeito do panorama mundial da produção do bio-óleo a partir de biomassa de *Chlorella vulgaris* pelo processo de pirólise buscando patentes, teses e artigos científicos em base de dados confiáveis.

## **2. Fundamentação teórica**

### **2.1. Biocombustíveis**

As primeiras menções ao uso de biocombustíveis datam do final do século XIX, quando Nikolas Otto moveu seus motores a álcool, porém o grande marco está associado à Exposição Universal de Paris, em 1900, onde Rudolf Diesel apresentou um motor que funcionava a óleo de amendoim (GOETTEMOELLER e GOETTEMOELLER, 2008; MAIA e FEITOSA, 2009).

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) define biocombustíveis como “derivados de biomassa renovável que podem substituir, parcial ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores a combustão ou em outro tipo de geração de energia”. O conceito de biocombustível é amplo, dinâmico e aberto à inclusão de novas tecnologias. A evolução das etapas de desenvolvimento da produção de combustíveis a partir de biomassa pode ser acompanhada a cada geração que está associada à forma de obtenção e matéria-prima utilizada (BRANCO, 2014).

Açúcares e óleos vegetais provenientes de grandes culturas terrestres são as matérias-primas para a primeira geração de biocombustíveis, fato que leva a entender todo o questionamento em torno da chamada segurança alimentar e do aumento de desmatamentos (MOLONY e SMITH, 2010). A segunda geração foi desenvolvida para reutilizar resíduos agroindustriais e toda gama de material lignocelulósico no intuito de responder às questões de risco de desabastecimento alimentar e para a garantia da contínua produção de combustíveis, inclusive em períodos de entressafra (FERREIRA, 2010). Segundo Cândido (2011), o grande problema da segunda geração é a etapa de deslignificação pela qual o material deve passar melhor utilização do recurso de hidrólise, aumentando o rendimento final de combustível.

Os biocombustíveis produzidos a partir de microalgas integram a terceira geração. O grande

interesse em desenvolver tecnologias aplicáveis a esse novo conceito de biocombustível explica-se pelas inúmeras vantagens que essa vertente pode oferecer. O cultivo da matéria-prima não precisa de grandes áreas e tão pouco de terras agricultáveis, sua produtividade é alta e armazenam no interior de suas células grandes quantidades de lipídeos e carboidratos. Além disso, as microalgas se adaptam bem a diferentes ambientes, podendo ser cultivadas em água doce, salgada e até em efluentes (PHUKAN et al., 2011). Apesar de tantas vantagens, Ferreira (2010) afirma que o processo de obtenção de combustíveis a partir desses microrganismos é caro e ainda faltam muitas pesquisas e ajustes para que essa variedade de combustível seja implementada.

## **2.2. Microalga e biocombustível**

A primeira vez em que as microalgas foram associadas a combustíveis foi na década de 50, no Massachusetts Institute of Technology, ou seja, o estudo desse microrganismo para obtenção de energia é um conceito bastante novo, porém já se mostra promissor (BENEMANN, 2008). Vale acentuar que o biodiesel e o bioetanol não são os únicos combustíveis provenientes de microalgas, podem-se obter, também, biocombustíveis gasosos como metano e biohidrogênio (MALCATA, 2011).

A versatilidade das microalgas atrelada as suas poucas exigências nutricionais e ao fato de possuírem reservas de óleo de até 70% em massa as tornam uma alternativa altamente atrativa para a produção de biocombustíveis derivados de bio-óleo. Além da considerável quantidade de gorduras, esses organismos são fontes de proteínas, carboidratos, pigmentos, hidrocarbonetos e muitas outras substâncias de interesse (AMBROSI et al., 2008). Atualmente muitas espécies de microalgas são conhecidas, dentre elas destaca-se a *Chlorella vulgaris*, uma das mais cultivadas comercialmente (SILVEIRA, 2015). Seu fácil cultivo devido à robustez e resistência a contaminação justifica a sua preferência na produção em larga escala, não é por menos que a mesma é pioneira nesse sentido (HUNTLEY e REDALJE, 2007).

## **2.3. Pirólise de microalgas**

Klass (1998) define pirólise como uma decomposição térmica de matéria orgânica na ausência de oxigênio, de forma a impedir a gaseificação intensiva do material. A pirólise é um processo conhecido e bastante utilizado para produção de combustíveis, solventes e outros produtos provenientes de biomassa. É um processo rápido e a com alta conversão em combustível líquido, produzindo também gás combustível e carvão (BRIDGATER e PEACOCKE, 2000).

A pirólise em biomassa proveniente de celulose é comum e existem muitos estudos acerca do

tema, porém o grande potencial das microalgas vinculado aos biocombustíveis começou a ser estudado há poucos anos (ROSS et al., 2009). Em 2011, Babich et al. estudaram os produtos obtidos a partir da pirólise de *Chlorella* pura com adição de catalisador concluindo que o uso de catalisador pode beneficiar a produção de bio-óleo. Mais recentemente, em 2013, estudos comparativos entre as espécies *Chlamydomonas reinhardtii* e *Chlorella vulgaris* foram realizados por Kebelmn et al., obtendo diferentes compostos resultantes do processo de pirólise operado nas mesmas condições para as diferentes espécies. Estudos científicos e patentes relacionados a esse tema, publicados a partir de 2009 nos mais importantes bancos de dados abertos mundiais, evidenciam que a pesquisa nessa área apresenta perspectivas auspiciosas.

### **3. Metodologia**

A metodologia de pesquisa, empregada com o objetivo de levantar patentes, teses e artigos científicos da produção de bio-óleo a partir de biomassa de *Chlorella vulgaris* pelo processo de pirólise, constituiu em algumas determinações de busca. Em primeiro lugar, foram definidas as bases de dados utilizadas. Todas as bases escolhidas para este estudo de prospecção tecnológica são gratuitas. Para consulta de patentes o estudo foi realizado no Banco de dados do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), no European Patent Office (Espacenet) e no World Intellectual Property Organization (WIPO).

O rastreamento de teses e artigos foi realizado no Periódicos Capes e no Scientific Electronic Library Online (SciELO). Em seguida, palavras-chave foram definidas de forma a começar a pesquisa com termos mais amplos com posterior refinamento para obtenção de resultados cada vez mais específicos.

As palavras foram definidas em português para bancos de dados nacionais e em inglês para as plataformas internacionais. As palavras utilizadas foram: microalgas, biomassa algal, *Chlorella vulgaris*, biocombustível de microalgas e pirólise de microalgas.

Os recursos avançados oferecidos nas plataformas foram acionados a fim de excluir semelhantes e agrupar por datas, obtendo dessa forma melhores condições de tratamento para os dados obtidos.

### **4. Resultados e Discussão**

Os dados coletados para a prospecção tecnológica foram tratados a fim de analisar as informações obtidas nas bases de dados por meio de patentes, teses e artigos científicos.

Na Tabela 01 os autores apresentam dados referentes às patentes pesquisadas por palavras-chave nas três plataformas escolhidas: INPI, Espacenet e WIPO. São mais de 10000 documentos

depositados nessas três bases de dados, sendo o maior volume encontra-se no European Patent Office, base que engloba a produção em mais de 70 países europeus.

Tabela 01: Número de patentes encontradas por palavras-chave nos bancos de dados selecionados.

<i>Palavra-chave</i>	<i>INPI</i>	<i>Espacenet</i>	<i>WIPO</i>	<i>Total</i>
Microalgas	112	5080	4037	9229
Biomassa de microalgas	3	27	202	232
<i>Chlorella vulgaris</i>	4	214	189	407
Biocombustível de microalgas	1	103	0	104
Pirólise de microalgas	1	25	18	44
Pirólise e <i>Chlorella</i>	0	2	1	3
Total	121	5451	4447	10019

É possível observar pela Tabela 01 que quanto maior a especificidade da pesquisa acerca do tema abordado, menor a quantidade de documentos disponíveis. O mesmo pode ser observado para a pesquisa de teses e artigos científicos, conforme autores apresentam na Tabela 02.

Tabela 02: Número de teses e artigos científicos encontrados por palavras-chave nos bancos de dados selecionados.

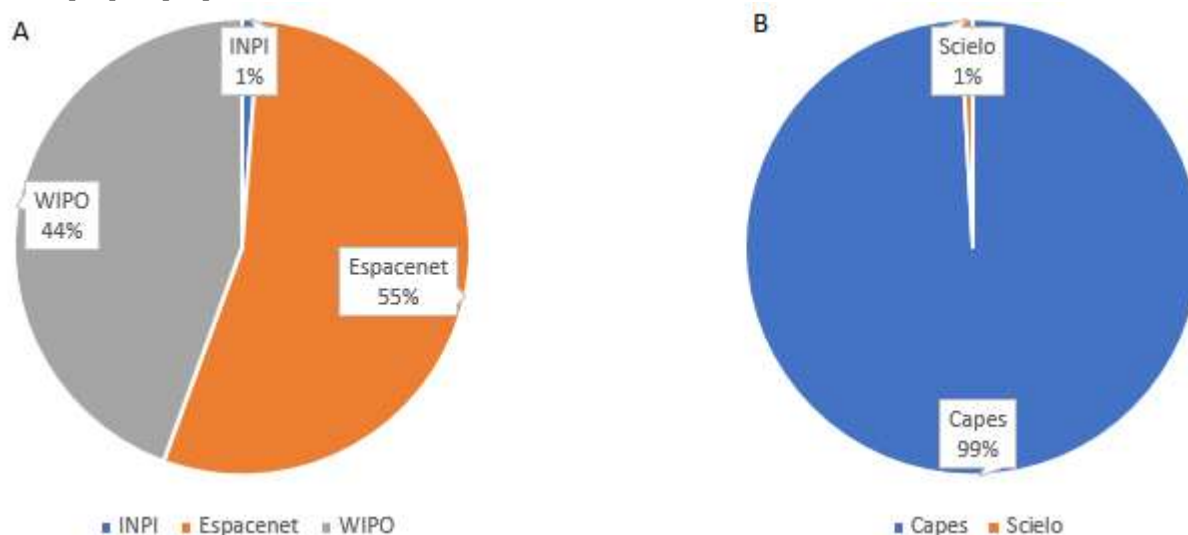
<i>Palavra-chave</i>	<i>Periódicos Capes</i>	<i>SciELO</i>	<i>Total</i>
Microalgas	14537	181	14718
Biomassa de microalgas	161	14	175
<i>Chlorella vulgaris</i>	14055	58	14113
Biocombustível de microalgas	14	2	16
Pirólise de microalgas	3	0	3
Pirólise e <i>Chlorella</i>	2	0	0
Total	28772	255	29027

As duas bases pesquisadas levantaram 29027 teses e artigos, sendo o Periódicos Capes o responsável por comportar a maior parte deles pelo fato de englobar trabalhos de um grande número de países.

Os dados percentuais correspondentes à distribuição de patentes e artigos científicos, respectivamente, foram plotados na Figura 03.



Figura 03: Distribuição percentual de (A) patentes e (B) teses e artigos científicos por banco de dados considerando os resultados da pesquisa por palavras-chave

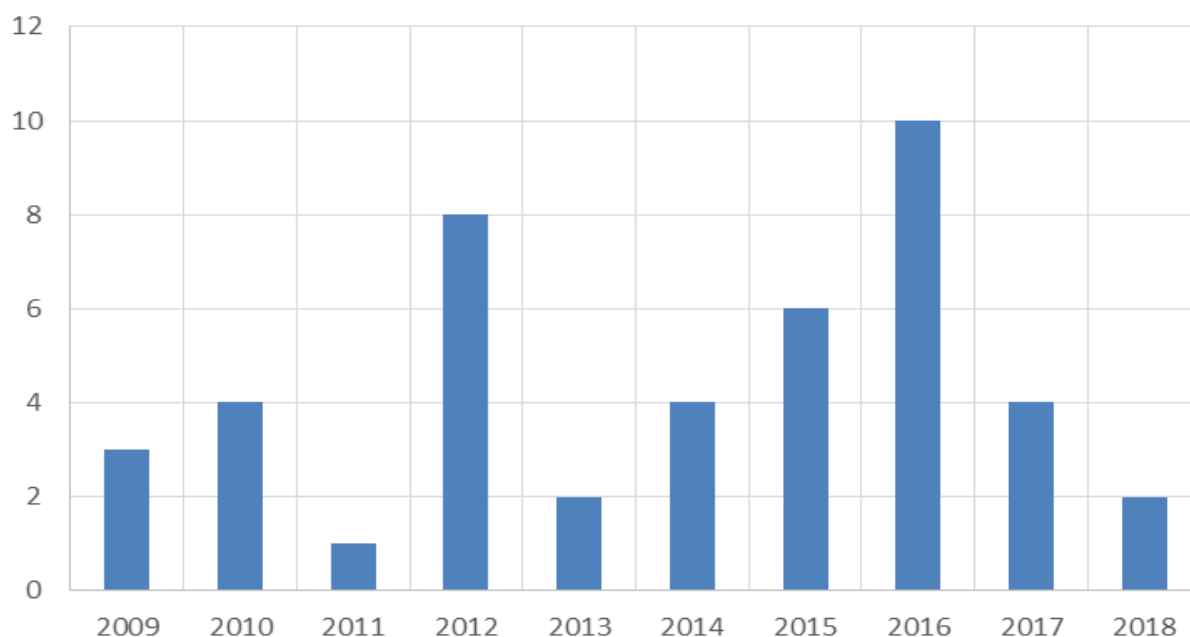


A análise dos gráficos apresentados na Figura 03 permite concluir que as bases de dados que abrangem depósitos de variados países possuem a maior porcentagem de documentos em seu acervo. Em termos percentuais para as bases utilizadas, 55 % das patentes relacionadas à pesquisa efetuada encontram-se na plataforma Espacenet e 99% do conteúdo de interesse em teses e artigos encontram-se no Periódicos Capes.

É possível, através de uso de busca avançada, monitorar a evolução de publicações com o passar dos anos dentro do tema de interesse. Para a Figura 04, os autores organizaram os dados de forma a apresentar a evolução das publicações de patentes a partir do ano de 2009.

O gráfico da Figura 04 corrobora com a afirmativa de que o tema ainda é muito novo, o número de patentes publicadas ainda é pequeno, porém houve um pico de patentes aceitas no ano de 2016, o que indica que a pirólise de microalgas vem sendo testada e aprimorada nos últimos anos, sinalizando interesse crescente de pesquisadores.

Figura 04: Evolução do número de patentes publicadas sobre pirólise de microalgas a partir do ano de 2009



## 5. Considerações finais

As bases de dados internacionais englobam grande porcentagem de patentes publicadas e isso se deve, principalmente, ao interesse do mercado internacional juntamente com incentivos à pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias. Quando se trata de artigos, a base nacional escolhida abrange 99% das publicações encontradas sobre o tema delimitado, o que pode ser justificado pelo fato de o Periódicos Capes armazenar e disponibilizar para a comunidade acadêmica publicações relevantes produzidas em toso o mundo.

Em relação ao bio-óleo produzido a partir de biomassa de *Chlorella vulgaris* pelo processo de pirólise é algo muito novo e específico, então, o volume de publicações de teses e artigos científicos publicados, nas bases escolhidas, envolvendo o assunto ainda é muito pequeno bem como a publicação de patentes as quais começam a ser aceitas no ano de 2009.

A análise do panorama mundial da pirólise de microalgas permite inferir que ainda há muito para ser desbravado. O refinamento da pesquisa em torno do assunto específico diminui significativamente o número de publicações tanto de patentes quanto de teses e artigos científicos encontrados nas bases de dados.

## Agradecimentos

Os autores do presente trabalho agradecem à Universidade Federal de Sergipe (UFS), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PEQ) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).



## Referências Bibliográficas

- BARATA, A. F. L. Microalgas: produção econômica e ambientalmente sustentável. **Dissertação**. Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016.
- FEREIRA, J. R. M. L. et al. Biocombustíveis – fonte de energia sustentável? Considerações jurídicas, técnicas e éticas. São Paulo: **Saraiva**, 2010. P. 28.
- TEIXEIRA, C. M.; MORALES, M. E. Microalga como matéria-prima para a produção de biodiesel. **Biodiesel o Novo combustível do Brasil**, n.6, p.91-6,2007.
- BABICH, I. V.; VAN DER HULST, M.; LEFFERTS, L.; MOULIJN, J. A.; O'CONNOR, P.; SESHAN. K. Catalytic pyrolysis of microalgae to high-quality liquid bio-fuels. **Biomass and Bioenergy**, v5, p. 3199-3207,2011.
- GAZZONI, D. L. Os desafios do biodiesel de algas. 2016. Disponível em <http://www.gazzoni.eng.br/>. Acessado em 9 de agosto de 2018
- SILVEIRA, C. A. Modelagem e simulação de reator de cultivo de microalgas tipo “open pond”. **Tese de doutorado**. USP, São Paulo, 2015.
- JIANG, L.; LUO, S; FAN, X.; YANG, Z.; GUO, R. 2011. Biomass and lipid production of marine microalgae using municipal wastewater and high concentration of CO<sub>2</sub>. **Applied Energy**, 88: 3336-3341.
- MIRANDA, J. R.; PASSARINHO, P. C.; GOUVEIA, L. Bioethanol production from *Scenedesmus obliquus* sugar: the influence of photobioreactors and culture conditions on biomass production. **Appl Microbiol Biotechnol**, v.196, p. 555-564, 2012.
- SANTOS, A. K. K.; RIBEIRO, M. C. O.; GUARIEIRO, L.L. N. Estudo de caso utilizando mapeamento de prospecção tecnológica como principal ferramenta de busca científica. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 17, n. 4, p. 195-209,2012.
- BORSCHIVER, S., REALPE, C.; COUTO, M. A. G.; COELHO, K.. Prospecção Tecnológica de Combustível Renovável para Aviação: Estudo de Caso do Diesel Verde. **Caderno de Prospecção**, v. 10, n. 2, p. 263, 2017.
- GOETTEMOELLER, J.; GOETTEMOELLER, A. The Brazilian Biofuels industry. **Biotechnol. Biofuels**,1 : 6-6,2008.
- MAIA, A. A.; FEITOSA, V. N. Histórico dos Biocombustíveis no Brasil. **Revista de Direito Ambiental**, 53, 7-23, 2009.
- ANP. **Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis> . Acessado em 10 de agosto de 2018.
- BRANCO, L. G. B. Biocombustíveis: vantagens e desafios. **Revista Eletrônica de Energia**, v. 3, n. 1, 2014.
- MOLONY, T.; SMITH, J. Biofuels: food and security, and Africa. **African Affairs**, 109, 489-498, 2010.,
- CANDIDO, R. G. Utilização da celulose de resíduos lignocelulósicos para obtenção de produtos de alto valor agregado. 2001. 140f. **Dissertação** – Escola de engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, 2011.
- PHUKA, M. M.; CHUTIA, S. R.; KONWAR, R. Microalgae *Chlorella* as a potential bio-energy feedstock, **Applied Energy**, 2011.
- BRENNAN, L.; OWEND, P.; *Renew. Sust. Energ. Rev.* 14, 557, 2010.
- JOHNSON, M. B.; WEN, Z.; *Energy Fuels*, 23, 5179, 2009.

MALCATA, X. F.; GUEDES, A. C.; AMARO, H. M. Advances and perspectives in using microalgae to produce biodiesel, **Applied Energy**, v.88, p. 3402-34110, 2011.

AMBROSI, M. A.; REINEHR, C. O.; BERTOLIN, T. E.; COSTA, J. A. V.; COLLA, L. M. Propriedades da saúde da microalga Spirulina. **Ver. Ciên. Farm. Básica Apl.**; vol. 29, n. 2, p. 109-17, 2008.

HUNTLEY, M. E.; REDALJE, D. G. CO<sub>2</sub> Mitigation and Renewable Oil from Photosynthetic Microbes: A New Appraisal. **Mitigatin and Adaptation Strategies for Global Change**, 12, 573-608,2007.

ROSS, A. B.; ANASTASAKIS, K.; KUBACKI, M.; JONES, J. M. Investigation of the pyrolysis behavior of brown algae before and after pre-treatment using PY-GC/MS and TGA. **J. of Anal. An Appl. Pyrolysis**, v. 85, p. 3-10, 2009.

KLEBELMANN, K. Intermediate pyrolysis studies of aquatic biomass and potencial applications in the BtVB-process. **Doctoral Theses**. Aston University, Birmingham, 2013.

Recebido: 12/08/2018

Aprovado: 21/09/2018