

Prospecção Tecnológica de Patentes Sobre Cultivos de Microalgas Visando a Produção de Biodiesel

Prospective Study of Patents on Microalgae Cultivation for Biodiesel Production

Camila Cristina Andrade dos Santos¹

Luciano Matos Queiroz²

Louisa Wessels Perelo³

Emerson Sales Andrade⁴

Resumo

O modelo insustentável do uso intensivo de combustíveis fósseis tem impulsionado o desenvolvimento de pesquisas cujo objetivo prioritário é a obtenção de alternativas mais limpas e financeiramente viáveis. Dentre essas alternativas, insere-se o biodiesel produzido a partir da biomassa obtida mediante o cultivo de microalgas. Essa pesquisa realizou um estudo prospectivo de patentes sobre o cultivo de microalgas para a produção de biodiesel utilizando o código do Sistema Cooperativo de Classificação de Patentes (CCP), C12N1/12 combinado com C12P7/649, como melhor estratégia de busca, chegando a um total de 309 patentes, agrupadas em 103 famílias. Os resultados refletiram que essa tecnologia se encontra em plena difusão, havendo maior número de depósitos e depositantes nos Estados Unidos da América, China e Coreia do Sul, e que os principais depositantes ainda são as pessoas físicas.

Palavras-chave: Biodiesel. Microalgas. Patente.

Abstract

The unsustainable model of intensive use of fossil fuels has driven the development of research on obtaining cleaner and more financially viable alternatives such as biodiesel produced from the biomass obtained through the cultivation of microalgae. This research carried out a prospective study of patents on the cultivation of microalgae for the production of biodiesel using the Code of Cooperative Patent Classification System (CCP), C12N1/12 combined with C12P7/649, as the best search strategy, resulting in a total of 309 patents, grouped in 103 families. The results confirm that this technology is developing rapidly. The greatest number of patent deposits and depositors were from the United States of America, China and South Korea, with the great majority of deposits still being made by individual depositors.

Keywords: Biodiesel. Microalgae. Patent.

Área tecnológica: Biotecnologia.

¹ Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, BA, Brasil.

² Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, BA, Brasil.

³ University of Tübingen, Microbiology/Organismic Interactions. Interfaculty Institute of Microbiology and Infection, Tübingen, Alemanha.

⁴ Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, BA, Brasil.



1 Introdução

As mudanças climáticas têm sido um tema amplamente difundido, seja sob a ótica econômica ou científica, e consoante a *International Energy Agency* (IEA, 2017), considerando a escala global, o setor energético é o que possui a maior contribuição para o aumento das emissões de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera.

Diversos esforços estão sendo direcionados para a minimização desses problemas, a exemplo do Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), elaborado no ano de 2008 no Brasil, e do Acordo de Paris, elaborado no ano de 2015 naquela cidade europeia. Conquanto alguns pesquisadores advertem que será impossível cumprir com as metas preconizadas pelo Acordo de Paris se as emissões continuarem a progredir ou apenas estagnarem nos níveis atuais, alvitra-se, dessa maneira, a redução dessas emissões até o ano de 2020 (FIGUERES *et al.*, 2017; ROCKSTRÖM *et al.*, 2017).

Nesse contexto, como alternativa para a atenuação das emissões de GEE mediante a queima de combustíveis fósseis, surgem os biocombustíveis, os quais, de acordo com a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP),

[...] são derivados de biomassa renovável que podem substituir, parcial ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores à combustão ou em outro tipo de geração de energia (ANP, 2016).

Segundo essa agência, há quatro tipos de biocombustíveis: o biometano, os biocombustíveis de aviação, o biodiesel e o etanol. O biodiesel, por sua vez, “é uma mistura de ésteres metílicos de ácidos graxos produzidos pela transesterificação de triglicerídeos com aceptores de alquila, tais como metanol, na presença de um catalisador” (LEE *et al.*, 2015).

Esse tipo de biocombustível pode ser produzido a partir dos lipídeos de diferentes matérias-primas, podendo ser considerado de primeira, segunda ou terceira geração. O biodiesel originário de microalgas é classificado como de terceira geração. As microalgas são micro-organismos fotossintetizantes, compostos basicamente por proteínas, carboidratos e lipídeos (MORENO-GARCIA *et al.*, 2017; PATEL *et al.*, 2017).

De acordo com Medipally *et al.* (2015), o processo de produção de biodiesel a partir de microalgas ocorre em duas grandes etapas: a fase denominada a montante, que compreende a etapa de tecnologias de cultivo, com o desenvolvimento de estratégias que promovam o aumento da produção celular e de lipídeos, e a fase denominada a jusante, que engloba os processos de separação da biomassa do meio de cultivo, extração e purificação de lipídeos e, por fim, a conversão desses lipídeos em biodiesel.

Quando comparada com o biodiesel de primeira geração, ou seja, o produzido a partir de oleaginosas, essa tecnologia apresenta vantagens e limitações, cabendo ressaltar como vantagens: a alta taxa de crescimento em curto tempo, menos demanda de água, requerimento de pouca área, não utilização de herbicidas e pesticidas e a possibilidade de cultivo em águas residuais, salobras e marinhas; e como limitações: baixa concentração de biomassa, difícil colheita, elevado custo de produção e dificuldade de cultivo em larga escala (KIRROLIA *et al.*, 2013; CANTER *et al.*, 2015).

Apesar de exibir notáveis vantagens, a produção de biodiesel a partir do cultivo de microalgas, apresenta como principal desafio a competitividade dos combustíveis à base de petróleo e o elevado custo associado à tecnologia, sendo imprescindíveis caminhos que reduzam o impacto dessa variável, tais como: a seleção de espécies com alto teor lipídico, o cultivo em águas residuárias, o aproveitamento de outros biocompostos da biomassa, a otimização da colheita da biomassa e da extração do óleo, bem como o aumento da produtividade de biomassa e lipídeos das microalgas (MAITY *et al.*, 2014; FERRARO, 2017; MORENO-GARCIA *et al.*, 2017).

A etapa de cultivo visa a produção de biomassa e é de extrema importância para a obtenção da matéria-prima que será processada nas demais fases. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi realizar uma prospecção de patentes sobre o cultivo de microalgas visando a produção de biodiesel.

2 Metodologia

Visando a reunir um grande número de patentes concernentes ao tema estudado, nesta pesquisa foi realizado um levantamento na base de dados de patentes *European Patent Office* (EPO), mais especificamente, utilizando os códigos do Sistema Cooperativo de Classificação de Patentes (CCP).

Para tanto, inicialmente foi empregada a palavra-chave *microalgae*, de modo a localizar os códigos correspondentes ao cultivo de microalgas, e nesse sentido foram selecionados os códigos C12N1/00 e C12N1/12. Posteriormente, as buscas tiveram por finalidade abranger códigos correlatos ao produto do cultivo de microalgas, ou seja, a produção de biodiesel, elegendo, para tanto, as seguintes codificações, C12P7/00, C12P7/64, C12P7/6436 e C12P7/649.

A Tabela 1 mostra o escopo da estratégia de busca e o Quadro 1, a descrição dos códigos aplicados nesse estudo. A coleta dos dados foi realizada nos dias 30/04/2018 e 03/05/2018, sem restrição de tempo e/ou localização. Ressalta-se que como consequência dos dezoito meses de sigilo, o período de tempo mais recente, presumivelmente, não está englobado na contagem total de patentes.

Tabela 1 – Escopo da estratégia de busca utilizada nesse estudo

C12N1/00	C12N1/12	C12P7/00	C12P7/64	C12P7/6436	C12P7/649	CCP
x						2.070
	x					5.038
						2.207
		x				748
			x			1.665
				x		1.565
					x	2.240
	x		x			218
	x			x		12
	x				x	309

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

Quadro 1 – Descrição dos códigos utilizados nesse estudo

CÓDIGOS	DESCRIÇÃO
C12N 1/00	Micro-organismos, e protozoários. Composições dessas (preparações medicinais contendo material de micro-organismos A61K35 / 66; preparação de antígeno bacteriano medicinal ou composições de anticorpos, por exemplo vacinas bacterianas A61K39 / 00). Processos de propagação, manutenção ou conservação de microrganismos ou suas composições. Processos de preparação ou isolamento de uma composição contendo um micro-organismo. Meio de cultura
C12N1/12	Algas unicelulares. Meio de cultura para esse fim (cultura de plantas multicelulares A01G; como novas plantas A01H13/00)
C12P7/00	Preparação de compostos orgânicos contendo oxigênio
C12P7/64	Gorduras; Óleos gordurosos. Ceras do tipo éster. Ácidos gordos superiores, isto é possuindo pelo menos sete átomos de carbono numa cadeia quebrada ligada a um grupo carboxila. Óleos ou gorduras oxidadas
C12P7/6436	Ésteres de ácidos graxos
C12P7/649	Biodiesel; isto é, Ésteres alquílicos de ácidos graxos

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2018)

A linha destacada na Tabela 1 equivale à combinação que melhor representa a estratégia de busca, quando se levou em consideração a tecnologia de cultivo de microalgas objetivando a produção de biodiesel. Os indicadores analisados foram: ano de aplicação, países, códigos e depositantes. A cobertura de cada campo manipulado nessa prospecção foi calculada e pode ser visualizada na Tabela 2.

Tabela 2 – Cobertura dos campos utilizados nesse estudo

CAMPO	COBERTURA (%)
Ano de Aplicação	100
Países	100
Códigos (CCP)	100
Depositantes	94,18

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

3 Resultados e Discussão

A partir da busca realizada, utilizando como estratégia a associação dos códigos C12N 1/12 e C12P7/649, foi possível localizar 309 patentes, pertencentes a 103 famílias. A Figura 1 mostra a evolução anual acumulada dos depósitos de patentes referentes à tecnologia estudada.

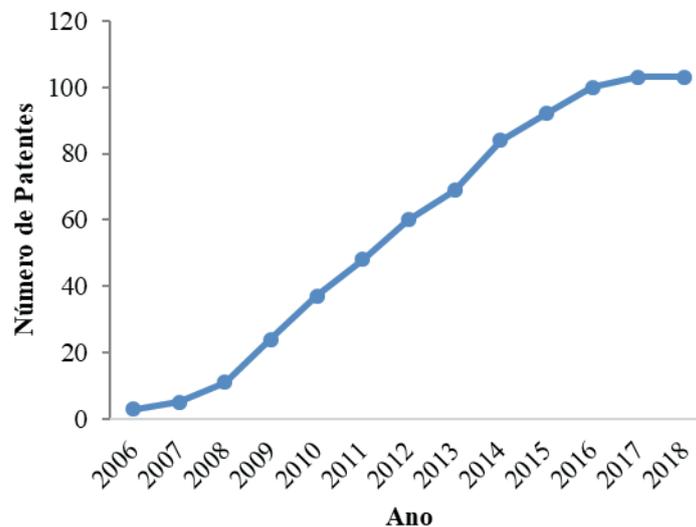
Consoante à teoria da difusão e inovação de Rogers (1995), a adoção de uma tecnologia perpassa por cinco esferas de usuários: os inovadores, os adotantes iniciais, a maioria inicial, a maioria tardia e os retardatários. Portanto, analisando os dados da Figura 1, é razoável inferir que a tecnologia se encontra em fase de crescimento contínuo e está sendo adotada pela maioria inicial desde 2014, dada a observação da curva em “S”. Entre os anos de 2006 a 2008, verificou-se um período de adoção por inovadores e entre 2009 e 2013 constatou-se a adoção pelos adotantes iniciais.

As primeiras patentes encontradas nesse estudo foram depositadas no ano de 2006, contudo, não significa que essas tenham sido as pioneiras no tema; provavelmente, os códigos, ou um dos códigos empregados nessa pesquisa é que foi gerado nesse ano. As três patentes depositadas nesse ano versavam sobre a obtenção de compostos energéticos por intermédio de energia eletromagnética produzida por luz solar ou luz artificial a partir de cultivos de fitoplânctons; o cultivo de organismos aquáticos, incluindo as microalgas, em biorreatores fechados, a colheita da biomassa, e a aplicação dessa para fins comerciais, como o biodiesel; e, por fim, o emprego de métodos, sistemas e dispositivos que permitam o cultivo de microalgas.

As microalgas podem ser cultivadas em sistemas abertos ou sistemas de fotobiorreatores fechados (BAHADAR; BILAL KHAN, 2013). Os sistemas abertos ou lagoas abertas, ou ainda, *raceway*, são geralmente empregados quando o cultivo é feito em escala piloto, no ambiente natural (HALIM *et al.*, 2012). Já os fotobiorreatores (PBRs) são sistemas integral ou parcialmente fechados que podem ser tubulares, de placas ou de bolhas (MATA *et al.*, 2010; PATEL *et al.*, 2017).

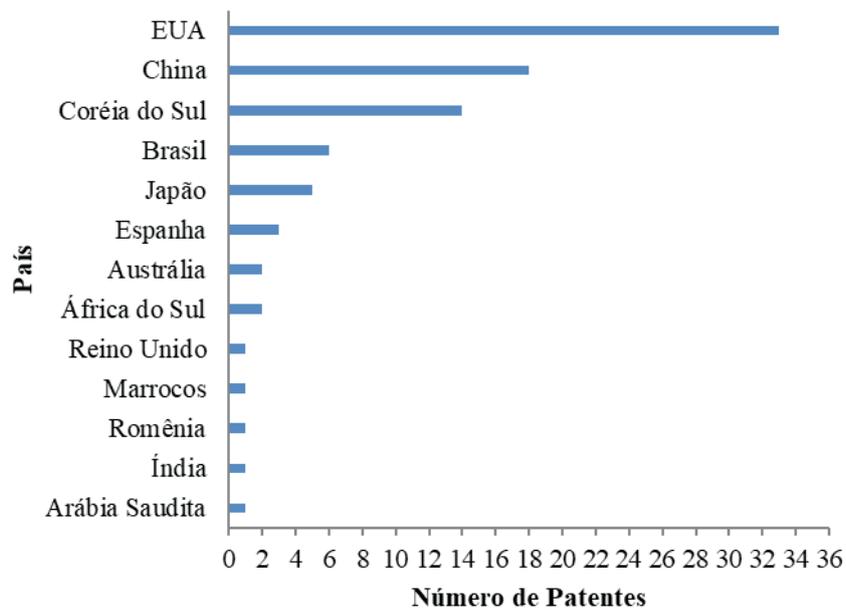
O paroxismo do depósito de patentes alusivo a esse tema se deu no ano de 2014, com um total de 15 (quinze) documentos de patentes. Os anos posteriores, 2015 e 2016, apresentaram um total de 8 (oito) patentes cada. Contrariamente, o ano de 2007 apresentou o menor número de depósitos, apenas 2 (dois) documentos. Salienta-se que a redução no número de depósitos nos anos de 2017 (três) e 2018 (0), provavelmente é equivalente aos 18 meses de sigilo após o depósito.

Figura 1 – Evolução anual acumulada dos depósitos de patentes referentes a este estudo



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

A Figura 2 apresenta o número de patentes depositadas por país referente às tecnologias estudadas. Com relação aos países que tiveram depósitos de patentes alusivos ao cultivo de microalgas para a produção de biodiesel, analisando os dados da Figura 2, contata-se que os Estados Unidos da América são o maior detentor de depósitos, com um total de 33 documentos (32,03%). Na sequência, aparece a China com 18 (dezoito) documentos (17,47%) e a Coreia do Sul com 14 (catorze) documentos (13,60%). Nos países em desenvolvimento, tais como Arábia Saudita, Índia, Marrocos e Romênia, é notável o escasso número de depósitos, quando comparados com os países desenvolvidos.

Figura 2 – Número de patentes depositadas por país

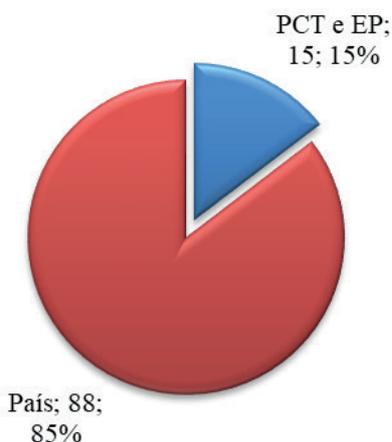
Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

Os EUA, a partir da reforma da legislação sobre patentes, no ano de 2011, com a promulgação da *Lei Leahy Smith – America Invents*, assinada pelo Presidente Barack Obama (WIPO, 2018), facilitou o depósito de patentes, permitindo que o detentor da patente seja aquele que primeiro a depositar, o que pode justificar o maior percentual de depósitos nesse país. Além disso, os EUA registram um histórico na busca de combustíveis que substituam a utilização do petróleo. Como exemplo, no ano de 1978, o governo daquele país criou o Programa de Espécies Aquáticas, cujo objetivo era o desenvolvimento de combustíveis líquidos a partir de algas, programa esse que durou 20 anos (NREL, 1998).

O Brasil possui um total de 6 (seis) depósitos de patentes, assumindo a quarta colocação em número de patentes depositadas, sendo 5 (cinco) delas depositadas pelos EUA entre os anos de 2006 e 2011 e uma pela Holanda. No presente estudo, o Brasil não se apresentou como depositante de patentes, exibindo carência de pesquisas pertinentes ao tema aqui prospectado, considerando a base de dados utilizada. Dentre as patentes depositadas no Brasil pode-se destacar a tecnologia depositada pela empresa *Kai BioEnergy Corporation* dos EUA, a qual apresenta um sistema para o cultivo contínuo de microalgas com a finalidade de obter lipídeos, matéria-prima para a produção de biodiesel. A empresa *Solix Biofuels Inc.* também norte-americana, depositou uma patente no Brasil que se refere à utilização de biorreatores fechados equipados com barreiras térmicas, mecanismos para a movimentação do fluxo do meio de cultivo, regulação da temperatura e regulação da absorção de radiação solar. Além disso, essa tecnologia abrange dispositivos que permitem o processamento da biomassa produzida, transformando-a em produtos comercializáveis, tais como o biodiesel.

Na Figura 3 está apresentado o valor percentual de patentes depositadas em países e em organizações como PCT (Organização Mundial de Propriedade Intelectual) e EP (Organização Europeia de Patentes), evidenciando que 85% das patentes são depositadas em países e 15% são depositadas na PCT e na EP.

Figura 3 – Percentual de patentes depositadas em países e na PCT e EP

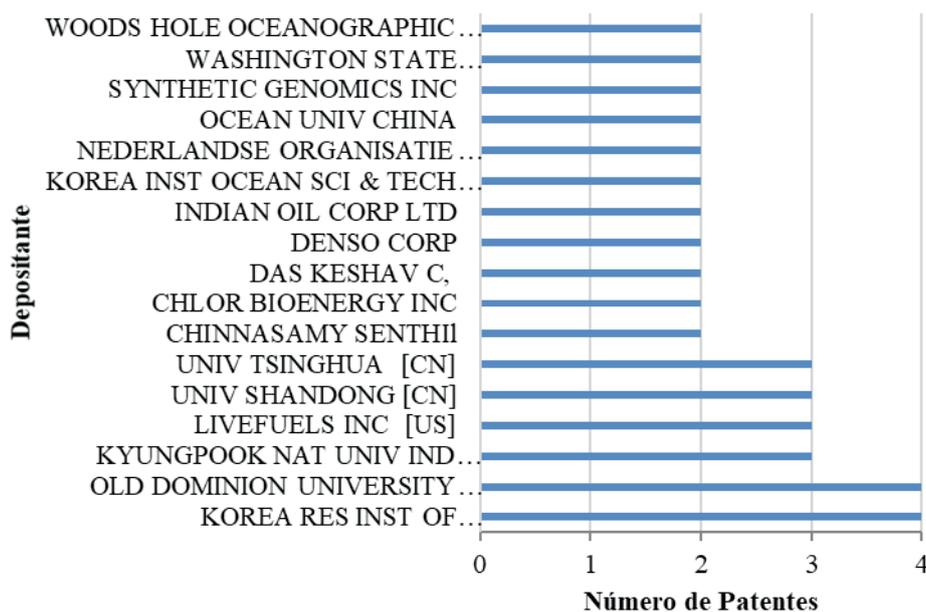


Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

Concernente aos principais depositantes da tecnologia (Figura 4) identificou-se que os mesmos se concentram, majoritariamente, nos EUA, China e Coreia do Sul, o que corrobora com o tópico anterior, cujos resultados mostraram que os documentos foram depositados predominantemente nesses três países.

O Instituto de Pesquisa de Biociência e Biotecnologia da Coreia apresentou 4 (quatro) documentos de patentes, aplicadas entre os anos de 2014 e 2016, os quais relatam desde a seleção de espécies de microalgas com elevado conteúdo lipídico até alterações no meio de cultura, de modo a favorecer o crescimento e o acúmulo de lipídeos. A Fundação de Pesquisa da Universidade norte-americana *Old Domini* apresentou patentes que datam dos anos de 2013 a 2015, cujos temas estão diretamente relacionados ao cultivo de microalgas e à produção de biodiesel. É importante destacar que a maior parte dos depositantes (87,8%) efetuou o depósito de apenas uma patente.

Figura 4 – Principais depositantes de patentes referentes à tecnologia estudada



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

A Figura 5 mostra quem são os principais depositantes de documentos de patentes sobre o tema investigado. Dentre os principais depositantes encontram-se empresas, universidades e pessoas físicas, além de algumas instituições públicas de pesquisas. As pessoas físicas são as que mais detêm documentos de patentes, depositando 53% delas. *Das Keshav, C. e Chinnasamy Senthil* possuem 2 (dois) documentos de patentes depositados em 2010, os quais referem-se ao cultivo mixotrófico de microalgas empregando efluente industrial e a métodos que simplifiquem o processo de colheita de microalgas.

Diferentes esforços têm sido direcionados de modo a tornar o biodiesel de microalgas competitivo técnica e financeiramente, e um deles é aliar o tratamento de águas residuárias à produção de biocombustíveis. Nesse sentido, as microalgas utilizam diferentes nutrientes para o seu crescimento, e com isso podem promover a redução do impacto poluidor de diferentes tipos de efluente. Maity *et al.* (2014) destacam que os principais pressupostos para a aplicação de águas residuárias como meio de cultivo de microalgas é o tratamento com custo de investimento reduzido, com pouco requerimento de energia, com produção de biomassa e reduzida formação de lodo. Ademais, a etapa de colheita de biomassa representa de 20 a 30% dos custos associados ao processo de produção de microalgas (BARROS *et al.*, 2015).

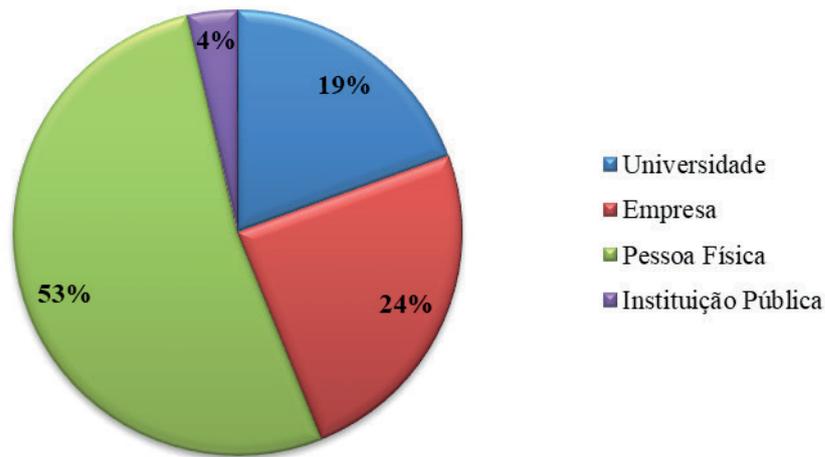
A iniciativa privada surge em segundo lugar com 24% dos depósitos de documentos de patentes concernentes ao cultivo de microalgas visando a produção de biodiesel. Dentre as empresas depositantes cabe evidenciar a *Livefuels Inc.* dos EUA, a qual produz óleo da pirólise a partir de biomassa de microalgas, a *Chlor Bioenergy Inc.*, detentora de 2 (dois) depósitos no ano de 2013, a *Indian Oil Corporation Ltda.*, e a *Toyota Motor Corporation S/A*.

Uma das invenções depositadas pela empresa *Indian Oil Corporation Ltda.* está relacionada com o cultivo das espécies *Chlorella vulgaris*, *Chlorella kessleri*, *Botryococcus braunii*, *Dunaliella salina* e *Nannochloropsis oculata*, as quais se apresentaram termotolerantes e com maior resistência aos valores de pH elevados em biorreatores com o propósito de produzir biodiesel a partir da transesterificação dos lipídeos produzidos por essas espécies.

Na terceira colocação estão as Universidades e/ou Instituições de Pesquisa, com 19% dos documentos de patentes. Nesse quesito, as que mais possuem patentes depositadas são: a Fundação de Pesquisa da Universidade *Old Domini* nos EUA, a *Kyungpook National University* na Coreia do Sul, e a Universidade de *Shandong* na China.

A *Kyungpook National University* depositou um documento pertinente ao cultivo da espécie de microalga *Asterarcys quadricellulare* Knu020 visando a produção de ácidos graxos e posterior obtenção de biodiesel. A Universidade de *Shandong*, por sua vez, empregou a *Scenedesmus bijuga* SDEC-12 cultivada em meio alternativo, esgoto doméstico, com o desígnio de produção de biomassa e lipídeos, além do tratamento desse efluente, obtendo, dessa maneira, benefícios ambientais e econômicos.

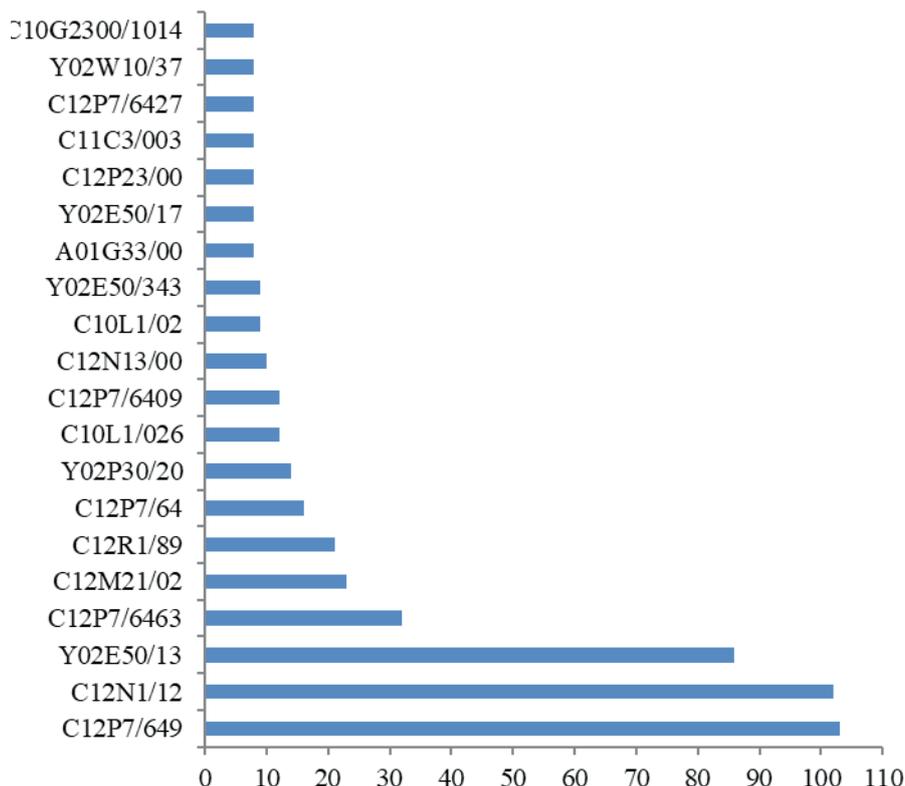
Figura 5 – Principais depositantes de documentos de patentes alusivos ao tema em estudo



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

A Figura 6 mostra o número de patentes por códigos do Sistema Cooperativo de Classificação de Patentes (CCP). Verificou-se que os códigos mais utilizados são C12P7/649, C12N1/12 e Y02E50/13, sendo o último inserido no grupo de combustíveis de origem não fóssil. Nessa prospecção encontrou-se uma ampla gama de códigos, chegando a um número de 283. Decidiu-se, por esse motivo, inserir na Figura 6 apenas os que se repetem com maior frequência. Dentre as seções que mais se mostraram presentes nessa busca, a seção C foi a mais representativa aparecendo em 73,9% das patentes; em seguida está a seção Y, com 10,9% das patentes; e com menor expressividade estão as seções A, B e H, com 7,7%, 6,3% e 0,7%, respectivamente.

Figura 6 – Número de Patentes por Código do Sistema Cooperativo de Classificação de Patentes (CCP)



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

4 Considerações Finais

Como consequência da busca de documentos de patentes alusivos ao cultivo de microalgas para a produção de biodiesel, é possível concluir que essa tecnologia está em crescimento. Para tanto, foram observadas patentes que datam dos anos de 2006 a 2017.

Os Estados Unidos se destacaram como o país com maior número de depósitos de patentes, seguido da China e da Coreia do Sul, respectivamente.

Os maiores depositantes de patentes são também pertencentes a esses países. A maior parte das patentes foram depositadas por pessoas físicas, acompanhadas, em menor percentual por empresas, Universidades e Instituições Públicas, nessa ordem.

A busca de patentes apresentou uma elevada diversidade de códigos do CCP, havendo predominância dos códigos C12P7/649, C12N1/12 e Y02E50/13.

Destarte, como perspectivas futuras, sugere-se incluir o código Y02E50/13 nas buscas por documentos de patentes que englobem esse tema de estudo.

Referências

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Biocombustíveis no Brasil**. 2016. Disponível em: <www.anp.gov.br>. Acesso em: jun. 2018.

BAHADAR, A.; BILAL KHAN, M. Progress in energy from microalgae: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 128–148, 2013.

BARROS, A. I.; GONÇALVES, A. L.; SIMÕES, M.; PIRES, J. C. M. Harvesting techniques applied to microalgae: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 1.489–1.500, 2015.

CANTER, C. E.; BLOWERS, P.; HANDLER, R. M.; SHONNARD, D. R. Implications of widespread algal biofuels production on macronutrient fertilizer supplies: Nutrient demand and evaluation of potential alternate nutrient sources. **Applied Energy**, v. 143, p. 71–80, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.065>>. Acesso em: jun. 2018.

FERRARO, A. Microalgae as source of biofuel: Technology and prospective. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 939, n. 1, 2017.

FIGUERES, C.; SCHELLNHUBER, H. J.; WHITEMAN, G.; ROCKSTRÖM, J.; HOBLEY, A.; RAHMSTORE, S. Three years to safeguard our climate. **Nature**, v. 546, n. 7.660, p. 593–595, 2017.

HALIM, R.; DANQUAH, M. K.; WEBLEY, P. A. Extraction of oil from microalgae for biodiesel production: A review. **Biotechnology Advances**, v. 30, n. 3, p. 709–732, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2012.01.001>>. Acesso em: jun. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, I. CO₂ Emissions from Fuel Combustion 2017 - Highlights. 2017. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsfromFuelCombustionHighlights2017.pdf>>. Acesso em: jun. 2018.

KIRROLIA, A.; BISHNOI, N. R.; SINGH, R. Microalgae as a boon for sustainable energy production and its future research & development aspects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 20, p. 642–656, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.003>>. Acesso em: jun. 2018.

- LEE, O. K.; SEONG, D. H.; LEE, C. G.; LEE, E. Y. Sustainable production of liquid biofuels from renewable microalgae biomass. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 29, p. 24–31, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2015.04.016>>. Acesso em: jun. 2018.
- MAITY, J. P.; BUNDSCHUH, J.; CHEN, C. Y.; BHATTACHARYA, P. Microalgae for third generation biofuel production, mitigation of greenhouse gas emissions and wastewater treatment: Present and future perspectives - A mini review. **Energy**, v. 78, p. 104–113, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.04.003>>. Acesso em: jun. 2018.
- MATA, T. M.; MARTINS, A. A.; CAETANO, N. S. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 1, p. 217–232, 2010.
- MEDIPALLY, S. R.; YUSOFF, F. M.; BANERJEE, S.; SHARIFF, M. Microalgae as Sustainable Renewable Energy Feedstock for Biofuel Production. **BioMed Research International**, v. 2015, p. 519 - 513, 2015. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/bmri/2015/519513/abs/%5Cn>>. Acesso em: jun. 2018.
- MORENO-GARCIA, L.; ADJALLÉ, K.; BARNABÉ, S.; RAGHAVAN, G. S. V. Microalgae biomass production for a biorefinery system: Recent advances and the way towards sustainability. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, n. May 2016, p. 493–506, 2017.
- NREL. A look back at the U. S. Department of Energy's aquatic species program: biodiesel from algae. **Report**, v. 328, p. 291, 1998. Disponível em: <http://www.biodiesel.pl/uploads/media/A_Look_Back_at_the_U.S._Department_of_Energy_s_Aquatic_Species_Program_Biodiesel_from_Algae_July_1998.pdf>. Acesso em: jul. 2018.
- PATEL, A.; GAMI, B.; PATEL, P.; PATEL, B. Microalgae: Antiquity to era of integrated technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 71, n. November 2016, p. 535–547, 2017.
- ROCKSTRÖM, J.; GAFFNEY, O.; ROGELJ, J.; MEINSHAUSEN, M.; NAKICENOVIC, N.; SCHELLNHUBER, H. J. A roadmap for rapid decarbonization. **Science**, v. 355, n. 6.331, p. 1.269–1.271, 2017.
- ROGERS, E. M. **Diffusion of innovations**. 3. ed. Nova York: Free Press. 1995.
- WIPO - World Intellectual Property Organization. Lei Leahy-Smith American Invents Act. Disponível em: <http://www.wipo.int/wipolex/en/text.jsp?file_id=238777>. Acesso em: jul. 2018.

Sobre os autores

Camila Cristina Andrade dos Santos

E-mail: andrade.eng.amb@gmail.com

Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental – UFBA. Mestranda em Meio Ambiente, Águas e Saneamento – UFBA.

Luciano Matos Queiroz

E-mail: lmqueiroz@ufba.br

Doutor em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2009). Professor Associado do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA.

Louisa Wessels Perelo

E-mail: louperelo@gmail.com

Doutora em Microbiologia pela Universidade Técnica de Munique, Alemanha; atualmente faz parte do grupo da University of Tübingen, Microbiology/Organismic Interactions. Interfaculty Institute of Microbiology and Infection.

Emerson Sales Andrade

E-mail: eas@ufba.br

Professor titular do Departamento de Físico-Química da Universidade Federal da Bahia. Atualmente estuda pós-doutorado na Pondicherry University, Índia.