



Um estudo sobre a pesquisa de novas tecnologias aplicáveis a plataformas de biorrefinaria

Vinícius Eduardo Ferrari, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, vini-cius.ferrari@puc-campinas.edu.br

Letícia Andrade Motta de Moraes, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, leticia.amm@puccampinas.edu.br

Ana Clara Ruivo Constâncio, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, ana.crc4@puc-campinas.edu.br

Cândido Ferreira Silva Filho, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, candidofilho@puc-campinas.edu.br

Marcos Ricardo Rosa Georges, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, marcos.georges@puc-campinas.edu.br

Resumo

A redução dos gases de efeito estufa consiste numa prioridade do Acordo de Paris. A transição da matriz energética do petróleo para a bioeconomia representa um elemento crucial para mitigação das mudanças climáticas. O objetivo deste estudo consiste em analisar os esforços de pesquisa no sentido de desenvolver novas tecnologias aplicáveis a plataformas de biorrefinaria. Utilizou-se a plataforma *Derwent Innovations Index* para realizar uma busca dos pedidos globais de patentes realizados entre 2000 e 2022 que receberam a classificação C12P-007/00 (“*preparation of oxygen-containing organic compounds*”). A pesquisa identificou 1,036 famílias de patentes, sendo que os resultados sugerem que a Dupont possui as patentes de soluções enzimáticas para a produção de etanol de segunda geração de maior impacto tecnológico. Os pedidos de patentes feitos pela multinacional norte-americana estão concentrados no período 2000-2013, tendo diminuído desde então. Em contrapartida, o presente estudo observou nos anos mais recentes o crescimento dos esforços de pesquisa de organizações europeias neste campo tecnológico. Conclui-se que as iniciativas de fomento da União Europeia em relação ao desenvolvimento de novos bioprodutos e fontes de energia renováveis parecem estar surtindo o efeito desejado, num cenário em que as empresas brasileiras não aparecem no mapa das patentes de biorrefinarias.

Palavras-chave: bioeconomia, mudanças climáticas, patentes.

1. Introdução

A redução do dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa representa uma prioridade do Acordo de Paris, que foi articulado em 2015 com o intuito de limitar o aquecimento global. Desde então, a busca por soluções para os problemas associados às alterações climáticas, ao desenvolvimento de novas fontes de energia renováveis e à melhoria das condições de saúde mundial têm assumido cada vez mais destaque nos fóruns e acordos internacionais (SAVARESI, 2016). A despeito do caráter complexo destes desafios e das imensas dúvidas sobre como abordá-los, a visão amplamente aceita na atualidade é que a transição da matriz



energética do petróleo para a bioeconomia é uma condição crucial para o equacionamento de grande parte dos problemas ambientais e para o atendimento do Acordo de Paris (BUGGE; HANSEN; KLITKOU, 2016; DAL POZ; BUENO; FERRARI, 2022).

A bioeconomia abrange um leque de aplicações extremamente amplo. As biorrefinarias são plataformas industriais integradas, capazes conciliar as atividades de refino de biocombustíveis com :i) a produção de novos produtos e insumos derivados de recursos biológicos; ii) a cogeração de energia a partir de biomassa e/ou de resíduos industriais; iii) o tratamento de resíduos indústrias e florestais bem como dos recursos hídricos utilizados em atividades fabris; iv) a comercialização de licenças de emissão de carbono (CAVALETT *et al.*, 2012; VENKATA MOHAN *et al.*, 2016; BUENO *et al.*, 2018).

O enorme potencial econômico e ambiental da bioeconomia não passou despercebido dos *policy-makers* de várias nações. A título de exemplo, a União Europeia (EU) disponibilizou até 2018 linhas de crédito equivalentes a €3,85 bilhões para o financiamento de inovações sustentáveis e circulares baseadas em fontes de energia renováveis (ZANATTA, FERRARI, FERREIRA, 2020). Ademais, o projeto *Horizon Europe* prevê €10 bilhões de recursos adicionais para os segmentos de energia, recursos naturais e bioeconomia (RONZON; M'BAREK, 2018).

Não obstante o enorme otimismo frente a bioeconomia, persiste, todavia, uma importante lacuna de pesquisa nesta área, uma vez que, até o momento, nenhum estudo analisou a evolução dos esforços de pesquisa e o perfil das atividades de patenteamento de novas tecnologias passíveis de serem aplicadas a plataformas de biorrefinaria. O presente estudo visa atenuar essa lacuna; para tanto, os autores utilizaram a plataforma *Derwent Innovations* para realizar uma busca dos pedidos globais de patentes de biocombustíveis e de outros bioprodutos ou matérias primas derivados de celulose que receberam a classificação C12P-007/00 (“*preparation of oxygen-containing organic compounds*”) da *World Intellectual Property Organization* (WIPO).

Este artigo foi estruturado da seguinte forma: a Seção 2 aprofunda os temas abordados nesta introdução a respeito às políticas industriais de estímulo à bioeconomia e à produção de biocombustíveis. A Seção 3 descreve os procedimentos metodológicos utilizados para construção do banco de patentes do estudo e para a construção dos indicadores patentários aqui utilizados. A Seção 4 analisa a titularidade destas patentes assim como as tecnologias reivindicadas por elas. Finalmente, a Seção 5 apresenta as conclusões do estudo.

2. Revisão de literatura: políticas industriais de suporte ao desenvolvimento da bioeconomia e ao setor sucroenergético.

Os Estados Unidos (EUA) e o Brasil são respectivamente os dois maiores produtores de biocombustíveis do mundo. Nestes dois países, as políticas industriais de apoio ao setor sucro-

energético remontam aos anos 70. Ademais, em ambas as nações, os estímulos públicos destinados ao aumento da produção de biocombustíveis foram reforçados nos anos 2000 tanto por razões geopolíticas quanto por fatores tecnológicos e econômicos.

Em resposta ao Choque do Petróleo de 1973 que provocou uma forte elevação do preço do produto nos mercados internacionais, o governo brasileiro lançou em 1975 o PRÓALCOOL com o intuito de induzir a substituição da gasolina e dos demais derivados do petróleo por outras fontes de energia, em especial o etanol anidro proveniente da cana-de-açúcar (BRASIL, 1975). Estruturou-se, para tanto, um amplo programa de empréstimos públicos com juros subsidiados que foi direcionado para ampliação da produção de etanol e para a modernização do setor sucroenergético. Na época do seu lançamento, o PRÓALCOOL deu origem ao principal programa de biocombustíveis no mundo, o que possibilitou a redução do consumo de gasolina nos anos 80 (FELTRE, 2013). Não obstante estes resultados exitosos, o PROÁLCOOL passou a ser acusado de promover ineficiências econômicas, o que levou a revogação de suas principais linhas de crédito nos anos 90 (RAMOS, 1999).

O crescimento da frota de carros *flex* na década de 2000 restaurou a crença no papel estratégico do etanol para a matriz energética brasileira, estimulando a restauração dos incentivos creditícios públicos para a produção de biocombustíveis, desta vez por meio do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDES). No período que se estende de 2005 até 2011, o BNDES direcionou R\$ 33 bilhões para o setor sucroenergético, o que equivale a 4,6% do desembolso total do banco público no período. Estima-se que tais financiamentos possibilitaram durante o período 2008-2011 a criação de capacidade produtiva adicional de 5,7 bilhões de litros de etanol (GARCIA *et. al.*, 2012; FERRARI, 2016).

No caso dos EUA, o apoio ao setor sucroenergético se iniciou em 1978 com a promulgação do *Energy Policy Act*, que estipulou um subsídio de \$0,40 centavos por cada barril de etanol derivado de milho. Ao longo de sua história, a subvenção sempre foi estipulada em termos monetários absolutos, isto é, sem relação com as variações de preço do milho ou do petróleo. Dessa maneira, o subsídio associado ao *Energy Policy Act* oscilou entre \$0,40 e \$0,60 centavos por barril de etanol no período que se estende de 1978 a 2015 (TYNER, 2015).

Nos anos que se seguiram aos ataques terroristas do dia 11 de setembro de 2001, o governo federal assim como diversos estados norte-americanos implementaram políticas industriais destinadas a diminuir a dependência econômica do país frente ao petróleo do Golfo Pérsico. Dessa maneira, novas subvenções federais e estaduais passaram a beneficiar a produção de biocombustíveis, complementando o subsídio previsto pelo do *Energy Policy Act*. Ao comparar as diferentes unidades federativas dos EUA, Koplrow (2007) estimou que o subsídio total incidente sobre etanol variou entre \$1,05 e \$1,38\$ dólares no ano de 2006.

Durante a década de 2000, estes subsídios contribuíram para alçar os EUA à condição de maior produtor de etanol do mundo. Segundo HPLE (2011), o volume de etanol ofertado nos EUA durante o triênio 2000-2002 correspondeu a 62,4% da produção brasileira no mesmo período (respectivamente, 7.167 milhões contra 11.490 de litros de etanol). A despeito do Brasil

ter mais que dobrado a sua produção nos sete anos seguintes, totalizando 25.308 milhões de litros no triênio 2007-2009, o país foi ultrapassado pelos EUA. A oferta norte-americana quintuplicou, atingindo impressionantes 34.887 milhões de litros de etanol ao término deste mesmo triênio.

Considerando o triênio 2007-2009, Estados Unidos e Brasil produziram juntos mais de 75% da oferta mundial de etanol. Em contrapartida, neste mesmo período, a União Europeia produziu aproximadamente 80% do biodiesel mundial, sendo que metade da produção europeia ocorreu na Alemanha com base na canola (HPLÉ, 2011). O papel estratégico do biodiesel para a matriz energética europeia foi ressaltado pelo *White Book* de 1994 (COMISSÃO EUROPEIA, 1994). Embora o documento não utilize expressamente o termo “bioeconomia”, trata-se de um dos primeiros memorandos a defender a construção de uma nova matriz econômica baseada em bioprodutos e materiais primas de origem biológica assim como em novas fontes de energia renováveis.

Na visão europeia expressa no *White Book* as biorrefinarias não se restringem apenas à produção de biocombustíveis. Almeja-se, por meio destas plataformas industriais integradas, conciliar tais operações de refino com outras atividades industriais típicas dos setores químico e petroquímico: a produção de bioplástico e outras matérias primas derivadas de biomassa em substituição aos produtos similares obtidos a partir do petróleo (BOZELL; PETERSEN, 2010; LYND et al. 2011); o tratamento de resíduos indústrias assim como a cogeração de energia a partir de tais resíduos ou da biomassa (DAL POZ; BUENO; FERRARI, 2022); a obtenção/comercialização de créditos de carbono etc.

A formalização do modelo europeu para bioeconomia se deu em 2012 através do programa *Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe* (EUROPEAN COMMISSION, 2012). Trata-se de um plano estratégico de fomento à inovação e ao enfrentamento dos desafios tecnológicos, energéticos e ecológicos associados à exploração sustentável dos recursos naturais. Com base nesse programa, a União Europeia disponibilizou fontes creditícias equivalentes €3,85 bilhões para a pesquisa e desenvolvimento (P&D) de fontes de energia renovável assim como outras soluções tecnológicas sustentáveis e circulares. (RONZON; M'BAREK, 2018; ZANATTA, FERRARI, FERREIRA, 2020).

A Lei Europeia do Clima foi aprovada em 2021 com o objetivo institucionalizar os compromissos dos países europeus em relação ao Acordo de Paris. Durante as discussões sobre a Lei, o Parlamento Europeu elegeu a bioeconomia como um elemento estratégico para atingir a ambiciosa meta de tornar a Europa o primeiro continente do mundo neutro para o clima até 2050 (EUROPEAN COMMISSION, 2019). Em face destes diagnósticos e objetivos, o novo programa *Horizon Europe* projeta para o período 2021-2027 uma nova rodada de incentivos industriais para bioeconomia equivalentes à €10 bilhões (RONZON; M'BAREK, 2018).

Inspirados pelas iniciativas da União Europeia, alguns grupos empresariais brasileiros têm ressaltado a importância da bioeconomia para o país latino-americano. De acordo com a Associação Brasileira de Bioinovação (ABBI), a bioeconomia tem potencial de agregar US\$ 53

bilhões por ano à indústria local. Dessa cifra, 37% seriam gerados pela produção de etanol de segunda geração e o restante de produtos derivados da celulose, tais como o plástico verde (OLIVEIRA, 2020). Nesta visão, em face da abundância de recursos naturais, o Brasil representa um dos países mais promissores para o florescimento da bioeconomia (PEREIRA, 2020).

3. Metodologia

As buscas patentárias que deram origem ao banco de dados deste estudo abrangeram o período 2000-2022, contemplando patentes norte-americanas que reivindicam tecnologias aplicáveis a plataformas de biorrefinaria. O Portal Capes foi utilizado para acessar a base de dados *Derwent Innovations Index* e empreender uma busca a respeito das patentes que:

- registram o prefixo “US” em sua numeração, indicando que o documento foi concedido ou revalidado pelo United States Patent and Trademark Office (USPTO).
- receberam a classificação tecnológica C12P-007/00 (“preparation of oxygen-containing organic compounds”). Por sua vez, as tecnologias englobadas pela classe C12P-007/00 são descritas na Lista 1

Lista 1: subclasses tecnológicas que fazem parte da classe C12P-007/00 (“preparation of oxygen-containing organic compounds”), considerando 3 níveis de estratificação

- C12P 7/02 containing a hydroxy group
 - C12P 7/04 acyclic
 - C12P 7/06 Ethanol, i.e. non-beverage
 - C12P 7/16 Butanols
 - C12P 7/18 polyhydric
 - C12P 7/24 containing a carbonyl group
 - C12P 7/24 Ketones
 - C12P 7/28 Acetone-containing products
 - C12P 7/46 Cyclopentanone- or cyclopentadione- containing products
 - C12P 7/40 containing a carboxyl group
 - C12P 7/42 Hydroxy carboxylic acids [
 - C12P 7/44 Polycarboxylic acids
 - C12P 7/48 Dicarboxylic acids having four or less carbon atoms, e.g. fumaric acid, maleic acid
 - C12P 7/50 having keto groups, e.g. 2-ketoglutaric acid
 - C12P 7/52 Propionic acid; Butyric acids [2006.01]
 - C12P 7/54 Acetic acid
 - C12P 7/56 Lactic acid
 - C12P 7/58 Aldonic, ketoaldonic or saccharic acids



IV SUSTENTARE & VII WIPIS
WORKSHOP INTERNACIONAL
Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos
 de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE

Realização: SUSTENTARE FUD CAMPINAS

Apoio: Agência das Relações PCJ, COMITÊS PCJ

- C12P 7/60 2-Ketogulonic acid
- C12P 7/60 Carboxylic acid esters
- C12P 7/62 Polyesters of hydroxy carboxylic acids
- C12P 7/64 Fats; Fatty oils; Ester-type waxes; Higher fatty acids, i.e. having at least seven carbon atoms in an unbroken chain bound to a carboxyl group; Oxidised oils or fats
- C12P 7/6409 Fatty acids
 - C12P 7/6418 by hydrolysis of fatty acid esters
 - C12P 7/6427 Polyunsaturated fatty acids [PUFA], i.e. having two or more double bonds in their backbone
- C12P 7/6436 Fatty acid esters
 - C12P 7/6445 Glycerides
 - C12P 7/649 Biodiesel, i.e. fatty acid alkyl esters

Fonte: World Intellectual Property Organization. Disponível em: <https://www.wipo.int/classifications/ipc/en/>

As patentes identificadas pelo estudo foram classificadas por subclasse tecnológica e por proprietário por meio das funcionalidades presentes no *Derwent*. Os demais recursos disponibilizados por esta plataforma de busca de documentos de propriedade intelectual também contribuíram para a contabilização de dois indicadores patentários que foram utilizados para identificar as patentes de maior relevância tecnológica.

Indicador de citações posteriores

Para identificar as patentes de maior importância tecnológica os autores contabilizaram as citações posteriores recebidas por cada patente. Segundo Trajtenberg (1990) e Hall, Jaffe e Trajtenberg (2001) as citações que um documento patentário recebe de outros mais recentes, representa um indicador da relevância tecnológica das soluções industriais descritas pela patente que foi citada.

Indicador de Amplitude das famílias de patentes

A amplitude de uma família de patentes corresponde ao número de países em que uma invenção conseguiu obter a proteção patentária. Segundo Harhoof, Scherer e Vopel (2003), em face dos custos de emolumentos que são inerentes aos pedidos de revalidação patentária que forem aceitos por escritórios de propriedade intelectual estrangeiros, as empresas priorizam estender para outros países as patentes tecnologicamente mais importantes e juridicamente mais robustas, as quais demonstram maiores probabilidades de gerarem receitas de royalties. Por consequência, os autores apontam a correlação existente entre a amplitude de uma família de patentes e o valor monetário atribuído ao invento por parte dos seus desenvolvedores.

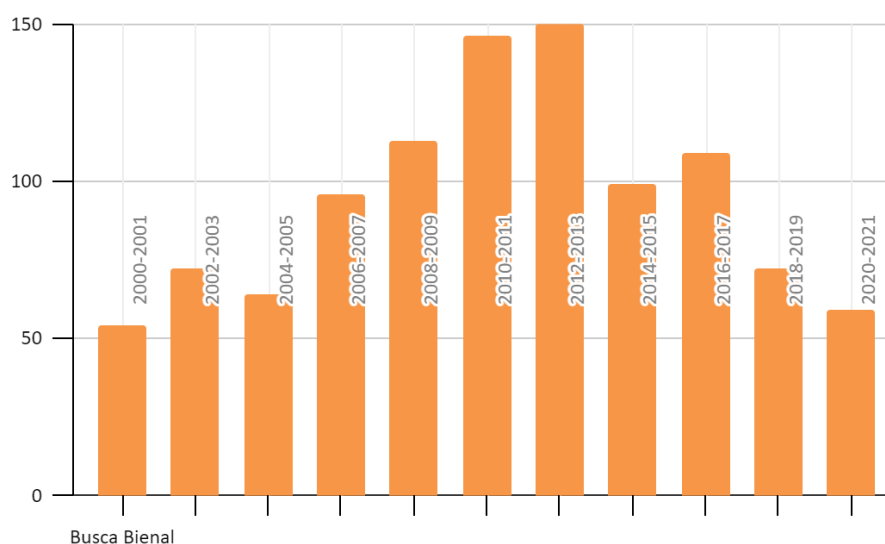
4. Resultados

A busca patentária baseada na classe C12P 7/00 retornou 1.036 famílias de patentes. O Gráfico 1 descreve a evolução dos pedidos de patentes que reivindicam soluções tecnológicas



para as plataformas de biorrefinaria. Por meio dele, é possível perceber que a distribuição bial dos depósitos patentários registra o formato de “U invertido”. Verifica-se inicialmente um processo de crescimento das famílias de patentes, cujo pico foi o biênio 2012-2013. A partir de então, observa-se um movimento de queda dos pedidos de proteção, que recuaram para os níveis do início da série de dados. Dessa maneira, o Gráfico 1 ilustra a existência de duas fases distintas que marcaram o desenvolvimento de tecnologias aplicáveis a plataformas de biorrefinarias, as quais alternaram momentos de crescimento e declínio dos pedidos de patentes.

Gráfico 1. Pedidos de patentes por biênio (documentos que receberam a classificação C12P-007/00)



Fonte: Derwent Innovations Index

A Tabela 1 elenca os principais titulares de patentes de plataformas de biorrefinarias, num ranking que é liderado pela DuPont. Nessa tabela observa-se certa diversidade dos titulares de patentes, contemplando multinacionais de forte presença no mercado global de produtos químicos (Du-Pont, Basf, Cargill, Shell), assim como algumas universidades norte-americanas. Também se observa a presença de uma empresa estatal, o Instituto Francês do Petróleo, e de algumas empresas base tecnológica, as quais são lideradas pela empresa dinamarquesa Novozymes.

Tabela 1. Ranking Top 15 dos principais titulares de patentes de tecnologias aplicáveis a plataformas de biorrefinaria (base de 1.036 famílias de patentes co-brindo o período de janeiro de 2000 até abril de 2022).

Titulares	Número de patentes
DUPONT	44

NOVOZYMES AS	32
BASF	29
UNIV CALIFORNIA	23
XYLECO INC	20
LANZATECH NEW ZEALAND LDT	18
DSM IP ASSETS BV	17
COSKATA INC	15
EVONIK DEGUSSA GMBH	14
UNIV MICHIGAN STATE	12
CARGILL LTD	11
GENOMATICA INC	10
SHELL OIL CO	10
CALIFORNIA INST OF TECHNOLOGY	9
INST FRANCAIS DU PETROLE	9

Fonte: Derwent Innovations Index

Deve-se também analisar em quais períodos as empresas listadas na Tabela 1 concentraram os seus esforços de pesquisa. Sob essa perspectiva, o período de crescimento dos pedidos de patentes que se estende até o ano de 2013 (Gráfico 1) foi caracterizado pela forte presença de empresas norte-americanas nos rankings bienais de proprietários patentários. Conforme revela o Anexo 1, em complemento à empresa multinacional DuPont, que esteve entre os Top 10 titulares por quase quinze anos consecutivos, também se destacaram no período 2000-2015 outros dois elos chaves do sistema nacional de inovação dos EUA: i) as instituições de ensino, representadas pelas universidades da Califórnia e de Michigan; ii) algumas empresas de base biotecnológica atuantes no desenvolvimento de tecnologias voltadas para o etanol de segunda geração, com destaque para a Xyleco.

A análise da lista das patentes mais citadas por outros documentos mais jovens reforça as informações anteriores sobre a titularidade patentária. Tomando por base os indicadores de impacto tecnológico priorizados pelo estudo (número de citações posteriores e número de patentes de extensão), o Anexo 2 revela que 40% das patentes altamente citadas (8 de 20 documentos) pertencem à Dupont. Ademais, esses documentos foram estendidos para, no mínimo, cinco nações diferentes.

A primazia da Dupont tanto na titularidade geral quanto na propriedade das patentes de alto impacto tecnológico influenciou fortemente o perfil tecnológico e a distribuição temporal dos pedidos de patentes. Isso fica evidenciado na Tabela 2, a qual apresenta as duas classes tecnológicas complementares à C12P 7/00 que mais registraram pedidos de patentes (C12P-001/00 e C12P 5/00). Também se aponta na mesma tabela as subclasses pertencentes à C12P 7/00 mais relevantes (C12P 7/06; C12P 7/40; C12P 7/64; C12P 7/62).

A Dupont e a Novozymes (segundo lugar no ranking de titulares patentários -Tabela1) são os dois líderes mundiais do mercado de enzimas. Nos biênios que cobrem o período 2000-2015, em que as duas empresas concentraram seus pedidos de patentes (Anexo 1), a Tabela 2 revela que a classe C12P-001/00 (soluções enzimáticas para o uso da biomassa) recebeu um volume expressivo de depósitos patentários. Segundo Bueno *et al.* (2018), um dos principais desafios relacionados a produção de etanol de segunda geração a partir da biomassa consiste na quebra dos polissacarídeos cristalinos, em especial a celulose. Em face destes desafios, a classe C12P-001/00 engloba patentes que reivindicam tecnologias capazes de realizar a conversão enzimática destes polissacarídeos em mono e dissacarídeos, possibilitando a sua fermentação.

Por outro lado, a Tabela 2 também revela que a relevância das linhas pesquisas contempladas pela classe C12P-001/00 diminui a partir de 2015. O Anexo1 sugere que esse acontecimento se deve principalmente à queda dos pedidos de patentes da empresa líder mundial em soluções enzimáticas, a Dupont. Ainda de acordo com o mesmo anexo, esse movimento de redução dos pedidos de patentes foi acompanhado por outras instituições norte-americanas, um acontecimento que contribui para explicar o ponto de inflexão do Gráfico 1 após 2013.

Tabela 2 Depósitos de patentes bienais por classe tecnológica (total de 1036 famílias de patentes para o período 2000-2021)

2A Número de pedidos de patentes por classe tecnológica

Códigos IPC	2000-2001	2002-2003	2004-2005	2006-2007	2008-2009	2010-2011	2012-2013	2014-2015	2016-2017	2018-2019	2020-2022
C12P 001/00	9	22	15	21	39	37	15	8	7	6	5
C12P 5/00	15	4	3	8	17	24	26	16	11	10	6
C12P 7/00											
7/06	1	5	13	14	27	33	30	13	22	10	6
7/40	11	13	12	18	20	25	20	15	9	9	11
7/64	6	5	13	16	17	18	13	10	7	10	3
7/62	9	14	10	21	13	16	13	5	5	8	3

2B Depósitos por classe tecnológica em porcentagem do total de pedidos de patentes

Códigos IPC	2000-2001	2002-2003	2004-2005	2006-2007	2008-2009	2010-2011	2012-2013	2014-2015	2016-2017	2018-2019	2020-2021
C12P 001/00	16,7 %	30,6 %	23,4 %	21,9 %	34,5 %	25,3 %	10,0 %	8,1%	6,4%	8,3%	8,5%
C12P5/00	27,8 %	5,6%	4,7%	8,3%	15,0 %	16,4 %	17,3 %	16,2 %	10,1 %	13,9 %	10%
C12P 7/00											
7/06	1,9%	6,9%	20,3 %	14,6 %	23,9 %	22,6 %	20%	13,1 %	20%	13,9 %	10%

7/40	20,8 %	18,1 %	18,8 %	18,8 %	17,7 %	17,1 %	13%	15,2 %	8,3%	12,5 %	18,6 %
7/64	11,1 %	6,9%	20,3 %	16,7 %	15,0 %	12,3 %	8,7%	10%	6,4%	13,9 %	5,1%
7/62	16,7 %	19,4 %	15,6 %	21,9 %	11,5 %	11%	8,7%	5,1%	4,6%	11,1 %	5,1%

Fonte: Derwent Innovations Index

Legenda:

C12P 7/00 - Preparation of oxygen-containing organic compounds

C12P 001/00 - General processes for the preparation of compounds or compositions by using microorganisms or enzymes

C12P5/00 - Preparation of hydrocarbons

7/06 - Ethanol, i.e. non-beverage

7/40 - containing a carboxyl group

7/64 - Fats; Fatty oils; Ester-type waxes; Higher fatty acids, i.e. having at least seven carbon atoms in an unbroken chain bound to a carboxyl group; Oxidised oils or fats

7/62 - Carboxylic acid esters

Devaney e Iles (2019) levantam a hipótese de que o desinteresse recente do setor empresarial norte-americano pelas biorrefinarias decorre principalmente dos crescentes investimentos na expansão da produção de combustíveis fósseis e no fornecimento de outros derivados petroquímicos na década de 2010. Em face dos ganhos de competitividade decorrentes da exploração do gás de xisto nos EUA, a indústria química americana anunciou, em 2013, um programa de investimentos equivalente a US\$ 71,7 bilhões (ACC, 2013).

A leitura da Tabela 2A tende a reforçar a hipótese de Devaney e Iles (2019) de que a realização de novas pesquisas em hidrocarbonetos tem avançado em detrimento das soluções tecnológicas para biorrefinarias. O declínio após 2013 dos pedidos de patentes de soluções enzimáticas para a produção de etanol de segunda geração (classe C12P 001/00) coincide com o aumento dos depósitos de patentes em torno da classe C12P5/00, a qual engloba tecnologias relacionadas à preparação de hidrocarbonetos.

Em contrapartida, os dados expressos no Anexo 1 referentes ao período 2016-2021 sugerem que a retração dos pedidos de patentes de tecnologias aplicáveis a plataformas de biorrefinarias por parte das empresas norte-americanas foi parcialmente compensada pelo crescimento dos esforços de pesquisa e desenvolvimento (P&D) que algumas empresas europeias direcionaram para esse campo tecnológico. Isto implica que, aparentemente, os estímulos econômicos associados ao *European Green Deal* – discutido na Seção 2 - têm contribuído tanto para conservar o interesse de multinacionais europeias frente ao desenvolvimento de tecnologias aplicáveis a plataformas de biorrefinaria quanto para atrair novas organizações do continente para esse campo tecnológico.

Como revela o Anexo 1, a BASF (a maior empresa química da Europa) continua a figurar entre os Top 10 titulares de patentes nos biênios 2016-2017 e 2020-2021. O mesmo pode ser dito a respeito da empresa alemã Evonik e da anglo-holandesa Shell. Ademais o Instituto Francês do Petróleo ingressou no ranking dos Top 10 depositários de patentes pela primeira vez no 2016-2017, conservando essa posição nos dois biênios seguintes. Não por

acaso, conforme revelam as Tabelas 2A e 2B, a queda a partir de 2013 dos pedidos de patentes de tecnologias relacionadas à produção biodiesel (C12P7/64) - combustível em que a Alemanha desponta como o maior produtor mundial - foi relativamente menor do que a queda dos depósitos patentários relacionados ao etanol.

5. Conclusões e discussões

Este estudo identificou duas fases distintas relacionadas ao desenvolvimento e patenteamento de tecnologias aplicáveis às plataformas de biorrefinaria. Num período de 13 anos que se inicia no ano 2000, os depósitos de patentes neste campo tecnológico praticamente triplicaram, atingindo o pico em 2013. Nota-se por mais de uma década a forte presença de empresas norte-americanas nos rankings bienais de titulares patentários, com destaque para a multinacional Dupont, um dos líderes mundiais do mercado de enzimas. Por essa razão, uma parcela significativa dos pedidos de patentes feitos no período 2000-2013 englobou soluções enzimáticas para a produção de etanol de segunda geração.

Este cenário começou a se alterar a partir de 2014 *vis-à-vis* os ganhos de competitividade do complexo petroquímico dos EUA decorrentes da exploração do gás de xisto. Este acontecimento fez com que o setor empresarial norte-americano passasse a priorizar cada vez mais os investimentos na expansão da produção de combustíveis fósseis e no fornecimento de outros derivados petroquímicos em detrimento do desenvolvimento de novas pesquisas com biocombustíveis. Assim, o declínio dos pedidos de patentes de soluções enzimáticas coincide com o aumento dos documentos patentários que reivindicam tecnologias relacionadas à preparação de hidrocarbonetos.

Em 2021 o governo John Biden recolocou os EUA no Acordo de Paris. As discussões apresentadas neste artigo sugerem que, em face da retomada do compromisso de zerar emissões de gases estufa até 2050, torna-se imperioso a revitalização do interesse do setor empresarial norte-americano pelas biorrefinarias, o que exigirá novas políticas industriais suplementares ao subsídio federal concedido pelo *Energy Policy Act*.

Por outro lado, o estudo também indica que a redução dos pedidos de patentes de tecnologias aplicáveis a plataformas de biorrefinarias por parte das empresas norte-americanas foi parcialmente compensada pelo crescimento dos esforços de P&D que diversas organizações europeias direcionaram para este campo tecnológico. Assim, o trabalho sinaliza que as iniciativas de fomento da União Europeia ao desenvolvimento de novas fontes de energia renováveis parecem estar surtindo o efeito desejado.

No tocante ao Brasil, o país desponta como o segundo maior produtor de biocombustíveis do mundo e berço de diversas políticas industriais de estímulo ao setor sucroenergético (FERRARI, 2016). Além disso, diversos estudos elegeram as biorrefinarias como uma janela de oportunidade para Brasil, em decorrência da sua enorme biodiversidade (MMA, 2020). Essas características fazem do país um ambiente propício para o florescimento da bioeconomia. A despeito desse enorme potencial, os resultados obtidos neste estudo revelam que organizações



brasileiras não aparecem no mapa das patentes de biorrefinarias, o que levanta preocupações a respeito da competitividade futura do Brasil neste campo tecnológico.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem à PUC Campinas pelo apoio a esta pesquisa, ao CNPq pela bolsa PIBIC concedida para a graduanda Letícia Andrade Motta de Moraes e à Fapesp pela bolsa de Iniciação Científica concedida à discente Ana Clara Ruivo Constâncio (PROCESSO 2022/08124-0)

7. Referências bibliográficas

ACC. *Guide to the Business of Chemistry*. Washington, D.C.: ACC, 2019. Disponível em: <https://www.americanchemistry.com/GBC2019.pdf>. Acesso em: 06 out. 2022.

BOZELL, J.J., PETERSEN, G.R. Technology development for the production of biobased products from biorefinery carbohydrates—the US Department of Energy’s “Top 10” revisited. *Green Chemistry* 12, 539–554, 2010

BRASIL. Senado Federal. *Decreto n° 76.593*, de 14 de novembro de 1975.

BUENO, C. DA S. *et al.* Aplicando rede de IPCs para identificar a fronteira tecnológica da bioenergia. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 17, n. 2, p. 259–286, 6 jul. 2018.

BUGGE, M. M.; HANSEN, T.; KLITKOU, A. What Is the Bioeconomy? A Review of the Literature. *Sustainability*, v. 8, n. 7, p. 691, jul. 2016.

CAVALETT, O. *et al.* Environmental and economic assessment of sugarcane first generation biorefineries in Brazil. *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 14, n. 3, p. 399–410, 1 jun. 2012.

COMISSÃO EUROPEIA. *Crescimento, Competitividade, Emprego: Os Desafios e as Pistas para Entrar no Século XXI: “Livro Branco”*, 1994.

DAL POZ, M. E. D.; DA SILVEIRA BUENO, C.; FERRARI, V. E. Waste Biomaterials Innovation Markets. In: JACOB-LOPES, E.; QUEIROZ ZEPKA, L.; COSTA DEPRÁ, M. (Org.). *Handbook of Waste Biorefinery: Circular Economy of Renewable Energy*. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 93–118.

DEVANEY, L.; ILES, A. Scales of progress, power and potential in the US bioeconomy. *Journal of Cleaner Production*, v. 233, p. 379–389, 1 out. 2019.

EUROPEAN COMMISSION. *Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe. Industrial Biotechnology*. Brussels: European Commission, 2012. Disponível em: <http://www.liebertpub.com/doi/10.1089/ind.2012.1508>



EUROPEAN COMMISSION. A European Green Deal. 2019. European Commission. Disponível em: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en . Acesso em: 19 dez. 2020.

FELTRE, C. *Coordenação da transações de cana-de-açúcar das usinas sucroalcooleiras no oeste paulista: complementos contratuais e pluralidade*. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2013.

FERRARI, V.E. O apoio estatal ao setor sucroalcooleiro: uma avaliação sobre os impactos dos financiamentos do BNDES destinados para o complexo canavieiro. *Revista Eletrônica Documento Monumento*, v.19, n. 1, p.143-157, nov/2016.

GARCIA, J. L.F; NYKO, D.; MILANEZ, A.Y; REIS, B.L.S.F.S. O setor sucoenergético em 2011. *BNDES Informe Setorial*, Epub(22), março de 2012

HALL, B. H.; JAFFE, A. B.; TRAJTENBERG, M. *The NBER Patent Citation Data File: Lessons, Insights and Methodological Tools*. Working Paper, nº 8498. [S.l.]: National Bureau of Economic Research, out. 2001. Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w8498>>. Acesso em: 8 fev. 2019.

HARHOFF, D.; SCHERER, F. M.; VOPEL, K. Citations, family size, opposition and the value of patent rights. *Research Policy*, v. 32, n. 8, p. 1343–1363, 1 set. 2003.

HLPE. Price volatility and food security. A report by the High Level Panel of Experts on Food-Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome: Food and Agriculture Organization, 2011.

KOPLow, D. Biofuels—At What Cost? Government Support for Ethanol and Biodiesel in the United States. *Geneva, Switzerland: Global Subsidies Initiative of the International Institute for Sustainable Development*, 2007. Retrieved from <https://policycommons.net/artifacts/615653/biofuels-at-what-cost-government-support-for-ethanol-and-biodiesel-in-the-united-states/1596225/> on 14 Oct 2022. CID: 20.500.12592/76k1fs.

LYND, L.R. et al. A global conversation about energy from biomass: the continental conventions of the global sustainable bioenergy project. *Interface Focus* 1, 271–279, 2011.

MMA. Biodiversidade. 2020. *Ministério do Meio Ambiente*. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade/biodiversidade> . Acesso em:

06 out. 2022

OLIVEIRA, K. CNI defende bioeconomia para estimular produção e inovação no país. nov. 2020. Agência Brasil. Disponível em: <https://agenciabrasil.etc.com.br/economia/noticia/2020-11/cni-defende-bioeconomia-para-estimular-producao-e-inovacao-no-pais> . Acesso em: 21 set. 2022.



PEREIRA, G. Bioeconomia e a Indústria Brasileira. Brasília: CNI, 2020. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/cd/ed/cded4159-a4c5-474d-9182-dd901b317e1c/bioeconomia_e_a_industria_brasileira.pdf. Acesso em: 21 set. 2022.

RAMOS, P. *Agroindústria canavieira e propriedade fundiária no Brasil*. São Paulo: Hucitec, 1999.

RONZON, T.; M'BAREK, R. Socioeconomic Indicators to Monitor the EU's Bioeconomy in Transition. *Sustainability*, v. 10, n. 6, p. 1745, jun. 2018.

SAVARESI, A. The Paris Agreement: a new beginning? *Journal of Energy & Natural Resources Law*, v. 34, n. 1, p. 16–26, 2 jan. 2016.

TRAJTENBERG, M. A Penny for Your Quotes: Patent Citations and the Value of Innovations. *The RAND Journal of Economics*, v. 21, n. 1, p. 172–187, 1990.

TYNER, W. E. U.S. Ethanol Policy— Possibilities for the Future. *Historical Documents of the Purdue Cooperative Extension Service*, Paper 1039, 2015. Available in: <https://docs.lib.purdue.edu/agext/1039>

VENKATA MOHAN, S. *et al.* Waste biorefinery models towards sustainable circular bioeconomy: Critical review and future perspectives. *Bioresource Technology*, Waste Biorefinery - Advocating Circular Economy. v. 215, p. 2–12, 1 set. 2016.

ZANATTA, F.; FERRARI, V. E.; FERREIRA, D. H. L. INDÚSTRIA QUÍMICA BRASILEIRA E BIODIVERSIDADE: DESAFIOS E OPORTUNIDADES.. *In: Anais do II SUSTENTARE e V WIPIS - Workshop Internacional sobre Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos*. Anais...Campinas(SP) PUC-CAMPINAS, 2020

Anexo 1. Posição no ranking bienal dos Top 10 titulares de patentes pertencentes à classe C12P-007/00 da Classificação Internacional de Patentes da WIPO

Titulares	2000-2001	2002-2003	2004-2005	2006-2007	2008-2009	2010-2011	2012-2013	2014-2015	2016-2017	2018-2019	2020-2021	TOTAL
DUPONT	4	1	1	1	9	1		4				44
NOVOZYNES AS			4		2	2	2	1				32
BASF	1	2	3	9	1	7			4		10	29
UNIV CALIFORNIA				2		8	6					23
XYLECO INC						3	4					20
LANZATECH NEW ZEALAND LTD				10	10		5			1	1	18
DSM IP ASSETS BV				6	5					3		17
COSKATA INC							1		6			15



IV SUSTENTARE & VII WIPIS
WORKSHOP INTERNACIONAL

Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos

de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE

Realização: SUSTENTARE FUD CAMPINAS

WIPES IBCOP

Apoio: Agência das Relações PCJ

COMITÊS PCJ

EVONIK DEGUSSA GMBH				4				8	5		14
UNIV MICHIGAN STATE	2										12
CARGILL LTD		7					3		4		11
GENOMATICA INC					5						10
SHELL OIL CO						7	2				10
CALIFORNIA INST OF TECHNOLOGY				3							10
INST FRANCAIS DU PETROLE								2	8	4	9
COUNCIL SCI & IND RES INDIA		6	10								8

Fonte: Derwent Innovations Index

8. Anexo2: Lista das 20 patentes que receberam o maior número de citações posteriores

Título	Citações	Amplitude (Nº de Nações)	Firma integrante do TOP 15 da Tabela 1
Treatment of biomass involves contacting biomass with aqueous solution comprising ammonia, and contacting pretreated biomass product with saccharification enzyme consortium under suitable conditions to produce fermentable sugars	265	9	DUPONT
Host cell transformed with nucleic acid construct used in producing fermentation products, e.g. ethanol, lactic acid, acetic acid, cephalosporins, comprises nucleotide sequence encoding xylose isomerase	243	11	DSM IP ASSETS BV
Producing target chemical involves pretreating biomass under high solids and low ammonia concentration; contacting product with saccharification enzyme to form fermentable sugar; followed by contacting with biocatalyst able to ferment sugar	219	8	DUPONT
New polypeptide having lipase activity, useful for reducing the formation of odor generating short chain fatty acids	209	9	NOVOZYMES AS
Changing molecular structure of biomass feedstock to produce fuel involves preparing biomass feedstock by reducing dimension of each piece of biomass; and pretreating feedstock using pretreatment method e.g. pyrolysis followed by processing	196	21	XYLECO INC
New recombinant cell comprises a gene encoding a fatty acid derivative enzyme, useful for preparing a composition, e.g. biofuel composition, producing fatty acid derivatives, and for increasing production of fatty acid derivatives	161	13	GENOMATICA INC
Treatment of biomass comprising integrated feedstocks involves contacting pretreated integrated feedstock product with saccharification enzyme consortium under suitable conditions to produce fermentable sugar product	152	9	DUPONT



IV SUSTENTARE & VII WIPIS
WORKSHOP INTERNACIONAL
Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos
 de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE

Realização: SUSTENTARE PUC-CAMPINAS

WIPES IBC-OP

Apoio: Agência das Relações PCJ

COMITÊS PCJ

Continuous conversion of solid lignocellulosic biomass to ethanol by subjecting biomass slurry to high temperature and/or oxygen enriched atmosphere, hydrolyzing, fermenting, separating ethanol, and treating wastewater	146	8	
Converting cellulosic material to ethanol, involves forming liquid/fiber fraction by treating cellulosic material to hydrothermal pre-treatment without chemical additions, subjecting fractions to liquefaction and saccharification	135	13	
New engineered microbial host cell capable of using a minimum amount of light energy to synthesize a carbon-based product comprising engineered nucleic acids, useful for producing carbon-based product of interest or its intermediate	129	9	
New Escherichia coli strain comprising an up-regulated endogenous galP and yqhD gene encoding an active galactose-proton symporter, and alcohol dehydrogenase, respectively, useful for producing 1,3 propanediol	129	15	DU PONT
Growing of eukaryotic microorganisms capable of producing lipids by adding carbon source and limiting nutrient source to fermentation medium to obtain specified biomass density	115	24	DSM IP ASSETS BV
Production of isoprenoid vitamins, e.g. alpha-tocopherol, useful as nutritional supplements, by chemical conversion of farnesol or geranylgeraniol	113	11	
Novel eukaryotic host cell e.g. Candida capable of isomerizing xylose into xylulose, comprising genetic modification that increases flux of pentose phosphate pathway, useful for producing ethanol and fermented product e.g. lactic acid	96	9	DSM IP ASSETS BV
Producing omega-3 or omega-6 fatty acids by growing oleaginous yeast with genes encoding omega-3/omega-6 fatty acid biosynthetic pathway in presence of fermentable carbon source and recovering fatty acids	93	9	DU PONT
Preparation of peroxy-carboxylic acid, useful as e.g. disinfectant comprises reacting carboxylic acid ester with inorganic peroxide, e.g. hydrogen peroxide in the presence of enzyme catalyst having perhydrolysis activity	92	5	DU PONT
Modular process for organosolv fractionation of lignocellulosic feedstock e.g. waste paper, involves digestion of feedstock, producing fuel-grade ethanol and lignin derivatives, solid-liquid separation, and separation of stillage	91	10	
New bio-organic compound production system comprising a vessel, an aqueous medium, host cells and a liquid organic second phase comprising the bio-organic compound in contact with the first phase, useful in making a fuel composition	81	17	
Novel nucleic acid fragment encoding a non-specific catalytic activity for the bio-conversion of 3-hydroxypropionaldehyde to 1,3-propanediol	80	11	DU PONT
Producing high-sugar content hydrolysate from biomass (e.g. corn cobs) by providing reaction components in reactor, reacting slurry and enzymes, applying particle size reduction mechanism, and reacting higher solids biomass slurry	73	11	DU PONT

Fonte: Derwent Innovations Index