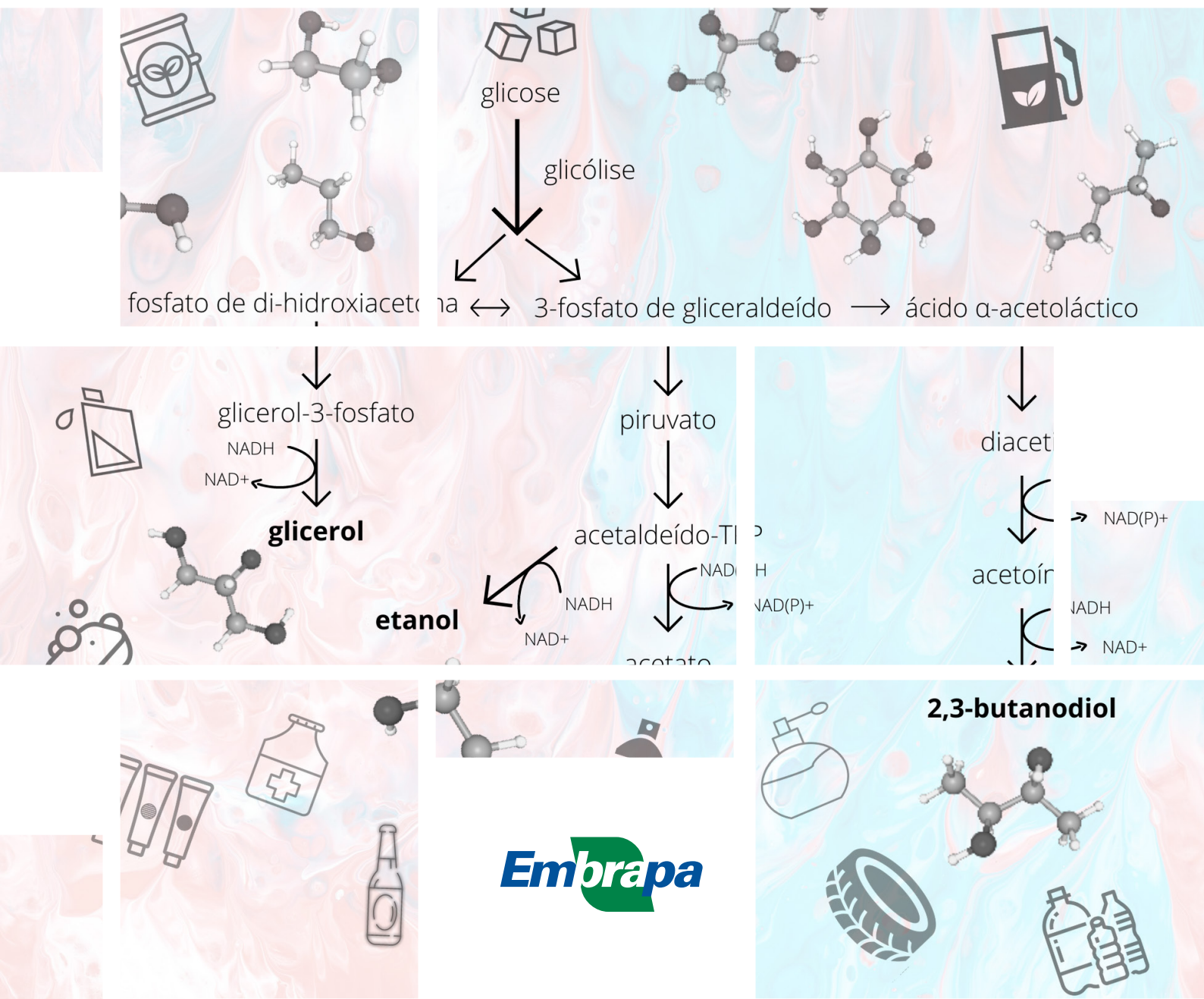


# Estudo bibliométrico e análise de patentes acerca da produção de ácidos carboxílicos e álcoois a partir de açúcares

## Parte 2: álcoois





**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Agroenergia  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

## **DOCUMENTOS 37**

**Estudo bibliométrico e análise de patentes acerca da produção  
de ácidos carboxílicos e álcoois a partir de açúcares**

**Parte 2: álcoois**

*Melissa Braga  
Priscila Mendes Ferreira  
Carolina Roberte de Oliveira  
João Ricardo Moreira de Almeida*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Agroenergia**  
Parque Estação Biológica (PqEB), s/nº  
Ed. Embrapa Agroenergia  
Caixa Postal 40315  
CEP 70770-901, Brasília, DF  
Fone: +55 (61) 3448-1581  
Fax: +55 (61) 3448-1589  
www.embrapa.br/agroenergia  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê Local de Publicações  
da Embrapa Agroenergia

Presidente  
*Patrícia Verardi Abdelnur*

Secretária-Executiva  
*Lorena Costa Garcia Calsing*

Membros  
*Adilson Kenji Kobayashi*  
*André Pereira Leão*  
*Dasciana de Sousa Rodrigues*  
*Emerson Léo Schultz*  
*Felipe Brandão de Paiva Carvalho*  
*Tháís Fabiana Chan Salum*  
*Wesley Gabriel de Oliveira Leal*

Supervisão editorial e revisão de texto  
*Luciane Chedid Melo Borges*

Normalização bibliográfica  
*Iara Del Fiaco Rocha*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Maria Goreti Braga dos Santos*

Ilustração da capa  
*Carolina Roberte de Oliveira*

**1ª edição**  
Publicação digital (2021)

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa, Secretaria-Geral

---

Estudo bibliométrico e análise de patentes acerca da produção de ácidos carboxílicos e álcoois a partir de açúcares:

parte 2: álcoois / Melissa Braga ... [et al.]. – Brasília, DF : Embrapa Agroenergia, 2021.

PDF (66 p.) : il. color. – (Documentos / Embrapa Agroenergia, ISSN 2177-4439 ; 37)

1. Recurso energético. 2. Álcool. 2. Biocombustível. I. Braga, Melissa. II. Ferreira, Priscila Mendes. III. Oliveira, Carolina Roberte de. IV. Almeida, João Ricardo Moreira de. V. Serie. VI. Embrapa Agroenergia.

CDD 662.65

## Autores

### **Melissa Braga**

Química, mestre em Físico-química, analista da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

### **Priscila Mendes Ferreira**

Bióloga, graduada em Ciências Biológicas, colaboradora da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

### **Carolina Roberte de Oliveira**

Biotecnologista, mestranda em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação, colaboradora da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

### **João Ricardo Moreira de Almeida**

Biólogo, doutor em Microbiologia Aplicada, pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.



## Agradecimentos

Os autores agradecem à dra. Mônica Caraméz Triches Damaso, supervisora do Observatório de Tendências em Biocombustíveis e Bioprodutos da Embrapa Agroenergia, pela valiosa contribuição neste documento.

Este trabalho foi financiado pela Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF), sob o número de concessão 236/2019.





## Apresentação

Este trabalho, juntamente com o Documentos 36 (“Estudo bibliométrico e análise de patentes acerca da produção de ácidos carboxílicos e álcoois a partir de açúcares - Parte 1: Ácidos carboxílicos”) formam o mais completo estudo sobre a utilização da biomassa para a produção de bioquímicos renováveis realizado pela Embrapa Agroenergia.

Nesta segunda parte, o tema explorado é a produção de álcoois a partir de fontes renováveis de matéria-prima. Semelhante ao que foi realizado na parte 1, são analisados dados e informações recuperadas em fontes secundárias, especialmente publicações científicas e patentárias, com o objetivo de traçar um panorama da pesquisa científica e aplicada acerca da obtenção de álcoois derivados da biomassa, bem como determinar o cenário tecnológico e mercadológico da produção desses compostos com base nas informações coletadas.

Esses estudos são utilizados internamente para ajudar a direcionar nossos esforços em PD&I. Contudo, dada a abrangência e o riquíssimo conteúdo final da obra (partes 1 e 2), decidimos torná-la pública para que outras instituições de ciência e tecnologia possam utilizá-la como uma fonte qualificada de informações.

Espero que apreciem a leitura.

*Alexandre Alonso Alves*  
Chefe-Geral da Embrapa Agroenergia



## Sumário

Parte 2: álcoois.....	11
Aspectos Gerais .....	11
Método de pesquisa .....	12
Levantamento bibliográfico dos álcoois passíveis de obtenção a partir de fontes renováveis .....	12
Classificação dos álcoois .....	12
Levantamento de informações de mercado: preço, volume e mercado global.....	13
Levantamento das movimentações financeiras associadas aos álcoois .....	13
Busca, quantificação e análise de informações técnico-científicas associadas aos álcoois na literatura .....	13
Avaliação da evolução das áreas tecnológicas por meio de análise da Classificação Internacional de Patentes .....	14
Resultados e discussão .....	16
Os álcoois e rotas associadas.....	16
Quantificação das publicações associadas aos álcoois .....	32
Áreas tecnológicas de concentração dos álcoois nos documentos de patente.....	34
Áreas tecnológicas dos documentos de patentes recuperados.....	36
Considerações Finais.....	61
Referências .....	62



## Parte 2: álcoois

### Aspectos Gerais

Álcoois são compostos orgânicos, cujas cadeias carbônicas possuem uma ou mais hidroxilas (-OH). A quantidade e a posição das hidroxilas, associadas a outras características da molécula, como o tamanho da cadeia carbônica e a presença de insaturações, determinam as propriedades físico-químicas, reatividade e, conseqüentemente, a aplicação comercial dos álcoois.

Embora os álcoois alifáticos de cadeia curta (C1-C6) sejam empregados como solventes, alimentos e intermediários em diversos processos industriais, é inevitável a associação deles a combustíveis, particularmente como promissores substitutos de combustíveis de origem fóssil, como a gasolina. O metanol e o etanol são os álcoois de cadeia curta mais relevantes comercialmente, em razão do amplo espectro de aplicação na indústria química. A princípio, eram produzidos exclusivamente a partir de fontes renováveis, pelo processo de destilação destrutiva da madeira e fermentação de açúcares. Atualmente, as rotas não renováveis, de base petroquímica prevalecem, especialmente para o metanol, em razão dos menores custos de processo e matéria-prima. O caso do etanol de fonte renovável no Brasil e EUA são exceções, sujeitas às oscilações da demanda pelos (polis) sacarídeos de partida para outros fins, como, por exemplo, alimentação.

A importância e a crescente atenção aos álcoois ocorrem pela evolução de seus processos produtivos com fontes renováveis de matéria-prima, especialmente os açúcares advindos de culturas como as de cana-de-açúcar, beterraba e milho. Esses processos requerem menor consumo energético, emitem menos poluentes durante a etapa de combustão, e ainda reduzem a dependência de matérias-primas fósseis, sendo então alternativas valiosas e bastante atrativas para a produção dos álcoois.

Por outro lado, sempre haverá polêmicas sobre o impacto do uso de biomassa, originalmente destinada para alimentação, na produção de outros produtos, especialmente destinados à indústria química. Essa preocupação faz com que esforços em pesquisa sejam alocados em processos de obtenção desses compostos a partir de biomassas residuais e coprodutos, como os materiais lignocelulósicos. Independentemente da origem da matéria-prima, a tendência é a busca por fontes renováveis e por processos e produtos que agridam menos o meio-ambiente, para atender não só as exigências de tratados e legislações ambientais, mas também um mercado consumidor mais seletivo e consciente.

A depender do número de hidroxilas, isto é, do grau de oxidação da cadeia carbônica, o álcool resultante pode guardar grande semelhança com a estrutura de seus monossacarídeos precursores. Sob esse aspecto, a obtenção de álcoois com grau de oxidação próximo à matéria-prima de partida pode ser favorecida do ponto de vista energético e, conseqüentemente, econômico (Gallo; Trapp, 2017).

Nesse sentido também se destacam os álcoois poli-hídricos, também conhecidos por polióis ou ainda álcoois de açúcar, os quais, como o nome indica, guardam grande proximidade química com seus sacarídeos precursores em razão do elevado grau de oxidação discutido anteriormente. Os álcoois de açúcar, como o xilitol, o manitol, o sorbitol e o eritritol, são obtidos a partir da redução da glicose e fornecem propriedades sensoriais semelhantes ou até mais acentuadas que as dos açúcares de origem, porém são menos calóricos e anticariogênicos. Além da indústria alimentícia, destacam-se as aplicações desses álcoois em produtos farmacêuticos, de cuidados higiênicos orais e pessoais (*personal care*), e como intermediários na síntese química. Para atender a esses merca-

dos, são crescentes os esforços em pesquisa e desenvolvimento para o estabelecimento de processos que permitam a redução de custo e aumento de escala da produção desses álcoois, atualmente restrita, considerando o grande potencial deles nessas áreas e em outras na indústria química.

Diante da grande importância desses compostos para a sociedade, a literatura científica e patentária acerca de álcoois de cadeia curta (C1-C6) é vasta, apresentando rotas de obtenção, mercados, aplicações, perspectivas futuras de tecnologias e expansão desses mercados. Dessa forma, com base nessas fontes de informações, este trabalho apresenta e discute aspectos tecnológicos e mercadológicos recentes dos principais álcoois de cadeia curta passíveis de serem obtidos a partir de matérias-primas renováveis; os processos de produção e transformação associados; assim como as áreas tecnológicas de aplicação.

## Método de pesquisa

### Levantamento bibliográfico dos álcoois passíveis de obtenção a partir de fontes renováveis

Álcoois de cadeia curta (C1-C6), oriundos da conversão de glicose ou xilose, e seus processos de produção, foram identificados em literatura científica e em bases de dados por meio de pesquisa exploratória qualitativa. As seguintes fontes secundárias foram utilizadas:

- Bases de dados *Web of Science*, *Google Scholar* e *Science Direct*.
- Relatórios não indexados, publicados por instituições de destaque no campo da bioeconomia, como *Joint Research Centre – European Commission*, *U.S. Department of Energy*, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE.
- Livros.
- Sítios eletrônicos associados a química e engenharia, como o *Chemical & Engineering News*.

### Classificação dos álcoois

Os álcoois identificados de acordo com a estratégia acima foram agrupados em três grupos distintos quanto à principal fonte de matéria-prima e processo de produção desses compostos. Para tanto, foi empregada a mesma classificação dos ácidos, proposta por Braga et al. (2021), reproduzida a seguir:

- Grupo 1: álcoois de base biológica produzidos comercialmente a partir de matérias-primas renováveis.
- Grupo 2: álcoois de base biológica de mesma composição química que os petroquímicos; portanto, podem substituí-los sem necessidade de alteração na cadeia produtiva subsequente, são comumente chamados de “drop-in”<sup>1</sup>.
- Grupo 3: álcoois de base biológica que, até o momento, vêm sendo pouco explorados comercialmente por questões técnicas ou econômicas e podem se tornar blocos-construtores ou intermediários de outros produtos de interesse econômico.

<sup>1</sup> Produtos químicos “drop-in” são derivados de biomassa que são idênticos aos seus pares derivados de petroquímica, independentemente da matéria-prima, e constituem, portanto, seu substituto perfeito (por exemplo, isobutanol convencionalmente é derivado do propileno, mas a mesma molécula também pode derivar de açúcares e é, portanto, um produto químico “drop-in”) (European Commission, 2018).

Ao longo deste trabalho, esses grupos são mantidos, a fim de melhor identificar álcoois similares. As cores verde, vermelha e azul são usadas para identificar os álcoois do Grupo 1, Grupo 2 e Grupo 3, respectivamente.

#### Levantamento de informações de mercado: preço, volume e mercado global

A produção global em termos mássicos e valores monetários foi recuperada em publicações científicas e sítios eletrônicos, como, por exemplo:

- The Essential Chemical Industry.<sup>2</sup>
- Markets and Markets.<sup>3</sup>
- Cefic.<sup>4</sup>
- Reed Business Information Limited. Reed Elsevier.<sup>5</sup>
- TD The Market Publishers, Ltd. IHS, Inc.<sup>6</sup> [109]
- Biofuels Digest.<sup>7</sup>
- Green Chemicals Blog.<sup>8</sup>
- Biomass Magazine.<sup>9</sup>
- Alibaba.<sup>10</sup>
- JRC Publications Repository.<sup>11</sup>

Os valores recuperados apresentam grande variabilidade, a depender da fonte da informação, quantidade, pureza, local de fabricação do produto. Diante dessas variáveis, neste documento são apresentadas as médias dos dados recuperados, divulgados entre os anos de 2013 e 2018.

#### Levantamento das movimentações financeiras associadas aos álcoois

A movimentação financeira associada aos álcoois foi medida por meio dos valores de importação e exportação deles no Brasil entre os anos de 2012 e 2017. A busca foi feita para os álcoois que possuem Número de Comércio Mundial (NCM), na base de dados “Comex Stat”<sup>12</sup>, em âmbito nacional.

#### Busca, quantificação e análise de informações técnico-científicas associadas aos álcoois na literatura

Utilizaram-se as bases *Web of Science* - WoS (publicações científicas, não patentárias) e *Derwent Innovation Index* - DII (documentos de patentes), ambas da *Clarivate Analytics*, para busca, quantificação e análise de informações técnico-científicas dos álcoois mencionados na literatura recuperada.

<sup>2</sup> Disponível em: <http://www.essentialchemicalindustry.org/>.

<sup>3</sup> Disponível em: <http://www.marketsandmarkets.com/>.

<sup>4</sup> Disponível em: <http://www.cefic.org/>.

<sup>5</sup> Disponível em: <http://www.icis.com/>.

<sup>6</sup> Disponível em: <https://marketpublishers.com/> e <https://www.ihs.com/>.

<sup>7</sup> Disponível em: <http://www.biofuelsdigest.com/>.

<sup>8</sup> Disponível em: <http://greenchemicalsblog.com/>.

<sup>9</sup> Disponível em: <http://www.biomassmagazine.com/>.

<sup>10</sup> Disponível em: [www.alibaba.com](http://www.alibaba.com).

<sup>11</sup> Disponível em: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/>.

<sup>12</sup> Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>.

Foram inseridos os nomes comuns dos álcoois no campo de busca “Tópico”. As buscas foram realizadas entre janeiro e outubro de 2018.

#### **Avaliação da evolução das áreas tecnológicas por meio de análise da Classificação Internacional de Patentes**

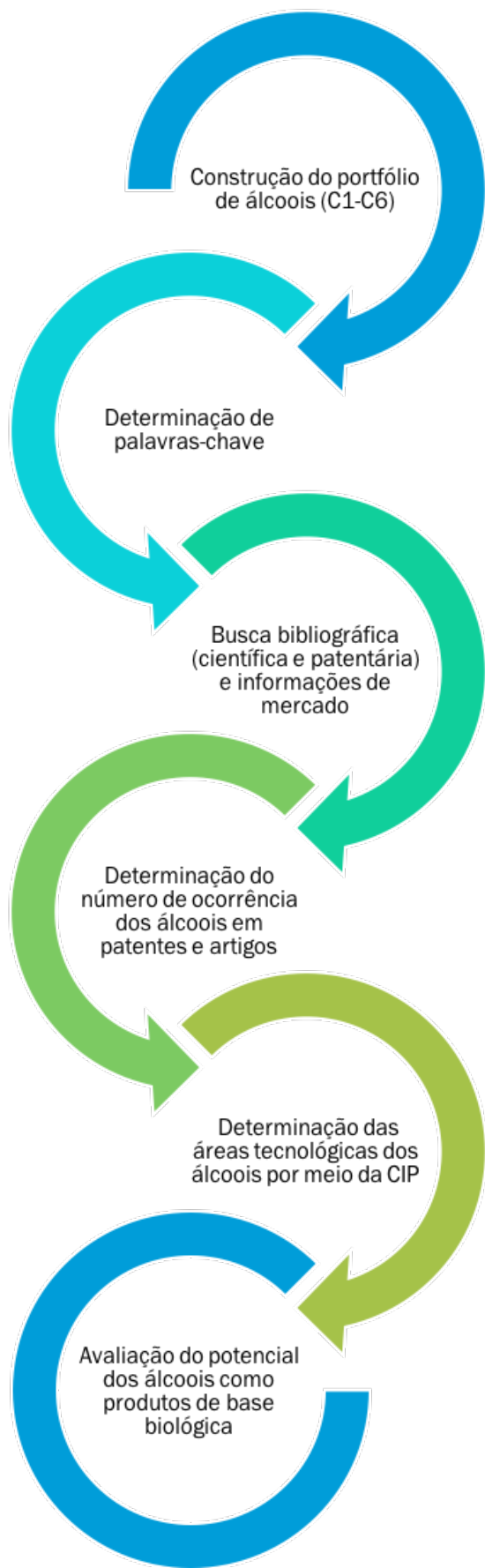
As 30 principais Classificações Internacionais de Patentes (CIP)<sup>13</sup> dos álcoois foram analisadas anualmente, entre 2008 e 2017, para avaliar a evolução das áreas tecnológicas no período de 2008 a 2017, por meio da utilização do software de mineração de dados *Vantage Point*. Essa avaliação é apresentada na forma de diagrama de bolhas mais à frente.

Todas as etapas da metodologia empregadas neste trabalho estão representadas na Figura 1.

---

<sup>13</sup> A CIP é um sistema hierárquico de símbolos independentes de linguagem que classifica patentes e modelos de utilidade de acordo com os diferentes campos técnicos aos quais pertencem. O sistema contém cerca de 70 mil símbolos de classificação ou códigos que podem ser atribuídos a documentos de patentes. Os símbolos são organizados em uma estrutura hierárquica semelhante a uma árvore: os níveis mais altos correspondem a campos técnicos amplos (por exemplo, a Seção C lida com química e metalurgia). Essas seções são subdivididas em classes (por exemplo, Classe C21 lida com a metalurgia do ferro); as classes são divididas em mais de 600 subclasses (por exemplo, a subclasse A21B contém fornos de panificação e máquinas ou equipamentos para panificação). Em termos práticos, à medida que o número de dígitos aumenta à direita, maior é o detalhamento ou especificidade da matéria.





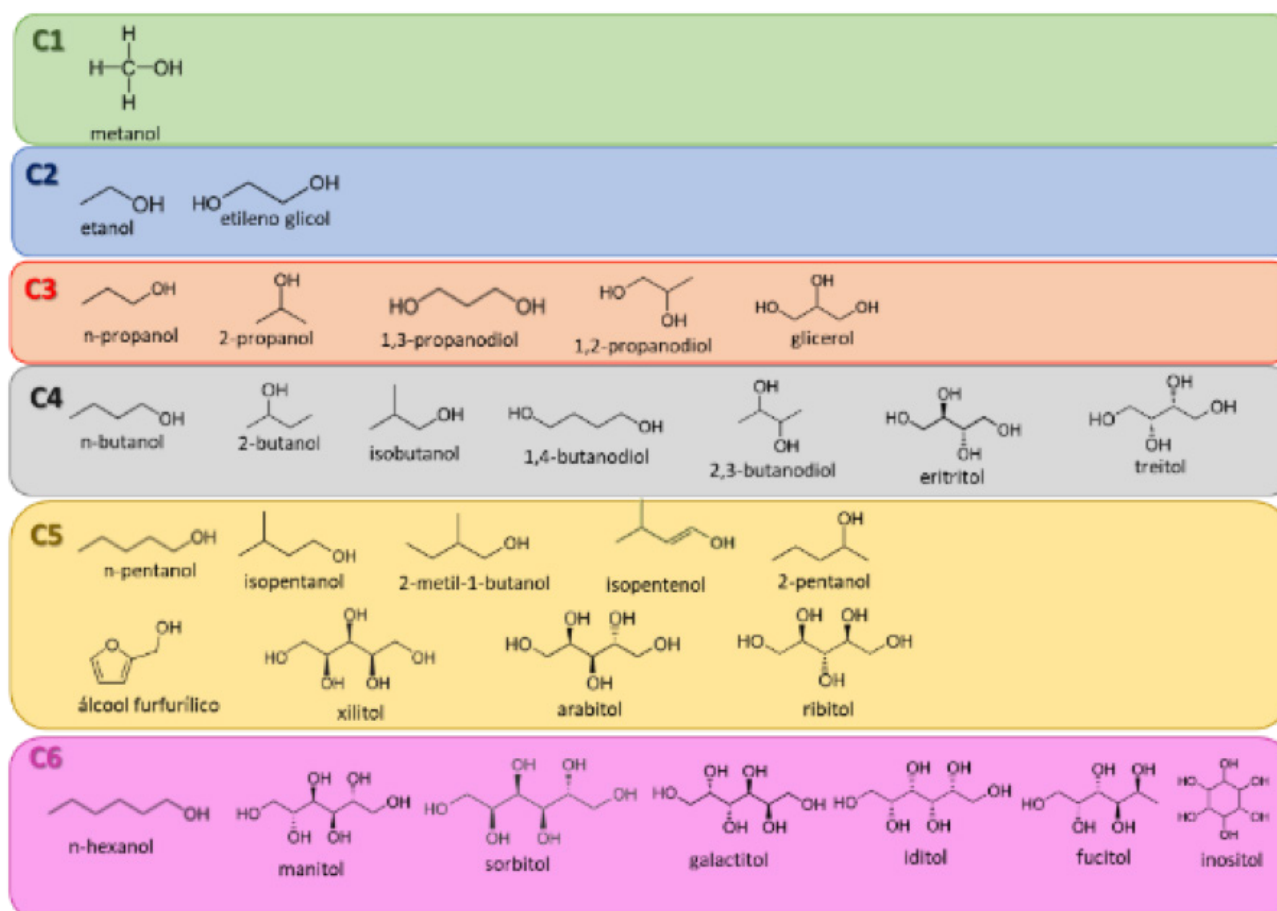
**Figura 1.** Representação das etapas do estudo relacionado aos álcoois de cadeia curta.

## Resultados e discussão

### Os álcoois e rotas associadas

A busca por álcoois passíveis de serem produzidos a partir de xilose ou glicose resultou em 33 álcoois, apresentados na Figura 2. Da mesma forma como destacado para os ácidos carboxílicos (parte 1), não se trata de uma relação exaustiva de álcoois de cadeia carbônica entre 1 e 6 carbonos, porém são os mais recorrentes na literatura recente, que têm potencial de serem produzidos a partir de monossacarídeos de fonte renovável, seja por rota química, bioquímica ou rotas híbridas.

O agrupamento dos álcoois conforme a maturidade dos processos produtivos encontra-se na Tabela 1. Nota-se que, ao contrário dos ácidos, há um número menor no Grupo 3, demonstrando que a maioria dos álcoois identificados já possuem mercados estabelecidos. Se, por um lado, essa é uma vantagem competitiva, pois os novos compostos não precisam demonstrar seu efeito, por outro a obtenção deles a partir de fontes renováveis tem um grande desafio de superar os processos preexistentes, sejam eles com processo renovável estabelecido ou em substituição aos petroquímicos tipo “drop-in”. A seguir, é feita uma breve exposição sobre os destaques identificados nessa busca.



**Figura 2.** Álcoois passíveis de serem produzidos a partir de monossacarídeos, segundo o levantamento realizado neste estudo.

**Tabela 1.** Álcoois de cadeia curta e agrupamento de acordo com o processo de produção e posicionamento de mercado.

<p><b>Grupo 1</b></p> <p>Álcoois de base biológica, rota renovável estabelecida</p>	<p>butanodiol(2,3-), butanol(n-), eritritol, etanol, (álcool) furfurílico, glicerol, isobutanol, manitol, propanodiol(1,3-), sorbitol, xilitol</p>
<p><b>Grupo 2</b></p> <p>Álcoois petroquímicos clássicos – “drop-in”</p>	<p>butanodiol(1,4-), butanol(2-), etilenoglicol, hexanol(n-), isopentanol, metanol, pentanol(n-), pentanol(2-), propanodiol(1,2-), propanol(n-), propanol(2-)</p>
<p><b>Grupo 3</b></p> <p>Álcoois de base biológica, aplicações incipientes ou limitadas</p>	<p>arabitol, isopentenol, fucitol, galactitol, iditol, inositol, metil-1-butanol(2-), ribitol, treitol</p>

O arabitol foi selecionado pelo Departamento de Energia dos EUA como um dos 30 principais produtos químicos de maior potencial e valor agregado (Werpy; Petersen, 2004). Porém, aplicações que justifiquem a produção desse composto em grandes volumes ainda não foram estabelecidas. A aplicação potencial em questão seria a atuação do arabitol como precursor dos ácidos arabinóico e xilônico, do polímero de propileno, do álcool etilenoglicol, do poli-hidroxiálcool xilitol, entre outros.

Trata-se de um produto de base biológica em razão de ser produzido a partir da arabinose, glicose e até mesmo lactose (Kumdam et al., 2014). O processo de produção do arabitol empregado atualmente na indústria é o químico, por meio da utilização do catalisador de Ru/C, porém é um processo considerado oneroso e pouco vantajoso (Kordowska-Wiater, 2015). O processo bioquímico, por outro lado, ainda requer redução de custo para se tornar comercialmente viável.

O 1,4-butanodiol (BDO) é produzido em grandes volumes e, entre os álcoois, é um dos melhores candidatos para ser produzido a partir de carboidratos. Trata-se de um produto petroquímico, relativamente oxigenado e, por esse motivo, demanda várias etapas para ser obtido a partir de hidrocarbonetos. Assim como todos os polióis, a produção a partir de polissacarídeos pode representar um ganho energético. Segundo Straathof e Bampouli (2017), a produção de 1 kg de BDO a partir de glicose corresponde a apenas 40% do custo do similar petroquímico, para um rendimento de cerca de 40%, o que representa uma redução de consumo de energia significativa, considerando o volume de produção desse álcool. Por essa razão, o BDO de base biológica tem recebido investimentos significativos de grandes empresas, como BASF, Purac, Myriant, Bio Amber, DSM, Roquette (plataformas de monossacarídeos) e Genomatica (plataforma de monossacarídeos e biomassas) (Rajagopal, 2014).

Alternativamente, o 1,4-butanodiol pode ser obtido a partir da hidrogenação do ácido succínico, cuja rota bioquímica está em estágio avançado de produção (Kang et al., 2015). A Genômática divulga que, quando seu processo atingir escala comercial, demandará cerca de 60% menos energia e produzirá 70% menos emissões de dióxido de carbono do que o BDO produzido atualmente a partir do gás natural (United States, 1996-2016). Esta rota, entretanto, está ameaçada, conforme discutido na parte 1 deste trabalho, na seção em que o ácido succínico foi abordado.

Embora tenha um mercado menor que o seu isômero estrutural descrito acima, o 2,3-butanodiol é precursor de importantes intermediários da indústria química, como a acetoina e o 1,3-butadieno (Kang et al., 2015). O 2,3-butanodiol possui baixa toxicidade para microrganismos capazes de fermentar sacarídeos até esse álcool, porém os processos em desenvolvimento ainda não estão competitivos frente aos de base petroquímica. As rotas bioquímicas, entretanto, permitem a obtenção com maior grau de pureza dos isômeros óticos resultantes dos dois estereocentros presentes na molécula. Esses são produtos bastante valorizados na indústria farmacêutica (Ji et al., 2011; Zhang et al., 2016).

Tradicionalmente, o 1-butanol é produzido por meio do processo biológico ABE (Acetona-Butanol-Etanol), usando espécies de *Clostridium* sp., as quais fermentam os açúcares da biomassa. O processo possui algumas desvantagens, como o baixo rendimento de 1-butanol e a formação de subprodutos como a acetona e o etanol (Chen; Liao, 2016). Por outro lado, o 1-butanol pode ser produzido diretamente a partir do etanol por meio da condensação aldol com catalisadores de óxidos metálicos/hidroxiapatita, o que configura a rota como química. A rota de conversão química é, portanto, preferível, pois a reação ocorre mais rapidamente, em comparação com a rota fermentativa ABE, e menos etapas são necessárias para se obter o produto final (Ndaba et al., 2015).

Um dos principais aspectos do 1-butanol é seu potencial como substituinte da gasolina. Entre as características que o favorecem em relação aos álcoois de cadeia carbônica menores, como o etanol, estão (Trindade; Santos, 2017):

- **Maior poder calorífico.** Geralmente, o poder calorífico dos álcoois diminui quanto menor o número de carbonos na cadeia. O 1-butanol é um álcool de quatro carbonos, o dobro em relação ao etanol, e contém 50% a mais de densidade de energia em volume. Por conseguinte, espera-se que um motor com 1-butanol apresente menor consumo de combustível e maior alcance de quilometragem quando comparado ao uso de etanol.
- **Baixa volatilidade.** A volatilidade é inversamente proporcional ao tamanho da cadeia de carbono, o que, neste caso, resulta na menor tendência à vaporização do 1-butanol. Além de sua baixa volatilidade, o composto possui maior ponto de fulgor em relação ao etanol. Essas duas características indicam que o 1-butanol é potencialmente mais seguro quando se considera seu transporte e seu uso em altas temperaturas.
- **Menos problemas de ignição.** Espera-se que motores que funcionam com 1-butanol tenham menos problemas de arranque a frio do que o mesmo motor funcionando com etanol, considerando a relação de ar para combustível. Isso acontece porque o calor de vaporização do 1-butanol é menor que a metade do calor do etanol.
- **Intersolubilidade.** O 1-butanol e os álcoois com maior teor de carbono são menos polares devido às suas longas cadeias de hidrocarbonetos não polares, sendo assim mais fáceis de serem misturados com hidrocarbonetos não polares e tendo menor afinidade pela água.
- **Maior viscosidade e lubrificidade.** A viscosidade dos álcoois aumenta à medida que o número de carbonos na molécula cresce. O 1-butanol pode potencialmente proteger alguns componentes de motores que têm contato direto com combustível (como bombas de combustível, trilhos de combustível, injetores), atuando contra problemas de desgaste.

No entanto, ainda existem alguns problemas potenciais com o uso direto de 1-butanol no motor (Trindade; Santos, 2017), como:

- **Limitações para atingir o melhor desempenho do motor.** Comparativamente à gasolina, o poder calorífico ainda é inferior.
- **Maior consumo de combustível.** Isso acontece em decorrência do menor poder calorífico em relação à gasolina.
- **Menor índice de octanagem.** Enquanto o 1-butanol tem maior densidade de energia que o etanol, o primeiro possui menor índice de octanagem, sendo aconselhável utilizá-lo em motores com menores taxas de compressão e, conseqüentemente, de menor eficiência.
- **Menor índice de cetano.** O 1-butanol tem menor índice de cetano do que os combustíveis diesel e biodiesel, o que reduz a autoignição e aumenta o potencial de prejudicar o controle da combustão.

O 2-butanol está em condição semelhante ao 1-butanol por sua semelhança estrutural. Em particular, possui características de combustível superiores entre os isômeros de butanol, pois possui o maior número de octanas de pesquisa e número de octanas do motor entre os isômeros<sup>14</sup> (110 e 93, respectivamente), enquanto os demais possuem valores de aquecimento bastante semelhantes (1-butanol: 27; 2-butanol: 26,8; iso-butanol: 26,6 MJ/L). No entanto, a produção do 2-butanol de base biológica tem sido pouco explorada sob o ponto de vista científico em razão da perspectiva de uso e aplicações bastantes limitadas, sendo a maior parte convertida em metil-etil-cetona, uma commodity da indústria petroquímica. (Ghiaci et al., 2014; Pereira et al., 2017).

A produção renovável do isobutanol tem em vista a ampliação desse álcool no mercado como combustível. Parte disso se deve ao seu poder calorífico, que chega a 98% do da gasolina, e sua baixa pressão de vapor comparado ao etanol. Somado a isso, o isobutanol pode ser misturado à gasolina sem arraste de oxigênio dissolvido (Miao et al., 2017). Enquanto esse produto não é utilizado como biocombustível, esse álcool encontra mercado na produção de poliésteres e de borracha sintética.

O processo produtivo de base biológica do isobutanol tende a ser via cetoácidos, especificamente via ácido alfa-cetoaléico por biologia sintética, ao contrário dos demais álcoois lineares (Felpeto-Santero et al., 2015; Tashiro et al., 2015). O ácido precursor é descarboxilado pela enzima alfa-cetoaléico descarboxilase, etapa que dá origem ao isobutanol. Para que esta etapa aconteça, é necessário realizar a engenharia metabólica de certas vias, de modo a suprimir ou silenciar rotas metabólicas que competem pelos precursores essenciais do isobutanol (Felpeto-Santero et al., 2015). Dessa forma, a viabilidade do processo depende essencialmente da modificação genética de microrganismos.

Rotas renováveis de produção de isobutanol estão sendo lideradas pelas empresas Gevo e Butamax, em plantas industriais adaptadas, pois originalmente eram empregadas para a produção do etanol. Essas plantas têm capacidade de produção nominal de 170.000 T/ano até 2020 (Taylor et al., 2015). A Butamax é uma *joint venture* entre duas gigantes, a BP e a DuPont. Já a Gevo é uma startup com sede no Colorado, EUA, que abriu seu capital em uma oferta inicial em 2020.

Em termos de biocombustíveis de base biológica, o etanol continua sendo o exemplo mais bem-sucedido, destacadamente no Brasil, onde possui rota de base biológica estabelecida a partir de caldo de cana, sendo o produto da rota também chamado de etanol de primeira geração. Apesar disso, já existem processos avançados em algumas regiões no Brasil e no exterior para a produção de etanol de segunda geração (2G). Um dos coprodutos mais abundantes no Brasil é o bagaço

<sup>14</sup> Método MON (Motor Octane Number) ou método Motor - ASTM D2700 - avalia a resistência da gasolina à detonação, na situação em que o motor está em plena carga e em alta rotação.  
Método RON (Research Octane Number) ou método Pesquisa - ASTM D2699 - avalia a resistência da gasolina à detonação, na situação em que o motor está carregado e em baixa rotação (até 3000 rpm).

de cana, que poderia ser utilizado como matéria-prima nos processos de 2G. Nacionalmente, há necessidade de superação das questões de pré-tratamento, custo com as enzimas e também de logística, para que os produtos de segunda geração sejam amplamente adotados pelo mercado, como, por exemplo, os produzidos a partir do bagaço de cana.

O eteno de etanol advém de uma tecnologia consolidada, que já foi empregada no passado, antes da consolidação da indústria petroquímica no País, e que tem sido retomada em empreendimentos recentes. O processo compreende a conversão do etanol a eteno e, posteriormente, a etilenoglicol, cuja aplicação principal é como monômero do polietilenotereftalato (PET).

Por ser o eteno um produto de transporte complexo, geralmente é transformado logo após sua produção. Nesse caso, a usina que produz eteno deve adicionar à planta industrial unidades de produção de polietileno, policloreto de vinila, etilenoglicol ou de outro derivado do eteno, para convertê-lo imediatamente após sua obtenção. Outra alternativa, que foi adotada pela empresa Braskem, por exemplo, é transportar o etanol até uma petroquímica, onde o eteno será gerado e transformado em produtos de maior valor agregado (Oliveira, 2010).

A combinação de etilenoglicol e ácido tereftálico, produzido de p-xileno de base biológica, permite a produção de embalagens 100% renováveis, recicláveis, porém não biodegradáveis. Como exemplo do emprego desses dois monômeros combinados, a Coca-Cola lançou em 2010 a “plant bottle”, guiada pelo princípio da matéria-prima renovável, sendo ambos compostos obtidos a partir de fontes renováveis (Nurmi et al., 2018). Destacam-se também a atuação das empresas Global Biochem, Greencol Taiwan Corporation, India Glycols, e Novepha (Taylor et al., 2015).

Cerca de 60% da produção mundial de furfural é usada para obter **álcool** furfurílico, que é um monômero importante na indústria de polímeros para fabricar poliálcool furfurílico, uma resina resistente a produtos químicos. O furfural também pode ser usado para a obtenção do ácido levulínico (Perez; Fraga, 2014). A rota de base biológica para obtenção do álcool furfurílico é a química, que emprega catalisadores metálicos a partir da hidrogenação do furfural, obtido da conversão da xilose (Mandalika et al., 2014). Entre as empresas que estão liderando as pesquisas associadas a esse álcool, estão a TransFuran Chemicals e a Zibo Shuangyu Chemical (Taylor et al., 2015).

O glicerol tem se tornado atraente no segmento de biorrefinaria, visto que é um subproduto abundante e inevitável do processo de produção de biodiesel. Na produção de biodiesel, cerca de 10% de glicerol em massa é obtido como coproduto da reação, também chamado de glicerol bruto ou glicerina. Dessa forma, embora o glicerol bruto seja um produto de base biológica, tende a ser classificado principalmente como matéria-prima, pois sua abundância como coproduto do biodiesel e, por isso, seu baixo custo e seu alto grau de redução ofuscam sua produção via glicose.

A grande quantidade de oferta de glicerol poderia configurar um problema ambiental, visto que esse composto não pode ser descartado no meio ambiente (Quispe et al., 2013), o que também faz com que seu preço decaia no mercado (Nomanbhay et al., 2018). O desenvolvimento de rotas renováveis para utilização do glicerol bruto contribuiria para mitigar o passivo ambiental que esse material pode representar, sendo utilizado, por exemplo, como matéria-prima para dar origem a produtos de alto valor agregado (biorrefinaria do glicerol), aumentando a viabilidade econômica dos biocombustíveis, por meio da agregação de valor a esse coproduto.

O glicerol tem potencial como precursor do 1,2-propanodiol. A empresa Archer Daniels Midland - ADM divulgou que esse processo se encontra em escala industrial (Pandey et al., 2015). Para tanto, a Archer utiliza uma tecnologia proprietária que envolve a hidrogenólise da glicerina, gerando diol e água. Além dessa empresa, a Senergy Chemical, a Dow, e a Huntsman também foram

empresas pioneiras nessa rota (Pagliaro et al., 2009). O processo produtivo delas compreende a hidrogenação do glicerol ao empregar catalisadores metálicos. A seletividade do processo de hidrogenação, que originalmente representava um problema em razão da produção de diferentes glicóis, parece ter sido superado por meio de catalisadores como CuO/ZnO (Shah et al., 2015), apesar do caráter tóxico do cobre. Sob o aspecto de bioprocessos, cepas de *Clostridium*, *E. coli*, *Salmonella*, *Saccharomyces* e *Corynebacterium* foram descritas na literatura como microrganismos passíveis de serem produtores desse diol (Saxena et al., 2010; Becker; Wittmann, 2012; Straathof, 2014).

O 1,3-propanodiol (1,3-PDO) é amplamente empregado como monômero precursor na obtenção de poliéster, quando combinado com o ácido tereftálico, por exemplo. Tradicionalmente, o 1,3-propanodiol tem sido produzido por rotas químicas a partir do petróleo, especificamente a partir de acroleína ou óxido de etileno. No entanto, recentemente, foi desenvolvida uma rota biológica de produção do 1,3-propanodiol pela fermentação de glicose e glicerol por microrganismos selvagens, ou seja, não modificados geneticamente.

O substrato mais promissor para a produção microbiana de 1,3-propanodiol é o glicerol. O glicerol é desidratado a 3-hidroxiopropionaldeído (3-HPA) pela enzima glicerol desidratase ou por catalisadores metálicos seletivos. Segundo a OECD, 50% de todo o custo da produção microbiana de 1,3-PDO advém do preço das matérias-primas precursoras e, portanto, o glicerol bruto (glicerina), subproduto dos processos de produção de biodiesel, pode ser uma fonte de carbono renovável menos onerosa para este fim (Philp, 2014).

A DuPont e a Tate & Lyle produzem 1,3-propanodiol 100% de base biológica, por rota fermentativa, por meio de uma *joint venture* de 50/50 formada em 2004 (Philp, 2014). Até o momento há indícios de que o negócio progride com a comercialização dos produtos Susterra® e Zemea®. O Susterra® PDO é voltado para aplicação industrial, enquanto o Zemea® é voltado para o setor de cuidados pessoais (Jong et al., 2020). Assim como o isobutanol mencionado anteriormente, o isopropanol de base renovável tende a ser produzido por processo bioquímico, via cetoácidos (Choi et al., 2014). Naturalmente, as espécies do gênero *Clostridium* sp. produzem o isopropanol, também chamado de álcool isopropílico. Porém, como esses microrganismos são anaeróbios Gram-positivos e apresentam taxa de crescimento e ciclos de formação de esporos relativamente lentos, torna-se inviável seu emprego na fermentação industrial.

Para superar esse obstáculo, esse e outros álcoois têm sido produzidos por microrganismos geneticamente modificados, como *Escherichia coli* e *Saccharomyces cerevisiae* (Du et al., 2011). O principal desafio do processo fermentativo é desenvolver uma cepa resistente ao álcool produzido, visto que o aumento desse produto no meio de cultura causa um efeito tóxico e ou inibitório ao microrganismo, reduzindo drasticamente a produção do álcool de interesse (Höfer, 2015).

Segundo os estudos publicados pela IEA Bioenergy, o isopropanol encontra-se no *pipeline* das empresas Genomatica e Mitsui Chemicals desde 2012 (Jong et al., 2012, 2020). Comparado ao isobutanol, 1-butanol e o etanol, trata-se do álcool cuja rota de base biológica por fermentação está mais defasada em relação aos demais com as mesmas características (Vasara, 2016).

Os hexanóis, como, por exemplo, 1-hexanol, 2-hexanol, são solventes orgânicos e químicos muito importantes na indústria farmacêutica e na indústria de perfumes, porém a capacidade produtiva atual desses compostos é um limitante para sua utilização como combustíveis. Embora sua octanagem não seja tão alta quanto as do etanol e do butanol, sua moderada pressão de vapor e baixa solubilidade em água são muito atraentes como componentes da gasolina (Tamura et al., 2015).

Sob a perspectiva de renováveis, a produção de hexanóis a partir de C6 é favorecida por conter o mesmo tamanho de cadeia carbônica que a principal matéria-prima de origem: a glicose. Entretanto, partindo da celulose, é necessário passar por processos de hidrólise e de hidrogenação, geralmente com catalisadores de metal nobre seletivos até manter a hidroxila na posição desejada.

O isopentanol, também conhecido como álcool isoamílico, é obtido pela fermentação de amido e é o principal álcool de cadeia superior empregado, em graus variados, em bebidas alcoólicas como a sidra, o hidromel, a cerveja e o vinho. Ademais, o isopentanol é um precursor importante para a síntese de isopreno, composto usado na síntese de borracha sintética (Pubchem, 2018).

O metanol pode ser obtido por meio da conversão da biomassa lignocelulósica residual em bio-óleo por pirólise rápida, seguido da gaseificação do óleo para se obter gás de síntese – “syngas”. O gás de síntese é então submetido ao processo de Fischer-Tropsch para dar origem a produtos como o metanol, entre outros (Stöcker, 2008).

No sentido de agregação de valor a resíduos agroindustriais, a Enerkem, empresa localizada em Alberta, Canadá, emprega resíduo sólido municipal não reciclável para produção de gás de síntese puro, que é então convertido em metanol. Não são conhecidos os dados de produção, porém a capacidade da planta industrial é de 10 milhões de galões de metanol por ano (Hossain et al., 2017).

Por fim, os demais álcoois recuperados nessa busca podem ser agrupados em álcoois de açúcar (polióis), os quais encontram aplicações em produtos farmacêuticos, de higiene oral e de cuidados pessoais, e também atuam como intermediários em reações de síntese química (Ribeiro et al., 2017b). Embora a produção desses compostos em escala industrial geralmente envolva a hidrogenação catalítica de açúcares (Cavani et al., 2016), os processos microbianos vêm recebendo maior atenção (Kordowska-Wiater, 2015). Nos últimos anos, nota-se uma série de interessantes esforços de engenharia metabólica para otimizar a capacidade das bactérias e leveduras para produzir xilitol, eritritol e sorbitol com coeficientes técnicos (concentração, produtividade e rendimentos) bastantes satisfatórios (Mohamad et al., 2015; Marques et al., 2016; Park et al., 2016; Rzechonek et al., 2018).

A Tabela 2 apresenta alguns dos coeficientes técnicos recuperados na literatura sobre os álcoois discutidos acima, e a Tabela 3, por sua vez, apresenta os dados comerciais associados a esses álcoois.



**Tabela 2.** Coeficientes técnicos dos processos de obtenção dos álcoois, objetos deste estudo.

Álcool	Matéria-prima (concentração, em g.L <sup>-1</sup> )	Processo	Concentração (g.L <sup>-1</sup> )	Produtividade (g.L <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	Rendimento (g.g <sup>-1</sup> )	Fonte		
	Arabinose ou xilose	Químico Por catalisador Ru/C	-	-	~1	(Kumdam et al., 2014)		
	Glicose (200)	Bioquímico Por fermentação, <i>Metschnikowia reukaufii</i>	81,4	-	0,41			
	Glicose (175)	Bioquímico Por fermentação, <i>Zygosaccharomyces rouxii</i> NRRL 27264	83,4	-	0,48			
	Glicose (200)	Bioquímico Por fermentação, <i>Kodamae ohmeri</i> NH-9	81,2	-	0,41			
	Glicose (<30)	Bioquímico Por fermentação, <i>Hansenula polymorpha Pichia</i>	18,8	-	0,14			
	L-arabinose (50)	Bioquímico Por fermentação, <i>Pichia guilliermondii</i>	33,4	-	0,54			
	L-arabinose (50)	Bioquímico Por fermentação, <i>Candida entomeae</i>	34,7	-	0,77			
	Lactose (188)	Bioquímico Por fermentação, <i>Kluyveromyces lactis</i>	14	-	0,25			
	Glicose (100)	Bioquímico Por fermentação, <i>Endomycopsis chodati</i>	35-40% do açúcar utilizado	-	0,34			
	Glicose (150)	Bioquímico	14	-	0,1			
	Glicose (100)	Por fermentação, <i>Debaryomyces nepalensis</i> NCYC 3413	11,5	-	0,15			
	Arabinose (100)		24,6	-	0,32			
	Arabitol		Bioquímico Por fermentação, <i>Candida tropicalis</i> NRRL Y-11860	-	-		1,02	(Kordowska-Wiater, 2015)
			Bioquímico Por fermentação, <i>Pichia stipitis</i> NRRL Y-7124	-	-		0,57	
		Bioquímico Por fermentação, <i>Candida entomaea</i> NRRL Y-7785	-	-	0,66			
		Bioquímico Por fermentação, <i>Pichia guilliermondii</i> NRRL Y-2075	-	-	0,63			
		Bioquímico Por fermentação, <i>Candida aurangiensis</i> NRRL Y-11848	-	-	0,73			
		Bioquímico Por fermentação, <i>Candida succiphila</i> NRRL Y-11998	-	-	0,81			
L-arabinose		Bioquímico Por fermentação, <i>Debaryomyces hansenii</i>	-	-	0,10			
		Bioquímico Por fermentação, <i>Pichia guilliermondii</i> PYCC 3012	-	-	0,47			
		Bioquímico Por fermentação, <i>Pichia guilliermondii</i> DSM 70052	-	-	0,43			
		Bioquímico Por fermentação, <i>Candida parapsilosis</i> DSM 70125	-	-	0,78			
		Bioquímico Por fermentação, <i>Candida shehatae</i> ATCC 22984	-	-	0,50			
		Bioquímico Por fermentação, <i>Candida</i> sp. NY7122	-	-	0,53			
		Bioquímico Por fermentação, <i>Rhodotorula mucilaginosa</i> PT3	-	-	0,20			
		Bioquímico Por fermentação, <i>Debaryomyces nepalensis</i> NCYC 3413	-	-	0,26			

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Álcool	Matéria-prima (concentração, em g.L <sup>-1</sup> )	Processo	Concentração (g.L <sup>-1</sup> )	Produtividade (g.L <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	Rendimento (g.g <sup>-1</sup> )	Fonte
1,4-butanodiol	Acetileno/formaldeído	Químico Por catalisador metálico, Pd	-	-	>0,90	(Weissermel; Arpe, 2003)
	Açúcar/carboidrato	Bioquímico Por fermentação, <i>Escherichia coli</i>	18			(Burgard et al., 2016)
	Açúcar/carboidrato	Bioquímico Por fermentação, <i>Escherichia coli</i>	29	0,60	0,253	
	D-xilose and L-arabinose	Bioquímico Por fermentação, <i>Escherichia coli</i>	16,5			
Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>Escherichia coli</i>	99	2,1	0,351		
2,3-butanodiol	Rafinado	Químico Por tratamento com cloro	-	-	0,85	(Schulze; Homann, 1989)
	Glicose (120 g/L)	Bioquímico Por fermentação, <i>Paenibacillus polymyxa</i> DSM 365	68,5	0,34	0,70	(Okonkwo et al., 2017)
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>Klebsiella pneumoniae</i>	150	4,21	-	(Shrivastav et al., 2013)
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>Klebsiella oxytoca</i>	130	1,64	-	
	Sacarose	FBioquímico Por fermentação, <i>Serratia marcesens</i>	139,9	2,67	-	
	Glicose, Xilose	Bioquímico Por fermentação, <i>Klebsiella pneumoniae</i> e <i>Bacillus polymyxa</i>	-	-	-	(Kamm et al., 2008)
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>Serratia marcescens</i>	52	-	-	(Polen et al., 2013)
1-butanol	Hidrocarbonilação	Químico	-	-	0,85	(Weissermel; Arpe, 2003)
	Glicose (20)	Bioquímico Por fermentação, <i>Escherichia coli</i>	0,113	-	-	(Atsumi et al., 2008)
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>Clostridium acetobutylicum</i> CICC 8012	-	0,13	-	(Ndaba et al., 2015)
	Vários açúcares	Bioquímico Por fermentação, <i>Clostridium butylicum</i>	-	-	-	(Kamm et al., 2008)
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>Clostridium acetobutylicum</i>	18,9	-	-	(Choi et al., 2014)
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>Clostridium acetobutylicum</i>	130	-	-	
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>Clostridium acetobutylicum</i>	14,9	-	-	
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>Clostridium tyrobutyricum</i>	10	-	-	
	Manitol	Bioquímico Por fermentação, <i>Clostridium tyrobutyricum</i>	16	-	-	
	Manitol	Bioquímico Por fermentação, <i>Clostridium tyrobutyricum</i>	20,5	-	-	
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>Escherichia coli</i>	3,4	-	-	
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>E. coli</i>	4,7	-	-	

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Álcool	Matéria-prima (concentração, em g.L <sup>-1</sup> )	Processo	Concentração (g.L <sup>-1</sup> )	Produtividade (g.L <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	Rendimento (g.g <sup>-1</sup> )	Fonte
2-butanol	2-butanona	Químico Por redução	-	-	-	(Neier; Strehlke, 2005)
	Glicose (20)	Bioquímico Por fermentação, <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,460	-	-	(Ghiaci et al., 2014)
	meso-2,3-butanodiol	Bioquímico Por fermentação, <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,004	-	-	(Wagemann; Tippkötter, 2018)
Eritritol	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>Aureobasidium sp.</i> Mutant SN-124A	170	1,82	0,38	(Rzechonek et al., 2018)
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>Torula sp</i>	192	2,26	0,48	
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>Moniliella tomentosa var. Pollinis</i>	170	1,61	0,40	
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>Moniliella megachiliensis sp.</i> 440 mutants	152,4	0,65	0,43	
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>Candida magnoliae</i>	187	2,8	0,41	
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>Candida magnoliae</i>	200	1,2	0,43	
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>Pseudozyma tsukubaensis</i>	243	1,65	0,61	
	Glicose	-	241	2,84	0,60	
	Xilose	Bioquímico Por fermentação, <i>Aureobasidium pulluans</i> GCMCC3.0837	31,75	0,22	0,26	
	Carboidratos ou alcanos	Bioquímico Por fermentação, <i>Moniliella pollinis</i>	-	-	0,50	
Etanol	Caldo de cana e amido de milho	Bioquímico Por fermentação, <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	40	-	0,73-0,84	(Macedo; Brigham, 2014)
	Palha de milho	Bioquímico Por fermentação, <i>S. cerevisiae</i> 424A(LNH-ST)	40	-	0,22	Continua... (Lau et al., 2010)
	Palha de milho	Bioquímico Por fermentação, <i>E. coli</i> K011	31	-	0,17	
	Palha de milho	Bioquímico Por fermentação, <i>Z. mobilis</i> AX101	32	-	0,18	
	Bagaço de sorgo	Bioquímico Por fermentação, <i>S. cerevisiae</i> 424A(LNH-ST)	42	-	0,15	(Li et al., 2010)
	lodo de papel	FBioquímico Por fermentação, <i>S. cerevisiae</i> RWB222	45	-	0,26	(Zhang; Lynd, 2010)
	lodo de papel	Bioquímico Por fermentação, <i>Zymomonas mobilis 8b</i>	46	-	0,27	
Etilenoglicol	Óxido de etileno	Químico Por hidratação	-	-	0,95-0,96	(Weissermel; Arpe, 2003)
	Xilose (20)	Bioquímico Por fermentação, <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,014	-	-	(Salusjärvi et al., 2017)
	Xilose (20)	Bioquímico Por fermentação, <i>Escherichia coli</i> strain	11,7	-	-	
Fucitol	Fucose	Químico Por catalisador, Ra/Ni	-	-	0,96	(Yoshihara et al., 2008)

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Álcool	Matéria-prima (concentração, em g.L <sup>-1</sup> )	Processo	Concentração (g.L <sup>-1</sup> )	Produtividade (g.L <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	Rendimento (g.g <sup>-1</sup> )	Fonte
Furfurílico	Furfural	Químico Por catalisadores de cobre	-	-	~0,92	(Mandalika et al., 2014)
	Furfural	Químico Por catalisadores, tipo RANEY® nickel	-	-	0,98	
		Químico Por catalisador, Cu-MgO	-	-	0,98	
		Bioquímico Por fermentação, <i>Saccharomyces cerevisiae</i> 354	35%	-	0,70-0,96	
		Bioquímico Por fermentação, <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	25-65	-	0,38-0,94	
Galactitol	Galactose	Bioquímico Por enzima aldose redutase	-	-	-	(Kubicek, 2013)
Glicerol	Epicloridrina	Químico Por hidrólise catalisada por hidróxido de sódio	-	-	0,98	(Weissermel; Arpe, 2003)
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>Escherichia coli</i>	-	-	-	(Kamm et al., 2008)
	Gorduras ou óleos (coprodutos)	Químico Por hidrólise	-	-	0,70-0,90	(Christoph et al., 2000)
1-hexanol	Etanol	Químico Por conversão catalítica	-	-	0,05	(Ghaziaskar; Xu, 2013)
	Etileno	Químico Ziegler Por processo extrativo (óleo de coco ou palma)	-	-	-	(Falbe et al., 2005)
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>Escherichia coli</i>	0,047	-	0,05	(Choi et al., 2014)
Iditol	150 g/l de sorbose com 0,5 M de metanol	Bioquímico Por fermentação, <i>Candida boidinii</i> (Kloeckera sp.) No. 2201	142-148	-	-	(Vongsuvanlert; Tani, 1988)
Inositol	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>Escherichia coli</i> expressando gene IN01 de <i>S. cerevisiae</i>	-	-	0,11	(Fujisawa et al., 2017)
	Amido	Bioquímico Por fermentação, <i>Escherichia coli</i> DH5 e BL21-Codon Plus (DE3-R1L)	-	-	0,90	

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Álcool	Matéria-prima (concentração, em g.L <sup>-1</sup> )	Processo	Concentração (g.L <sup>-1</sup> )	Produtividade (g.L <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	Rendimento (g.g <sup>-1</sup> )	Fonte
Isobutanol	Glicose (36)	Bioquímico Por fermentação, <i>Escherichia coli</i> ADHs	20	-	-	(Atsumi et al., 2010)
	Piruvato	Bioquímico Por fermentação, <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,63	-	-	(Liu et al., 2013)
	Propileno	Químico Por hidroformilação	-	-	-	(Hahn et al., 2012)
	Monóxido de carbono (CO)	Químico Por hidrogenação catalítica	-	-	-	
	Óleo fusel	Extração	-	-	0,74	(Choi et al., 2014)
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>E. coli</i>	22	-	0,25	
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>E. coli</i>	50,9	0,7	0,29	
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>B. subtilis</i>	2,62	-	-	
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>B. subtilis</i>	3,83	-	-	
	Celulose	Bioquímico Por fermentação, <i>C. cellulolyticum</i>	0,660	-	-	
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>C. glutamicum</i>	4,9	-	0,09	
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>C. glutamicum</i>	13	0,32	0,20	
	Frutose	Bioquímico Por fermentação, <i>R. eutropha</i>	0,270	-	-	
	CO <sub>2</sub>	Bioquímico Por fermentação, <i>R. eutropha</i>	0,090	-	-	
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>S. cerevisiae</i>	0,00412	-	-	
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>S. cerevisiae</i>	1,62	-	0,016	
Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>S. cerevisiae</i>	0,635	-	0,064		
Isopentanol	Ácido hidrolisado de lentilha	Bioquímico Por fermentação, <i>E. coli</i>	0,247	-	-	(Su et al., 2014)
		Bioquímico Por fermentação, <i>C. acetobutylicum</i> CICC 8012	0,680	-	-	
	Fusel óleo	Extração	-	-	-	(O'Neil et al., 2006)
	Pentanos	Cloração	-	-	-	
Isopropanol	Glicose (20)	Bioquímico Por fermentação, <i>E. coli</i>	81,6 mM	0,41	0,435	(Hanai et al., 2007)
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>E. coli</i> TA11 containing pTA39	148,3 mM	0,70	-	
	Fotossíntese	Bioquímico Por fermentação, <i>Synechococcus elongatus</i> PCC 7942	0,0331	-	-	(Hirokawa et al., 2017)
	Propileno	Químico Por catálise ácida (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	-	-	-	(Gomes, 2016)
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>E. coli</i>	5	-	0,15	(Choi et al., 2014)
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>E. coli</i>	143	-	0,23	
	Celobiose	Bioquímico Por fermentação, <i>E. coli</i>	4,1	-	0,08	
Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>E. coli</i>	13,6	-	0,17		

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Álcool	Matéria-prima (concentração, em g.L <sup>-1</sup> )	Processo	Concentração (g.L <sup>-1</sup> )	Produtividade (g.L <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	Rendimento (g.g <sup>-1</sup> )	Fonte
Manitol	Glicose (150)	Bioquímico Por fermentação, <i>Lactobacillus intermedius</i> B-3693	161	4	-	(Saha; Racine, 2010)
	Frutose (10)	Bioquímico Por fermentação, <i>Fructobacillus tropaeoli</i> CRL 2034	85,03	-	0,82	(Ruiz Rodríguez et al., 2017)
	Sacarose/glicose	Químico Por hidrogenação com catalisador de Raney-Ni	-	-	0,31	(Schiweck et al., 2005)
2-metil-1-butanol	CO <sub>2</sub>	Bioquímico Por fermentação, <i>E. coli</i>	1,25	-	0,17	(Choi et al., 2014)
		Bioquímico Por fermentação, <i>A. elongatus</i>	0,177	-	-	
n-pentanol	Buteno	Químico Por hidroformilação	-	-	-	(Lappe; Hofmann, 2005)
		Bioquímico Por fermentação, <i>E. coli</i>	0,196	-	-	(Su et al., 2014)
2-pentanol	Buteno	Químico Por hidroformilação	-	-	-	(Lappe; Hofmann, 2005)
1,2-propanodiol	Óxido de propileno	Químico Por hidrólise	-	-	-	(Sullivan, 2005)
	Glicose (40–100 g)	Bioquímico Por fermentação, <i>Clostridium thermosaccharolyticum</i>	9	-	-	(Zhang; Yang, 2009)
1,3-propanodiol	Acroleína	Químico Por hidrólise e hidrogenação	-	-	0,45	(Sullivan, 2005)
	Glicerol (40)	Bioquímico Por fermentação, <i>K. pneumoniae</i> DSM 2026	59,50	1,57	0,52 mol/mol	(Chen et al., 2003)
	Glicerol (30g)	Bioquímico Por fermentação, <i>K. pneumoniae</i> LDH 526	102,1	2,13	0,52 mol/mol	(Xu et al., 2009)
	Glicerol (95% (wt/wt))	Bioquímico Por fermentação, <i>C. butyricum</i> F2b	47,1	1,05	0,53	(Papanikolaou et al., 2008)
	Glicerol (30)	Bioquímico Por fermentação, <i>E. coli</i> K12	104,4	2,61	0,90	(Tang et al., 2009)
	Glicerol (20g)	Bioquímico Por fermentação, <i>K. pneumoniae</i>	75	2,2	61 mol/mol	(Liu et al., 2007)
	Glicose, glicerol	Bioquímico Por fermentação, <i>Clostridium pasteurianum</i>	-	-	-	(Kamm et al., 2008)
1-propanol	Etileno	Químico Por hidroformilação até propanal e hidrogenação até propanol	-	-	>0,99	(Papa, 2005)
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>Clostridium fallax</i>	-	-	-	(Kamm et al., 2008)
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>E. coli</i>	10,8	-	-	(Sánchez-Riera et al., 1987)
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>E. coli</i>	2,78	-	-	(Choi et al., 2014)
	Glicose	Bioquímico Por fermentação, <i>E. coli</i>	1,5	-	-	
	Glicerol	Bioquímico Por fermentação, <i>E. coli</i>	10,3	-	-	
Ribitol	Glicose (200)	Bioquímico Por fermentação, <i>Trichosporonoides oedocephalis</i> ATCC 16958	38,60	0,322	0,193	(Li et al., 2012)

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Álcool	Matéria-prima (concentração, em g.L <sup>-1</sup> )	Processo	Concentração (g.L <sup>-1</sup> )	Produtividade (g.L <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	Rendimento (g.g <sup>-1</sup> )	Fonte	
Sorbitol	Glicose (500) (amido)	Químico Por catalisador, Ni ou Raney-Ni	700	-	-	(Schiweck et al., 2005)	
	Resíduo celulósico	Químico Por hidrogenação catalítica (Ni <sub>4,63</sub> Cu <sub>1</sub> AR <sub>1,82</sub> Fe <sub>0,79</sub> ) a 20%	-	-	0,68	(Marques et al., 2016)	
	Serragem de madeira	Bioquímico Por fermentação, <i>Lactobacillus platarum</i> sp. (BAA-793)	13,607	-	-	(Ahmad; Munaim, 2018)	
	Celulose Algodão	Químico Por catalisador, RU-nanotubo de carbono	-	-	0,50	(Ribeiro et al., 2017a)	
	Glicose (300) Frutose(300)	Bioquímico Por fermentação, <i>Zymomonas mobilis</i> , e por biocatálise: células permeabilizadas com tolueno, imobilizadas em alginato de cálcio (cepa ATCC-31821)	-	-	0,943	(Silveira; Jonas, 2002)	
	Sucrose (200)	Bioquímico Por fermentação, <i>Zymomonas mobilis</i> , e por biocatálise: células permeabilizadas com tolueno, Ca-alginato coimobilizado com invertase (cepa ATCC 31821)	-	-	0,92		
	Glicose (234) Frutose (234)	Bioquímico Por fermentação, <i>Zymomonas mobilis</i> , e por biocatálise: células permeabilizadas por congelamento e descongelamento (cepa ATCC 29191)	-	-	1		
	Glicose (300) Frutose(300)	Bioquímico Por fermentação, <i>Zymomonas mobilis</i> , e por biocatálise: células permeabilizadas com brometo de cetiltrimetil-amônio (CTAB) (cepa ATCC 29191)	-	-	0,99		
	Glicose (100) Frutose(100)	Bioquímico Por fermentação, <i>Zymomonas mobilis</i> , e por biocatálise: células permeabilizadas com CTAB, imobilizado com k-carragenina (cepa ATCC 29191)	-	-	0,98		
	Glicose (300) Frutose(300)	Bioquímico Por fermentação, <i>Zymomonas mobilis</i> , e por biocatálise: células não tratadas (cepa Z1-81)	-	-	0,92		
Glicose (325) Frutose(325)	Bioquímico Por fermentação, <i>Zymomonas mobilis</i> , e por biocatálise: células não tratadas (ATCC 29191)	-	-	0,91			
Xilitol	Xilose (250)	Bioquímico Por fermentação, <i>C. guilliermondii</i>	-	-	0,78		(Schiweck et al., 2005; Granström et al., 2007)
	Xilose (62)	Bioquímico Por fermentação, <i>C. guilliermondii</i>	-	0,52	0,73		
	Xilose (750)	Bioquímico Por fermentação, <i>C. tropicalis</i>	-	4,94	0,82		
	Xilose (100)	Bioquímico Por fermentação, <i>C. tropicalis</i>	-	5,7	0,69		
	Xilose (100)	Bioquímico Por fermentação, <i>C. tropicalis</i>	-	3,9	0,75		
	Xilose (214)	Bioquímico Por fermentação, <i>C. tropicalis</i>	-	12,0	0,85		
	Xilose (190)	Bioquímico Por fermentação, <i>S. cerevisiae</i> (recombinant)	-	0,40 (calc)	0,95		
	Xilose (10)	Bioquímico Por fermentação, <i>S. cerevisiae</i> (recombinant)	-	0,19	0,81		
	Xilose (palha, espiga)	Químico Por catalisador, Raney-Ni	-	-	-	(Schiweck et al., 2005)	

Tabela 3. Dados comerciais e de aplicação dos principais álcoois.

Álcool	Volume (T)	Preço (USD/T)	CGAR (% a.a.)	Importação Brasil (2012-2017) <sup>(1)</sup>		Exportação Brasil (2012-2017) <sup>(1)</sup>		Principais aplicações por segmento
				Volume (T)	Preço (USD/kg)	Volume (T)	Preço (USD/kg)	
<b>Arabitol</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Adoçante natural substituto de açúcar para pacientes diabéticos; redutor de cárie dentária; intermediário de síntese.
<b>1,4-butanodiol</b>	2.335.000	2.500	8	ND	ND	ND	ND	Intermediário de poliésteres poliuretanos (monômero); solvente.
<b>2,3-butanodiol</b>	67.900	33.145	5	ND	ND	ND	ND	Plásticos; soluções anticongelantes; solvente; combustível líquido; precursor de polímeros sintéticos; resinas e poliuretano. Convertido em metil-etil-cetona, 1,3-butadieno e diacetil.
<b>1-butanol</b>	2.500.000	1.187	ND	24.164	1,06±0,32	291,	1,27±0,69	Solventes na indústria de tintas; plastificantes na indústria de plásticos; fluido de freio hidráulico; cosméticos; aditivo de gasolina; potencial substituto da gasolina; perfumes.
<b>2-butanol</b>	ND	1.310	ND	1.036	26,79±7,38	3.245	1,41±0,29	Solvente (diversos segmentos industriais); agente de limpeza doméstico; agente de limpeza industrial e removedor de tinta; perfumes e sabores artificiais.
<b>Ertritol</b>	45.250	11.175	ND	ND	ND	ND	ND	Intensificador de sabor, auxiliar de formulação, umectantes, adoçante nutritivo, estabilizante e espessante no segmento de alimentos e bebidas.
<b>Etanol</b>	94.500.000	871	7	ND	ND	ND	ND	Combustível; solvente; intermediário nas indústrias química, farmacêutica e cosmética; indústria de bebidas.
<b>Etilenoglicol</b>	26.500.000	1.200	6	6.616	1,48±0,35	785	1,72±0,36	Intermediário na indústria polimérica (monômero de PET e outros poliésteres); aditivo.
<b>Fucitol</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Intermediário ou componente de composições farmacêuticas.
<b>Furfurílico</b>	24.000	ND	6	ND	ND	ND	ND	Fundição; alimentos e bebidas; produtos químicos; energia; agricultura; produtos farmacêuticos e outros; retardador de gel (caseína / colas de proteínas); polímeros e plásticos; monômero para resinas de furano.
<b>Galactitol</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Intermediário ou componente de composições farmacêuticas.
<b>Glicerol</b>	2.129.975	646	6	11.911	0,96±0,10	34.757	0,64±0,19	Umectante na indústria de alimentos e de cosméticos; intermediário na indústria química e polimérica; componente de formulações em geral.
<b>1-hexanol</b>	ND	3.295	4	ND	ND	ND	ND	Solvente; combustível; indústria de perfumes e produção de plastificantes.
<b>Iditol</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Intermediário ou componente de composições farmacêuticas.
<b>Inositol</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Intermediário ou componente de composições farmacêuticas.

Continua...



Tabela 3. Continuação.

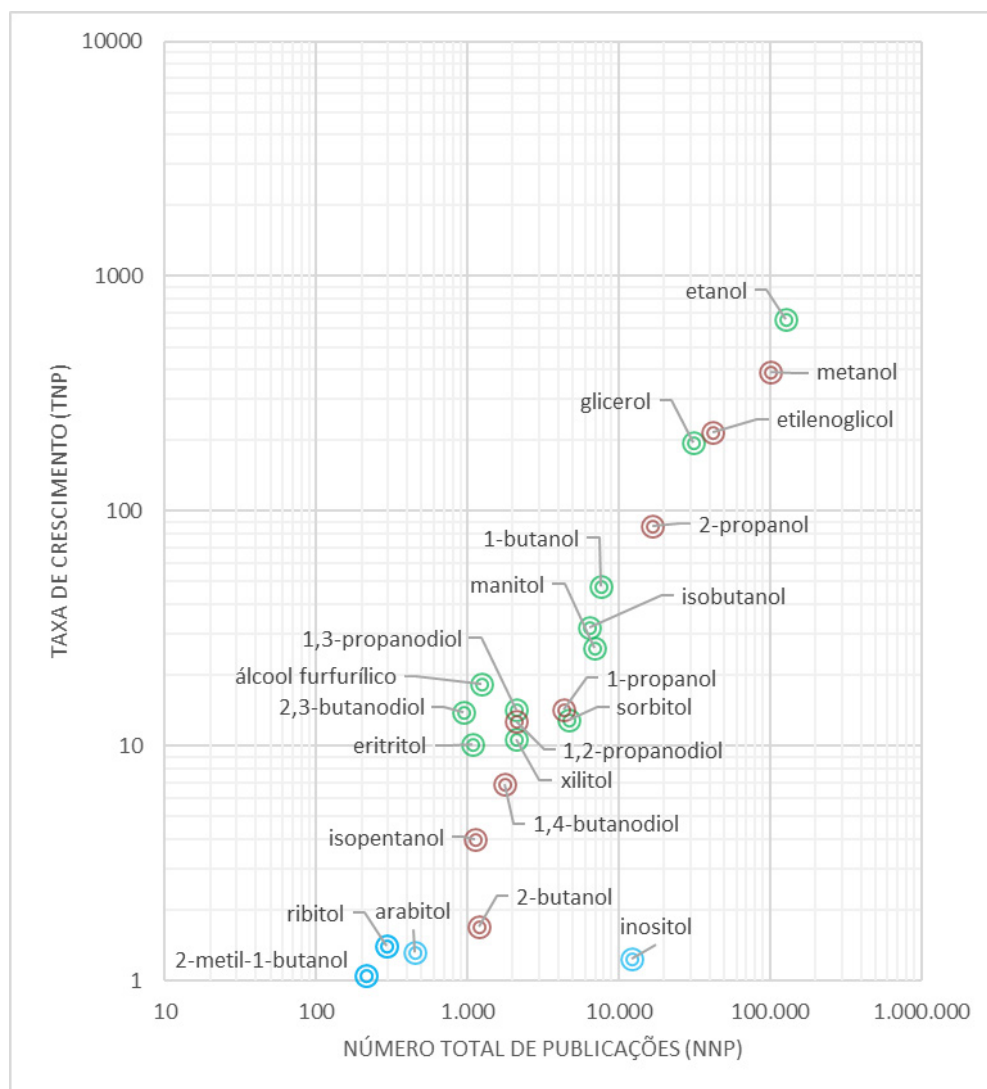
Álcool	Volume (T)	Preço (USD/T)	CGAR (% a.a.)	Importação Brasil (2012-2017) <sup>(1)</sup>		Exportação Brasil (2012-2017) <sup>(1)</sup>		Principais aplicações por segmento
				Volume (T)	Preço (USD/kg)	Volume (T)	Preço (USD/kg)	
<b>Isobutanol</b>	551.200	1.563	6	938	1,18±0,30	8.899	0,86±0,25	Solvente e aditivo na indústria de tintas; detergente industrial e removedor de tinta; combustível ou aditivo para a gasolina.
<b>Isopentanol</b>	ND	1000	ND	ND	ND	ND	ND	Componente para a produção de borracha sintética; indústria de alimentos - aromas (banana).
<b>Isopropanol</b>	2.700.000	1.257	7	14.791	1,10±0,24	232	1,38±0,32	Solvente; matéria-prima para o propeno.
<b>Manitol</b>	33.300	7.000	9	441	6,34±0,90	3.664	2,29±0,07	Agente adoçante; carreadores de medicamentos; resinas; óleos secantes; plastificantes; emulsificantes.
<b>Metanol</b>	77.000.000	520	11	882.970	0,36±0,09	686	3,70±4,96	Precursor de ésteres de metila para diferentes aplicações: entre elas o biodiesel, solvente industrial, combustível.
<b>1-pentanol</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Solvente; agente de extração e material de partida para aditivos lubrificantes e para auxiliar na flotação (xantatos).
<b>1,2-propanodiol</b>	1.880.000	5.294	ND	16.582	1,30±0,25	20.682	1,35±0,35	Resinas de poliéster insaturado; detergentes líquidos; produtos farmacêuticos; cosméticos; anticongelantes; descongelantes; drogas; refrigerantes; fluido hidráulico e de freio; fluido de degelo de aeronaves; fluidos de transferência de calor; tintas e revestimentos; fragrâncias; cuidados pessoais; alimentos e aromas; componente de rações; umectante; solvente; conservante de alimentos e produtos de tabaco; cigarros eletrônicos.
<b>1,3-propanodiol</b>	175.000	23.380	8	1	31,16±33,20	0	0	Polímeros (tereftalato de polietileno, polibutileno tereftalato, poliéteres, poliuretanos); detergentes líquidos; cosméticos; alimentos; refrigerantes; vestuário; resinas; fibras de tapetes; adesivos; lubrificantes; laminados; solventes; anticongelantes e medicamentos.
<b>1-propanol</b>	ND	1.000	ND	4.487	1,22±0,24	62	1,5±1,53	Combustível líquido; solvente industrial; reagentes de esterificação.
<b>Ribitol</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Alguns poucos usos na indústria alimentícia e farmacêutica.
<b>Sorbitol</b>	1.400.000	1.125	5	5.970	0,60±0,02	12	1,22±0,76	Umectante; espessante; laxante e aditivo da indústria alimentícia; farmacêutica; cosmética e composições para cuidados pessoais; papel; fibra; tabaco; couro.
<b>Treitól</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Intermediário na síntese química de outros compostos e isômero do eritritol.
<b>Xilitol</b>	201.000	4.450	6	ND	ND	ND	ND	Adoçante; componente da indústria farmacêutica e cosmética para higiene oral.

ND: não disponível.

<sup>(1)</sup> Média dos valores anuais referente aos anos de 2012 a 2017.

### Quantificação das publicações associadas aos álcoois

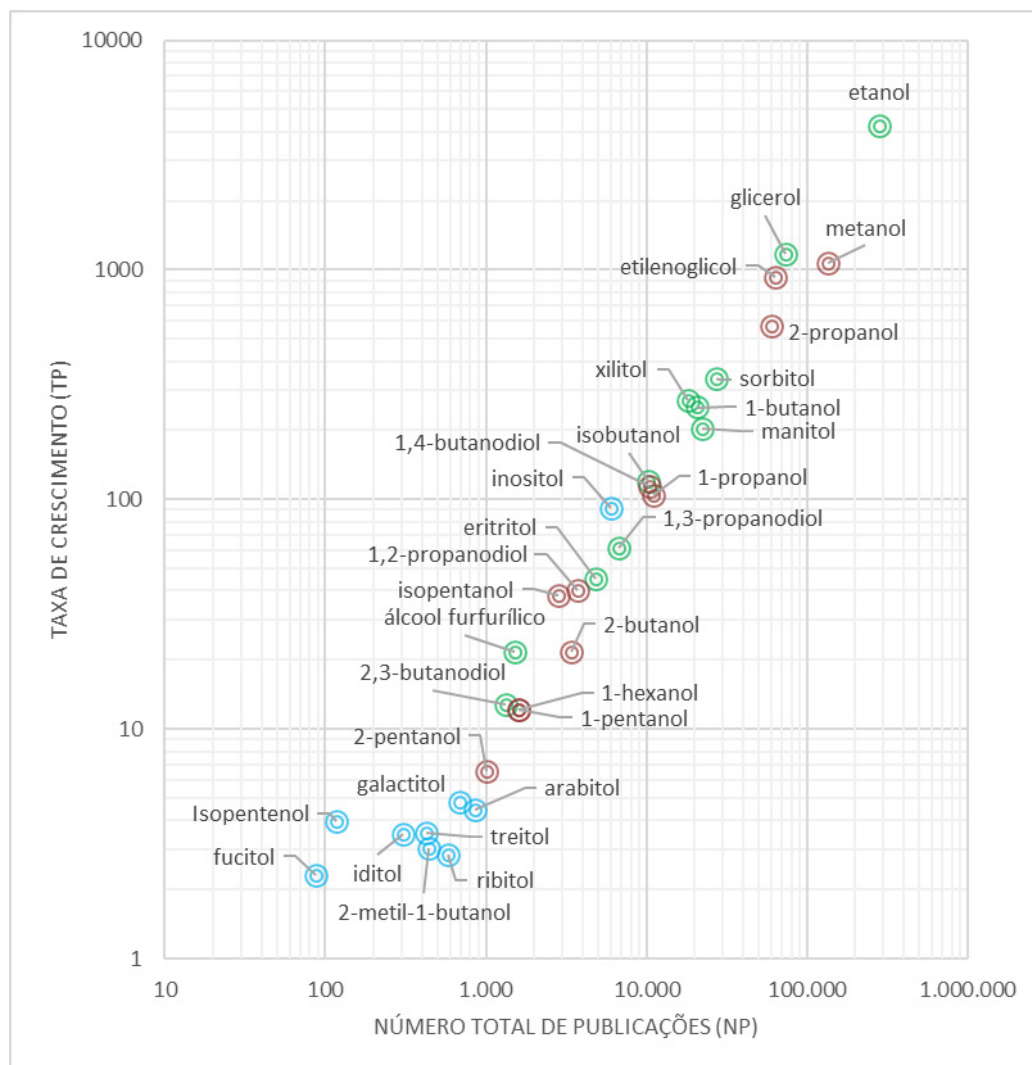
As publicações científicas entre os anos de 2008 a 2017 indicam que os álcoois de um maior volume de produção em termos comerciais são mais recorrentes, conforme apresentado na Figura 3. Esse fato demonstra que ainda há um grande número de pesquisas científicas associadas a álcoois como etanol, metanol, etileno glicol, 2-propanol, entre outros, cujos mercados são bem estabelecidos.



**Figura 3.** Número (NNP) e taxa de crescimento de publicações científicas (TNP), entre os anos de 2008 a 2017, relacionadas a álcoois. Em escala logarítmica. As cores verde, vermelha e azul correspondem aos álcoois pertencentes aos grupos 1, 2 e 3, respectivamente.

Fonte: dados coletados na base de dados *Web of Science* (2019).

Em termos patentários, os quatro álcoois de mais destaque continuam sendo os apontados pelas publicações científicas, sendo eles o etanol, glicerol, metanol e etilenoglicol. Entretanto, destacam-se as altas taxas de crescimento do xilitol, sorbitol, e manitol, todos esses álcoois de açúcares (Figura 4). Isso demonstra que há um interesse crescente no ambiente industrial, na ciência aplicada, aqui representada por documentos de patentes.



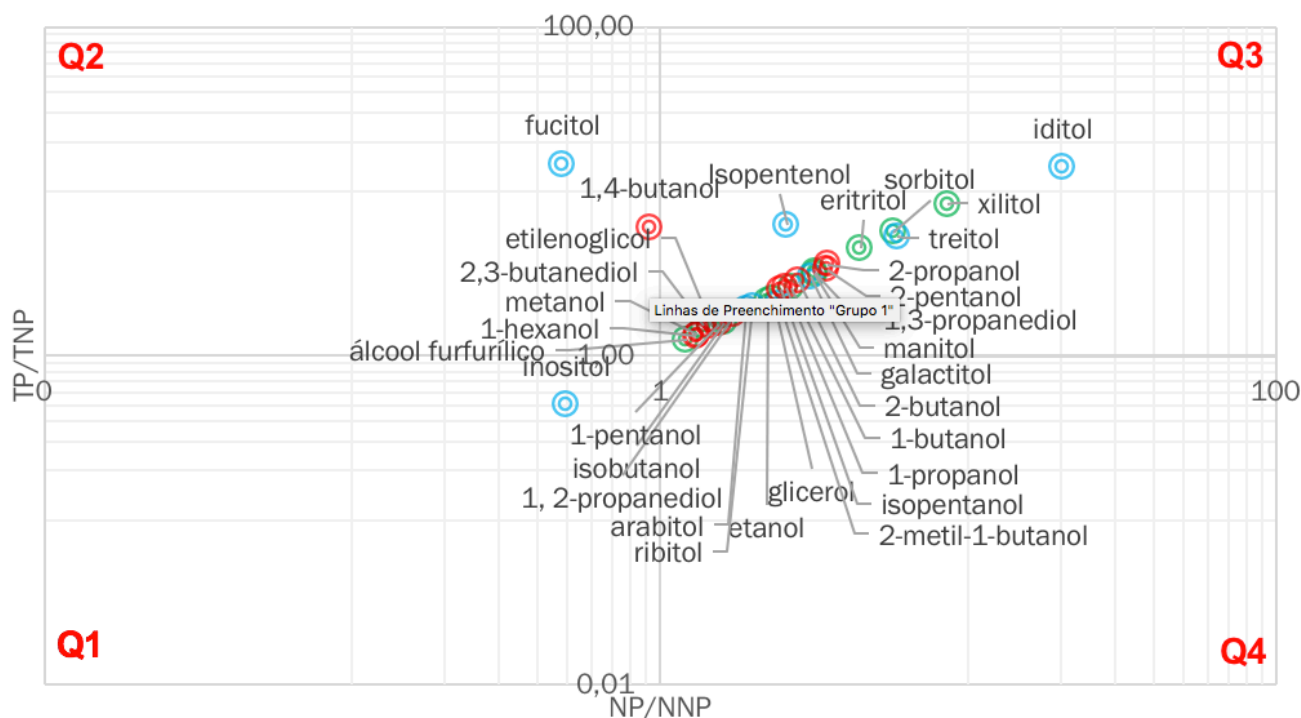
**Figura 4.** Número (NP) e taxa de crescimento de publicações patentárias (TP), entre os anos de 2008 e 2017, relacionados aos álcoois, em escala logarítmica. As cores verde, vermelha e azul correspondem aos álcoois pertencentes aos grupos 1, 2 e 3, respectivamente.

Fonte: dados coletados na base de dados *Derwent Innovations Index* (2019).

Essa inversão na posição entre as duas figuras demonstra não só em que aspecto, científico ou tecnológico, os álcoois se encaixam no período estudado, mas também permite inferir qual é o perfil deles nesse contexto. Para facilitar essa análise, a Figura 5 condensa as informações contidas nas Figuras 3 e 4, segregando os álcoois entre aqueles com perfil mais acadêmico e os com perfil tecnológico voltado ao negócio, justificado na preponderância em publicações científicas e patentárias, respectivamente, de forma análoga ao que foi feito para os ácidos por Braga et al. (2021). Essa figura traz a representação gráfica da razão das taxas de crescimento ( $TP/TNP$ ) e do total de publicações ( $NP/NNP$ ) no período de 10 anos, para cada álcool. No quadrante superior à direita (Q3), estão os álcoois associados a tecnologias de caráter mais aplicado (business-driven), por acumularem maior taxa de crescimento e maior número de publicações patentárias. Diametralmente oposto a esse quadrante, no quadrante abaixo à esquerda (Q1), estão os álcoois associados a tecnologias de caráter científico ou investigativo predominantes, em razão da alta taxa de crescimento e alto número de publicações científicas não patentárias. Quanto mais distante da intersecção dos eixos, mais acentuada são essas características.

Os álcoois posicionados nos dois quadrantes restantes indicam migração de um perfil business-driven para o científico/investigativo ou vice-versa. No quadrante superior à esquerda (Q2) estão

os álcoois que acumulam a maior taxa de crescimento patentária, porém com somatória de publicações científicas não patentárias maiores. Os álcoois posicionados de maneira diametralmente oposta, no quadrante da direita inferior (Q4), têm o maior somatório de patentes, porém com crescente taxa de crescimento em publicações científicas. Quanto mais distante da intersecção dos eixos, mais acentuadas são essas características.



**Figura 5.** Razão do número (NP/NNP) e das Taxas de crescimento (TP/TNP) de publicações patentárias e artigos entre os anos de 2008 e 2017, relacionadas a álcoois. Os álcoois 1,4-butanol e 2,3-propanodiol não apareceram no gráfico porque suas razões entre patente e artigo foram insignificantes. Em escala logarítmica. As cores verde, vermelha e azul correspondem aos álcoois pertencentes aos grupos 1, 2 e 3, respectivamente.

Fonte: dados coletados nas bases de dados *Web of Science* (2019) e *Derwent Innovations Index* (2019).

A Figura 5 mostra que os álcoois analisados possuem um caráter de motivação mercadológica, “business driven”, bastante acentuado, especialmente os álcoois de açúcar iditol, sorbitol, eritritol e treitol, que acumulam maiores razões patentárias acerca das taxas de crescimento e número de documentos.

### Áreas tecnológicas de concentração dos álcoois nos documentos de patente

#### Aspectos gerais

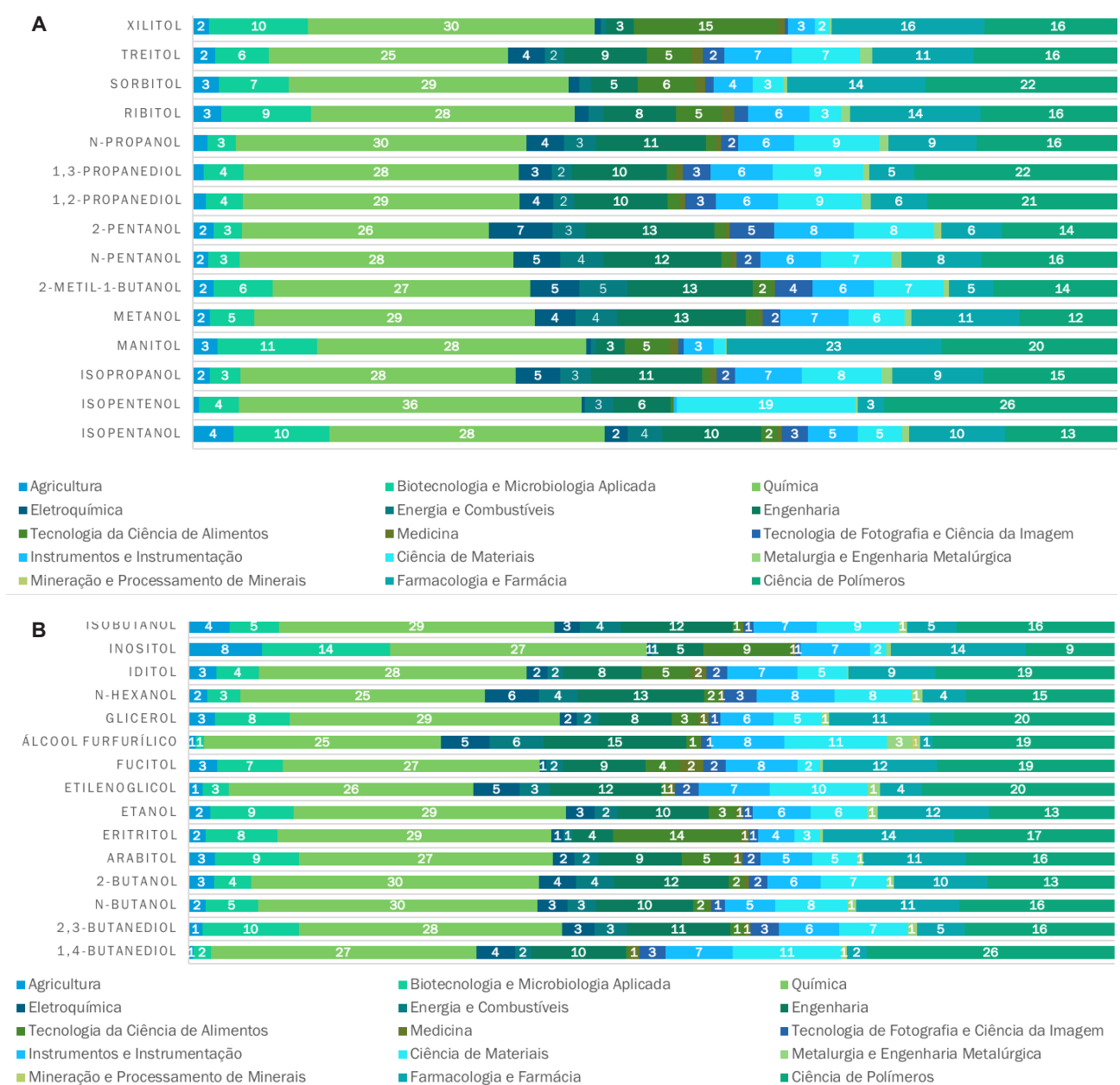
As áreas tecnológicas em que se concentram os documentos de patentes podem fornecer informações importantes sobre o mercado a que esses produtos ou derivados são alocados. Essas informações, combinadas com a análise quantitativa supramencionada, permitem inferir sobre o potencial competitivo desses compostos.

Uma série de fatores podem afetar o valor de uma tecnologia, a saber: seu grau de inovação, seu apelo ambiental, seu estágio de maturidade, e seu custo de fabricação. Entretanto, é reconhecido que produtos que mais se distanciam de *commodities* possuem maior valor agregado e, assim, seu preço deixa de ser determinado somente pela oferta e demanda. Nesses casos, o custo de produção é um dos fatores determinantes para o sucesso do negócio, pois a mínima variação pode impactar as vendas, positivamente ou negativamente. Em situação oposta, estão os produtos, produzidos em menores volumes, para a indústria química de especialidades, a farmacêutica e outras

indústrias cujo mercado consumidor está disposto a arcar com maiores valores unitários em razão da característica diferenciada da tecnologia.

Com vistas a identificar o mercado em que os álcoois estão alocados, buscou-se na base DII as áreas tecnológicas dos documentos de patentes recuperados. Além do posicionamento dos álcoois em áreas de maior valor agregado, distanciando-se, portanto, das commodities, quanto maior a distribuição em áreas, mais diversificado é o uso desses álcoois.

A Figura 6, dividida em duas partes (A e B), indica que os álcoois estão predominantemente concentrados na área tecnológica química em razão de estarem envolvidos em processos ou produtos químicos por natureza. Em seguida, dividem-se em quatro áreas principais: polímeros, engenharia de materiais, farmacologia e farmácia. A análise dessa distribuição e das principais aplicações apresentadas anteriormente na Tabela 2 demonstra que há uma grande diversificação de áreas tecnológicas para os álcoois estudados, apresentando assim uma possível expansão dos mercados tradicionais associados a eles.



**Figura 6.** A) Distribuição em porcentagem dos documentos de patentes associados aos álcoois, por áreas tecnológicas. Valores menores ou iguais a 1% não são apresentados. B) Continuação da distribuição em porcentagem dos documentos de patentes associados aos álcoois, por áreas tecnológicas. Valores menores ou iguais a 1% não são apresentados.

Fonte: segundo a base de dados *Derwent Innovations Index* (2019).

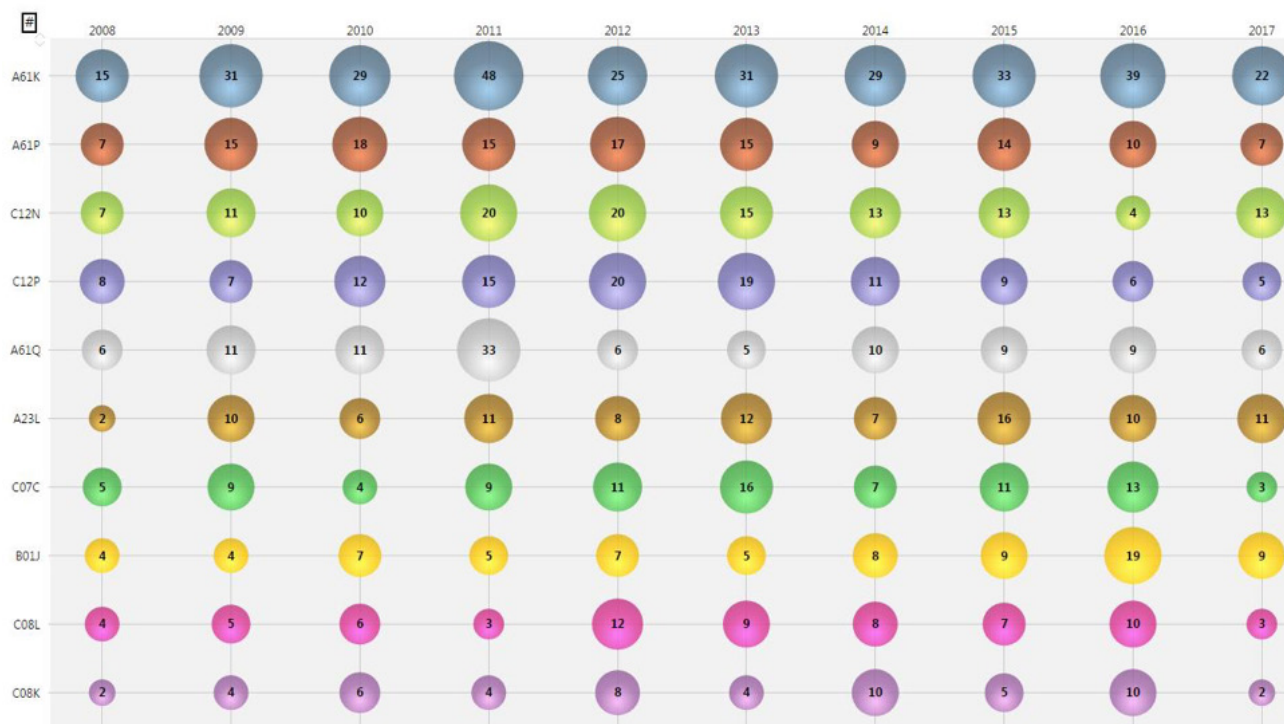
### Áreas tecnológicas dos documentos de patentes recuperados

A Classificação Internacional de Patentes (CIP) permite identificar quais áreas tecnológicas de concentração dos documentos de patentes são predominantes, seja em termos de propriedades dos compostos ou de aplicações da tecnologia contida em um documento de patente. Assim, o acompanhamento da evolução das CIPs permite identificar as áreas emergentes e em declínio de um determinado objeto de estudo.

Para cada álcool, quantificou-se a evolução das 30 CIPs de 4 dígitos mais recorrentes nos documentos de patentes recuperados. A quantificação linear do período de 2008 a 2017 permitiu identificar as áreas tecnológicas que estão em crescimento ou em decréscimo. Essa análise é apresentada a seguir em gráficos de bolhas construídos no software *Vantage Point*. Não estão incluídas nela informações sobre os álcoois etanol, metanol, glicerol e etilenoglicol, em razão do alto número de documentos (centenas de milhares) recuperados no intervalo de tempo delimitado, bem como pela impossibilidade de realizar tratamento similar ao dos demais álcoois.

O significado de todas as CIPs apresentadas pode ser encontrado em português no site do INPI<sup>15</sup>. A seguir serão apresentadas e discutidas as CIPs de maior destaque, com base na leitura dos resumos dos documentos de patente para cada álcool:

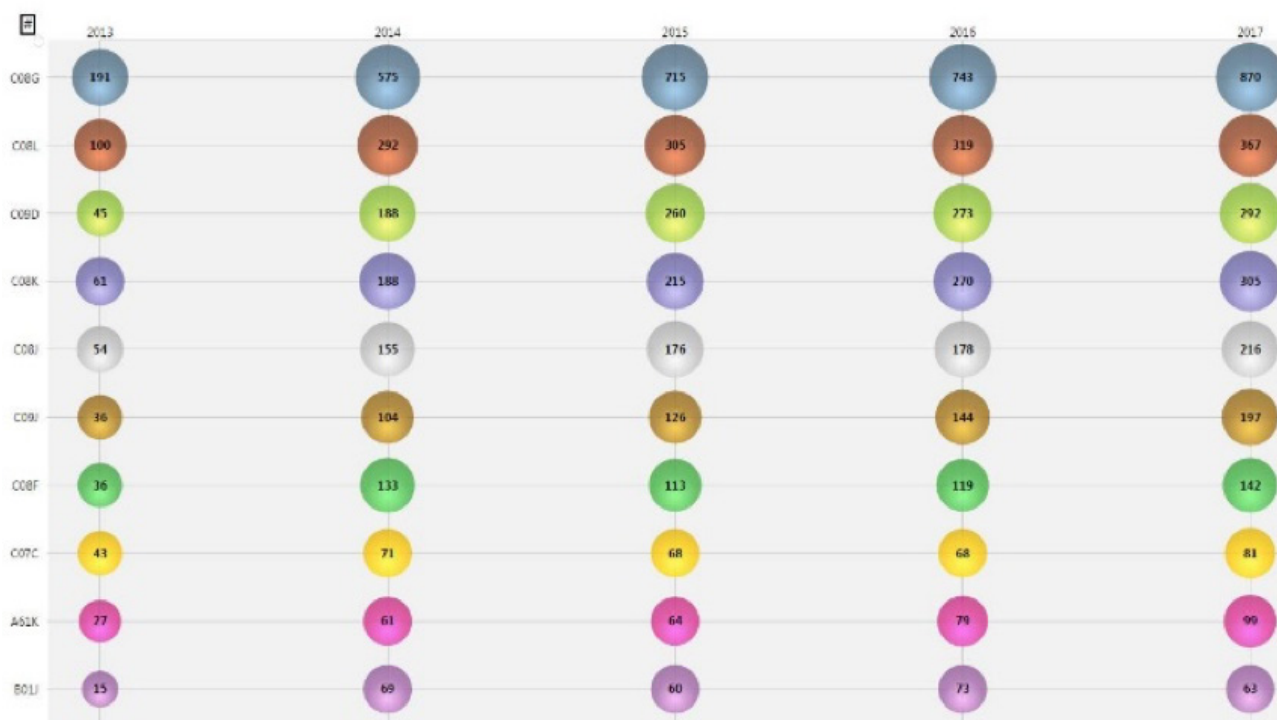
- Arabitól (Figura 7): seguindo os parâmetros estabelecidos de análise, não foram encontradas áreas tecnológicas consideradas relevantes sob o aspecto de emergência ou declínio. A CIP A61K numericamente é a mais relevante para esse álcool, correspondendo a preparações médicas, odontológicas e higiênicas, porém não apresenta variações muito significativas no período estudado.



**Figura 7.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o arabitól, entre os anos de 2008 e 2017.

<sup>15</sup> Disponível em: [www.inpi.gov.br](http://www.inpi.gov.br).

- 1,4-butanodiol (Figura 8): os compostos macromoleculares, obtidos por reações, que não sejam carbono-carbono (CIP C08G), compreendem as reações de esterificação para as quais a maior parte desse álcool é destinada, para a obtenção de poliésteres ou poliuretanos. A Figura 8 evidencia que há emergência de patentes nessa área tecnológica e, pela tendência observada, deverá seguir nos anos subsequentes. As demais áreas tecnológicas mostram-se irrelevantes diante da expressividade desse tema. É importante destacar que foram analisadas somente as CIPs recorrentes entre os anos de 2013 e 2017, visto a grande quantidade de contagens entre os anos de 2008 e 2017 e a restrição da base em exportar mais de 100.000 documentos.



**Figura 8.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o álcool 1,4-butanodiol, entre os anos de 2013 e 2017.

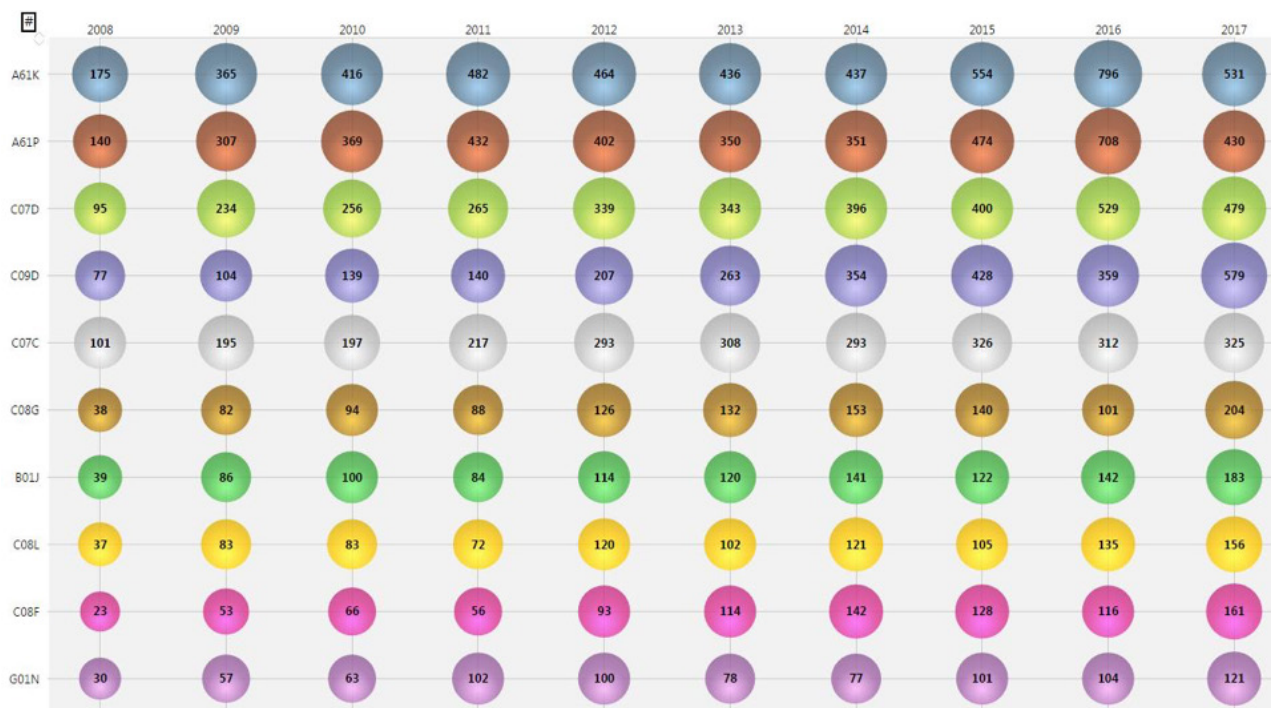
- 2,3-butanodiol (Figura 9): os bioprocessos, representados pelas CIPs C12P e C12N, são os mais significativos no período, apresentando emergência até 2015, porém com tendência à redução no ano seguinte.



**Figura 9.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o álcool 2,3-butanodiol, entre os anos de 2008 e 2017.

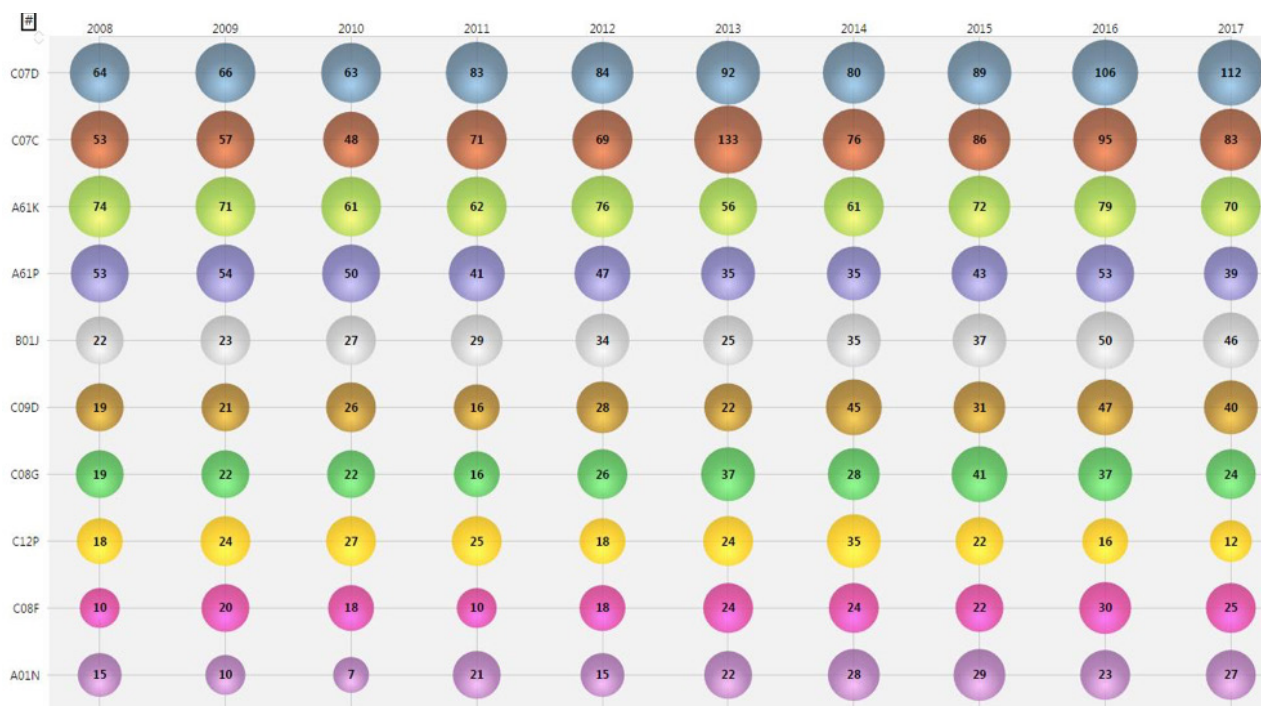


- 1-butanol (Figura 10): as maiores contagens estão em preparações médicas, odontológicas, higiênicas e terapêuticas (CIPs A61K e A61P). No entanto, nota-se emergência em áreas da química relacionadas a compostos acíclicos, carbocíclicos, heterocíclicos (CIPs C07C e C07D) aos quais o 1-butanol está associado como componente de formulações para os fins apontados acima. A mesma função de solvente é encontrada nas patentes associadas a revestimentos e tintas (CIPs C09D).



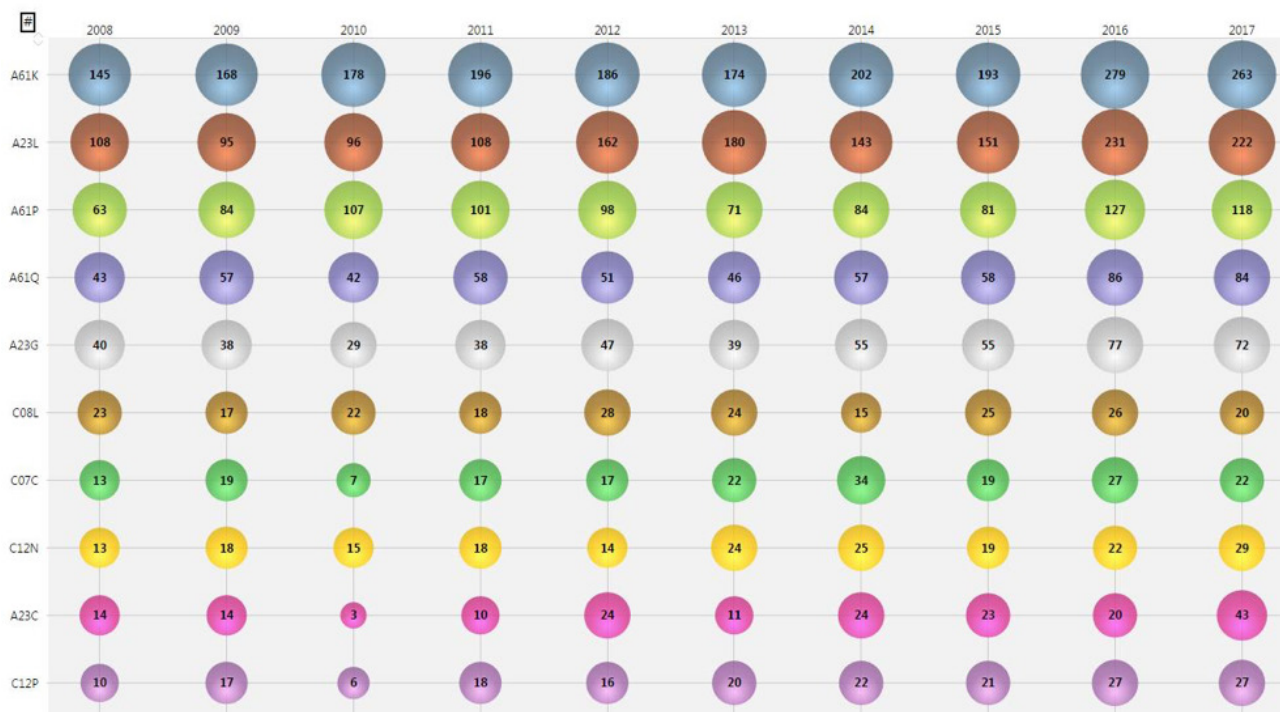
**Figura 10.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o álcool 1-butanol, entre os anos de 2008 e 2017.

- 2-butanol (Figura 11): o perfil de CIP se assemelha ao isômero 1-butanol, atuando predominantemente como solventes de formulações ou composições médicas, odontológicas e farmacêuticas (CIPs A61K e A61P), e também como solventes em meios reacionais para a obtenção de outros compostos acíclicos, carbocíclicos e heterocíclicos (CIPs C07C e C07D).



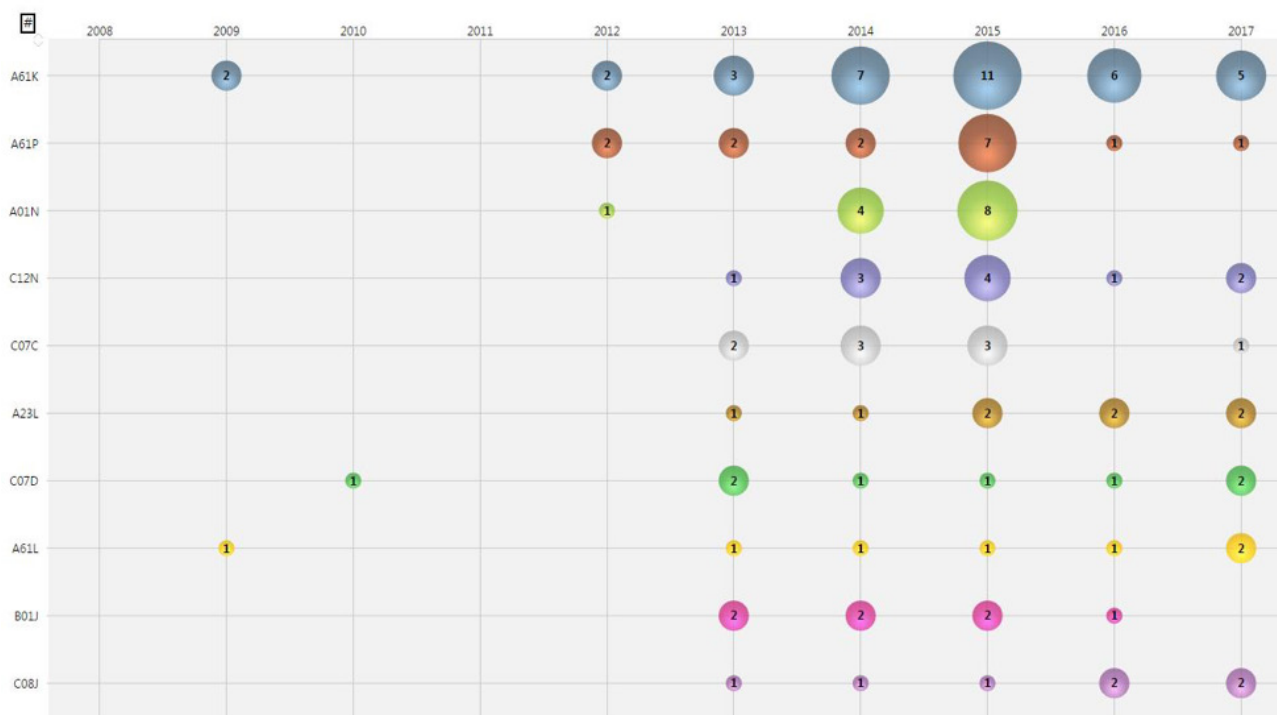
**Figura 11.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o álcool 2-butanol, entre os anos de 2008 e 2017.

- Eritritol (Figura 12): as publicações patentárias acerca desse álcool de açúcar concentram-se em duas áreas tecnológicas: A61K, referente às preparações médicas, odontológicas e higiênicas; e A23L, referente a alimentos. Trata-se de aplicações usuais desse composto, conforme tratado anteriormente.



**Figura 12.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o eritritol, entre os anos de 2008 e 2017.

- Fucitol (Figura 13): não há nenhum padrão ou tendência significativa acerca desse álcool no período estudado. Destaca-se, entretanto, a concentração em preparações médicas, odontológicas e higiênicas (CIP A61K), embora apresente redução nos anos 2016 e 2017.



**Figura 13.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o fucitol, entre os anos de 2008 e 2017.

- Álcool furfurílico (Figura 14): um dos álcoois que mais têm CIPs emergentes, indicando o interesse em muitas áreas tecnológicas, destacadamente processos. Destacam-se os processos físicos e químicos (B01J), os compostos heterocíclicos (CIP C07D), compostos com ligações carbono-carbono (CIP C08G), como ingredientes de composições (CIP C08K) e composições de compostos macromoleculares (CIP C08L).



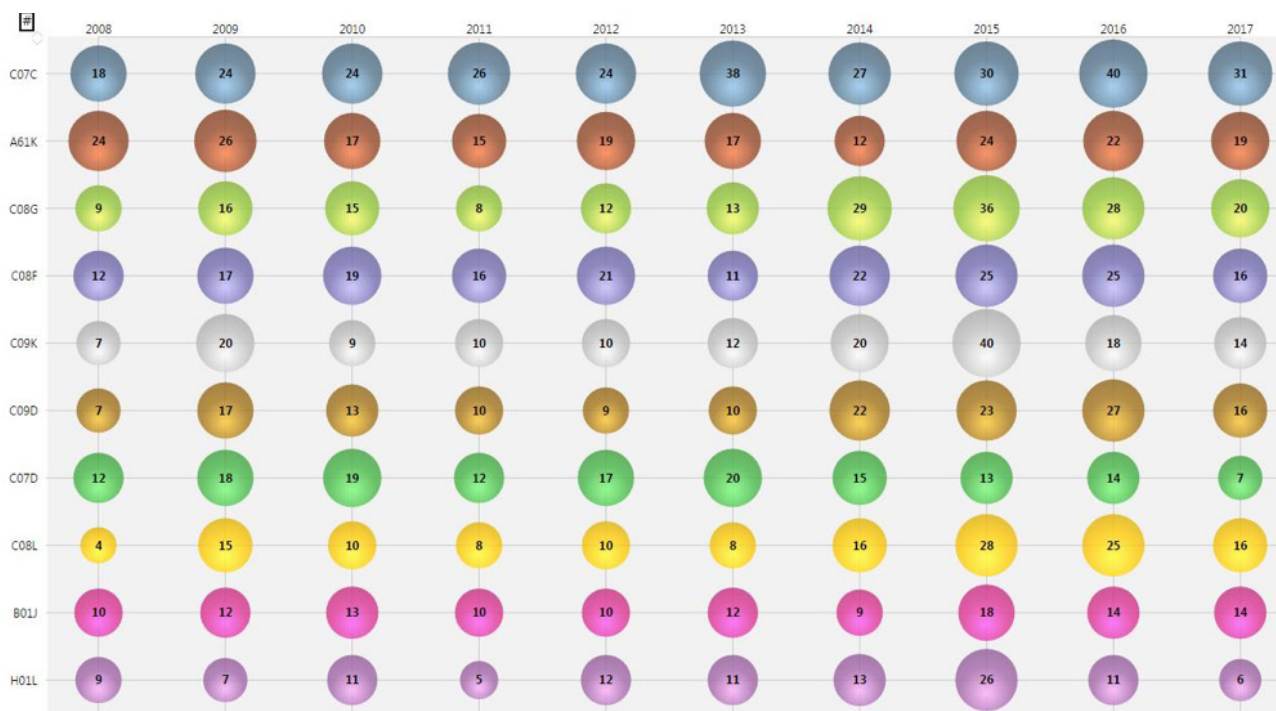
**Figura 14.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o álcool furfurílico, entre os anos de 2008 e 2017.

- Galactitol (Figura 15): apresenta perfil concentrado com tendência emergente, semelhante ao álcool fucitol, para preparações médicas, odontológicas e higiênicas (CIP A61K).



**Figura 15.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o galactitol, entre os anos de 2008 e 2017.

- 1-hexanol (Figura 16): a área tecnológica associada a compostos acíclicos e carbocíclicos (CIP C07C) predomina. Entretanto, nota-se a emergência de temas associados a polímeros a partir de 2014, destacadamente os polímeros propriamente ditos (CIP C08F), poliésteres (CIP C08G), composições macromoleculares (C08L) e composições de tintas (CIP C09D). Já a CIP H01L, referente à aplicação do composto em dispositivos semicondutores, por exemplo, apresentou aumento de 2014 para 2015, porém houve redução de depósitos depois desse período.



**Figura 16.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o álcool 1-hexanol, entre os anos de 2008 e 2017.

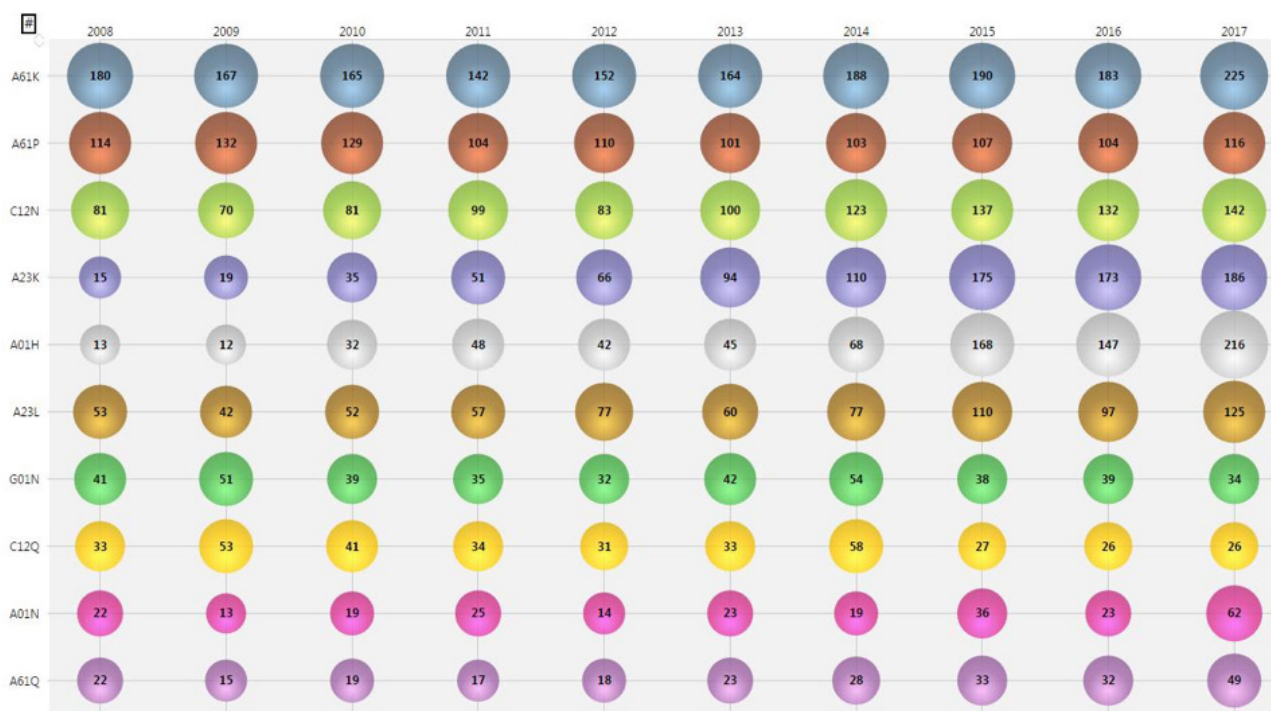
- Iditol (Figura 17): a CIP A61K emergente indica o aumento da aplicação desse álcool em preparações médicas, odontológicas e higiênicas. As demais áreas da figura não são expressivas numericamente para que outras conclusões sejam traçadas acerca da evolução das aplicações desse álcool no mercado.



Figura 17. Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o iditol, entre os anos de 2008 e 2017.

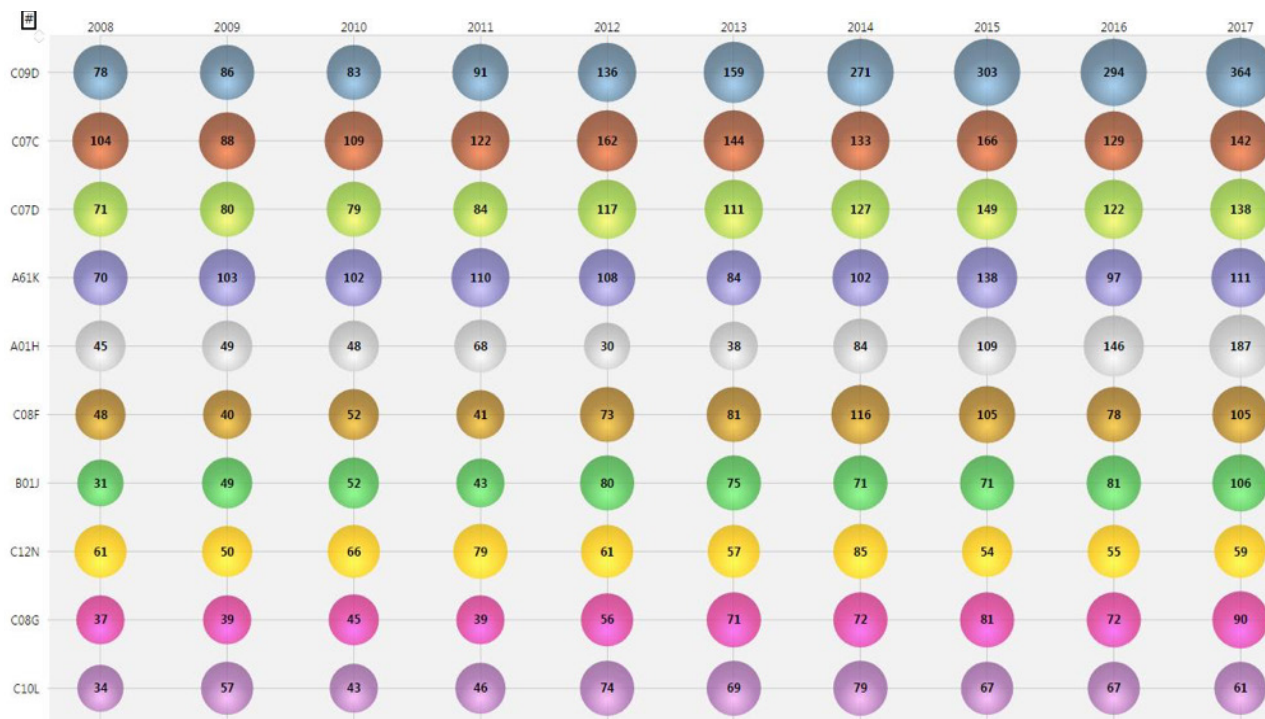


- Inositol (Figura 18): as áreas tecnológicas associadas a preparações médicas, odontológicas e higiênicas (CIP A61K) e terapêuticas e medicinais (CIP A61P) mostram-se mais significativas em termos quantitativos, porém estão estagnadas no período em análise. Em contrapartida, observa-se crescimento da aplicação do inositol em rações (CIP A23K) e alimentos (CIP A23L) no período. Observa-se crescimento expressivo da CIP A01H, referente a aspectos de novas plantas, como compostos para resistência a doenças, resistência a baixas temperaturas e velocidade de crescimento, principalmente nos anos de 2015 a 2017.



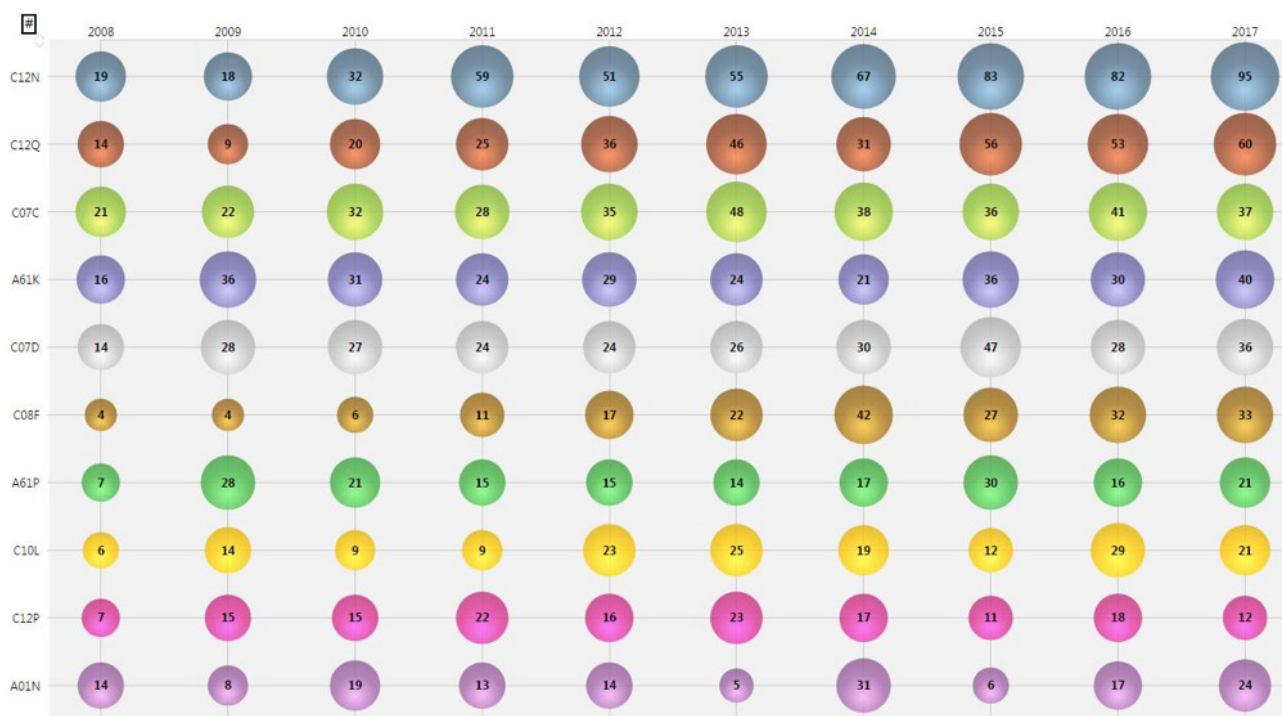
**Figura 18.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o inositol, entre os anos de 2008 e 2017.

- Isobutanol (Figura 19): a área mais emergente no período é de tintas e revestimentos (CIP C09D), bem como a de utilização desse álcool como solvente dessas composições. As demais CIPs apresentam oscilações, o que não permite inferir se há uma tendência associada a alguma aplicação específica.



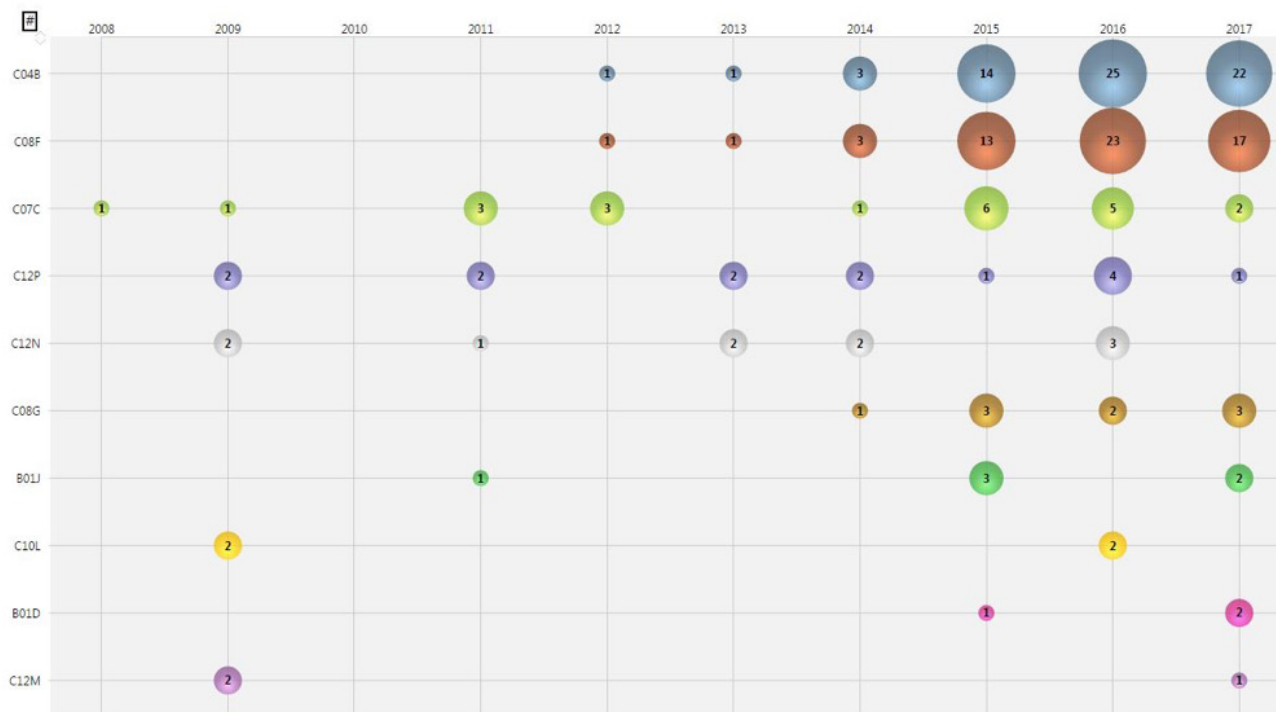
**Figura 19.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o isobutanol, entre os anos de 2008 e 2017.

- Isopentanol (Figura 20): é evidente a emergência de métodos para o melhoramento de microrganismos e enzimas (CIP C12N), para serem empregados nos processos de obtenção desse álcool, bem como em outros processos associados (CIP C12Q).



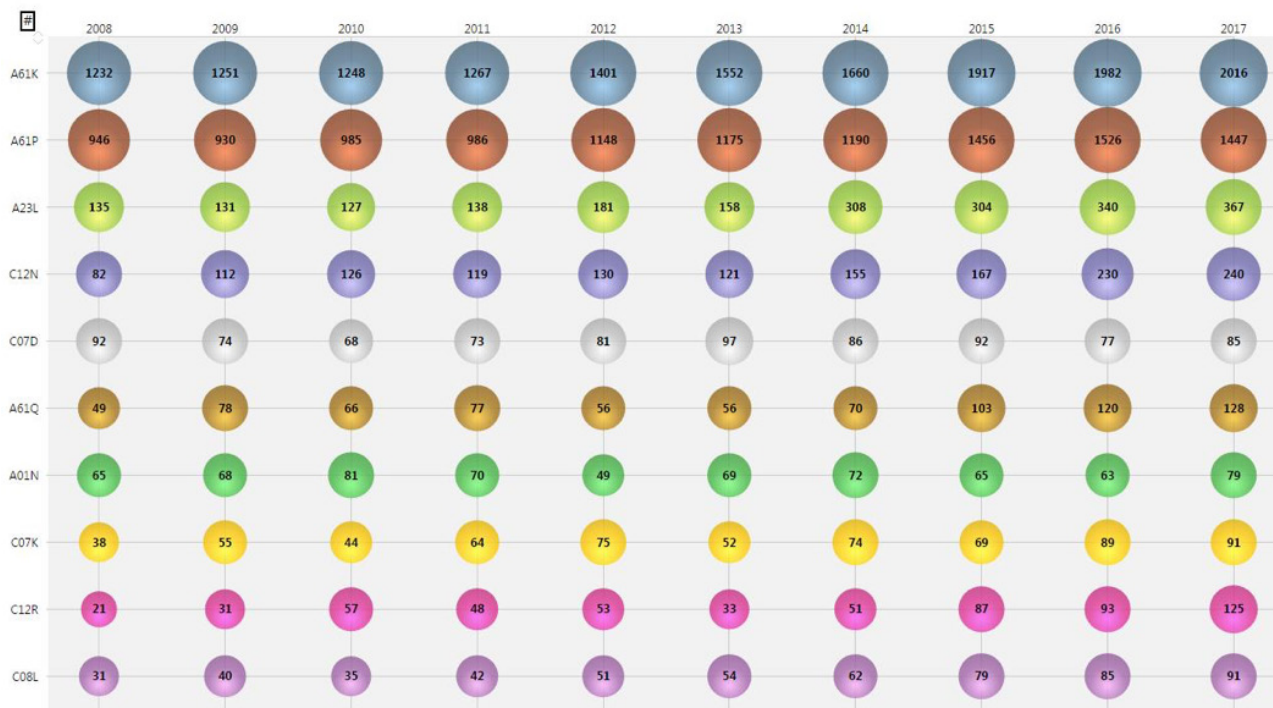
**Figura 20.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o isopentanol, entre os anos de 2008 e 2017.

- Isopentenol (Figura 21): a aplicação no período concentrou-se majoritariamente no uso do isopentenol em composição de cimentos (CIP C04B) e polímeros (CIP C08F). As demais CIPs foram irrelevantes no período, ao apresentarem baixa recorrência, em torno de 2 a 4 ocorrências, nos depósitos de documentos patentários.



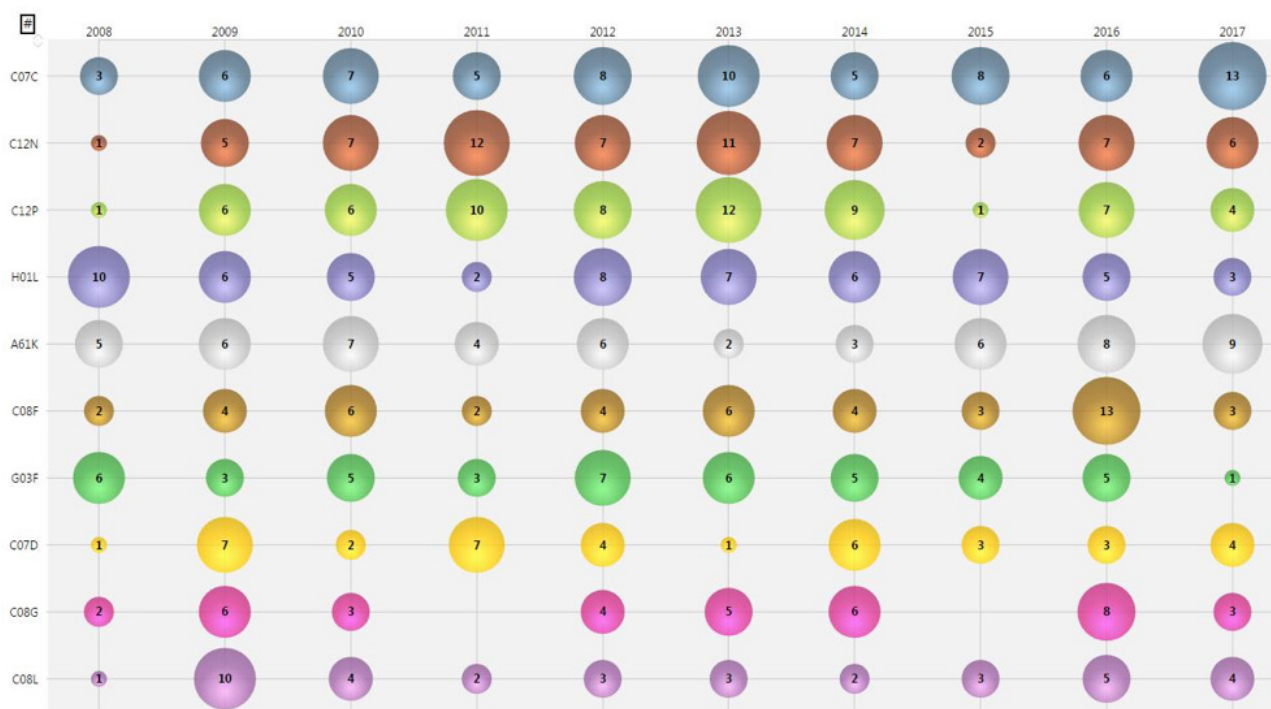
**Figura 21.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o isopentenol, entre os anos de 2008 e 2017.

- Manitol (Figura 22): as duas áreas de concentração de aplicações do manitol no período analisado foram as da CIP A61K, referente às preparações para finalidades médicas, odontológicas ou higiênicas; e as da CIP A61P, referente às preparações de compostos químicos para atividade terapêutica específica ou em preparações medicinais.



**Figura 22.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o manitol, entre os anos de 2008 e 2017.

- 2-metil-1-butanol (Figura 23): o número de ocorrência das CIPs observado foi muito pequeno e com muitas oscilações, o que não permite apontar mudanças significativas sobre as aplicações do composto no período de estudo.



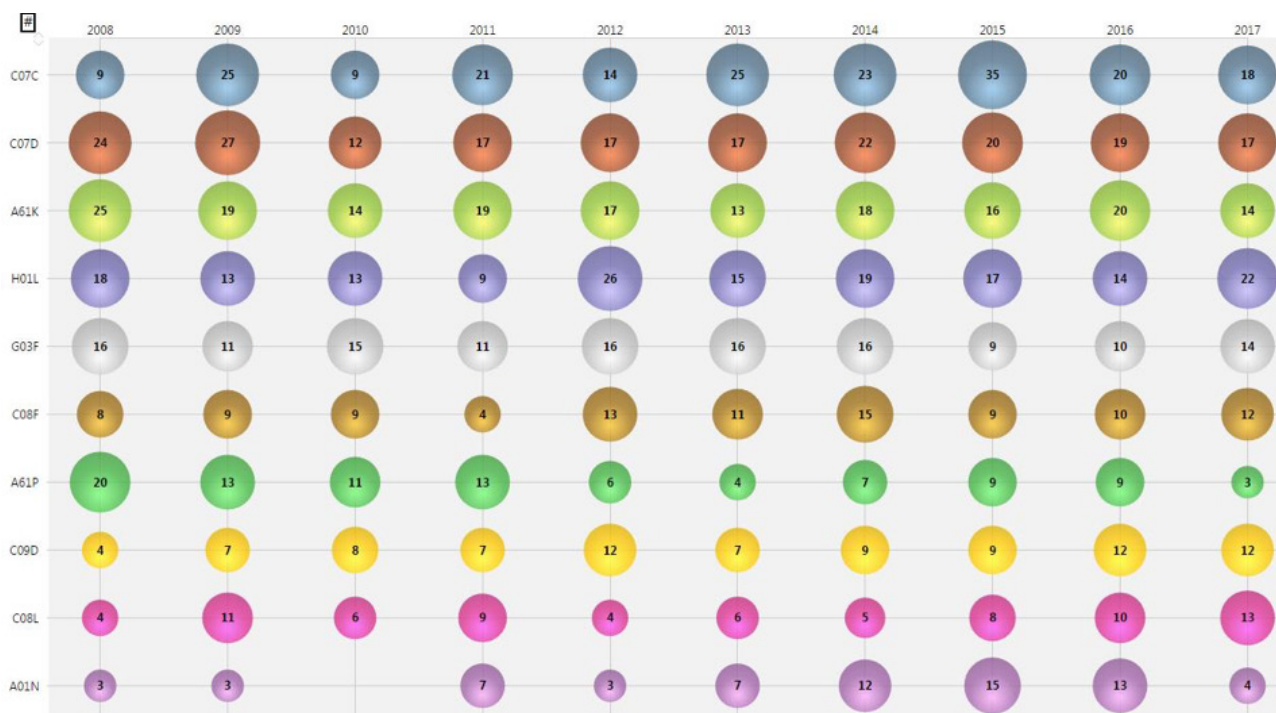
**Figura 23.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o 2-metil-1-butanol, entre os anos de 2008 e 2017.

- 1-pentanol (Figura 24): o uso desse álcool acontece majoritariamente como ingrediente de composições médicas, odontológicas e higiênicas (CIP A61K), de forma semelhante ao constatado para outros álcoois lineares estruturalmente semelhantes ao 1-pentanol. Também há aumento de ocorrência da CIP C07D, referente à produção de compostos macromoleculares heterocíclicos, em que o 1-pentanol atua como solvente ou meio reacional.



**Figura 24.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o álcool 1-pentanol, entre os anos de 2008 e 2017.

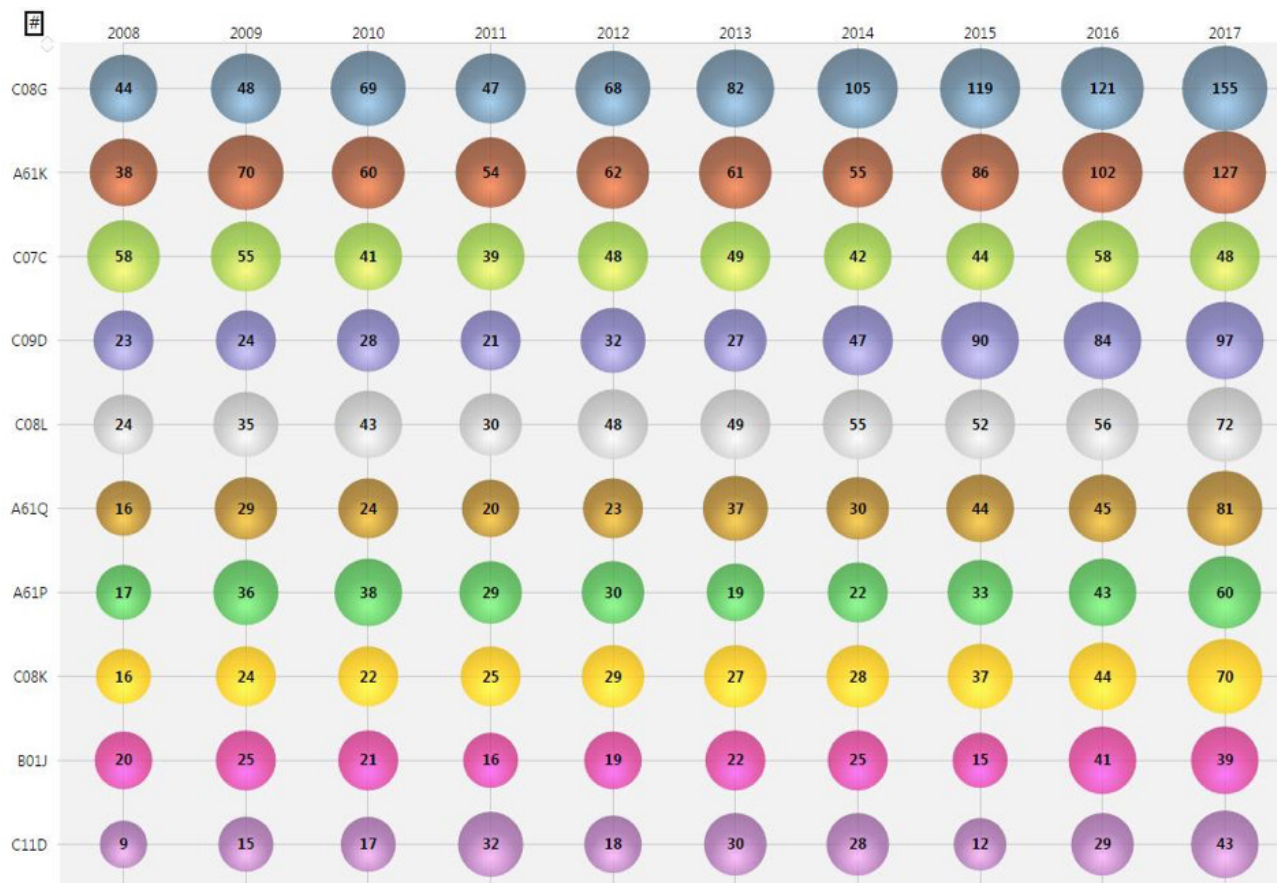
- 2-pentanol (Figura 25): perfil semelhante aos álcoois descritos anteriormente, com concentração nas CIPs A61K, C07C e C07D. Destacam-se, entretanto, as contagens mais elevadas nas áreas de dispositivos semicondutores (CIP H01L), que apresentam contagens relevantes no período.



**Figura 25.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o álcool 2-pentanol, entre os anos de 2008 e 2017.

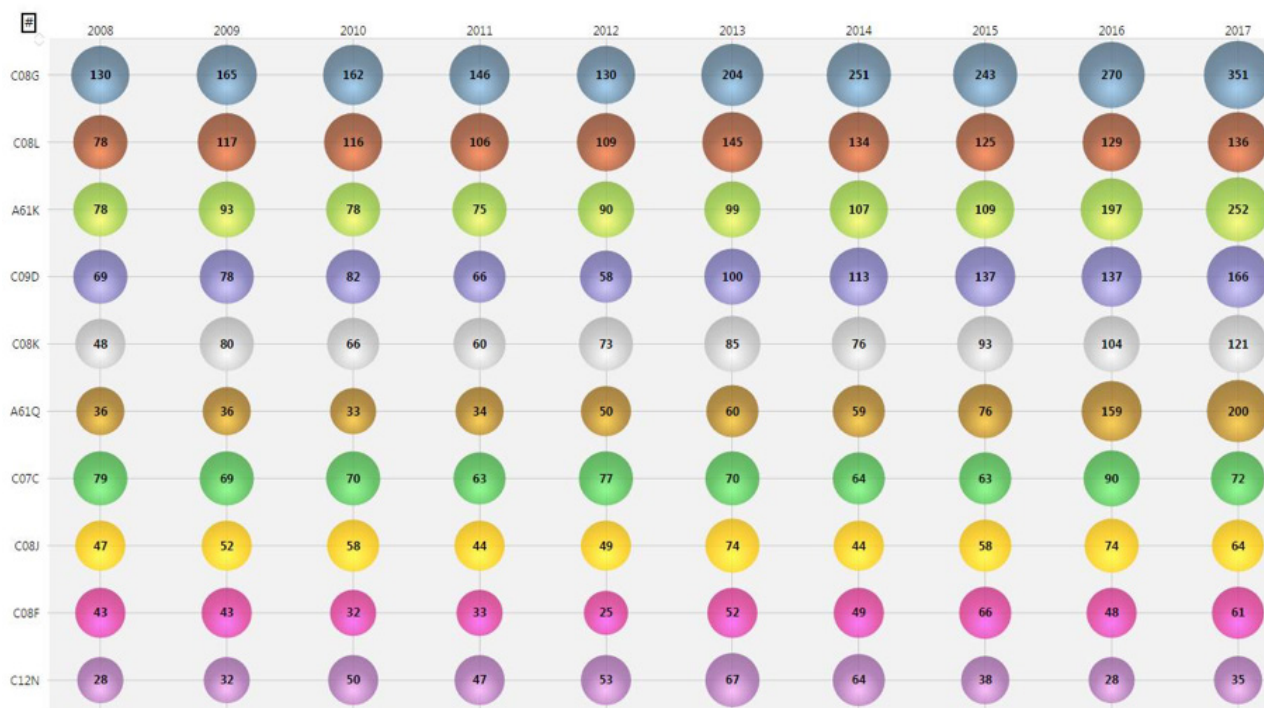


- 1,2-propanodiol (Figura 26): a produção de poliésteres, polióis e poliuretanos (CIP C08G) para a fabricação de tintas (CIP C09D) são os temas emergentes para esse composto. Aplicações desse álcool como solvente em tintas e revestimentos (CIP C09D) foram mais recorrentes a partir de 2015. O mesmo vale para o uso do álcool em composições médicas, odontológicas e higiênicas (CIP A61K), CIP que também apresentou crescimento expressivo a partir de 2015.



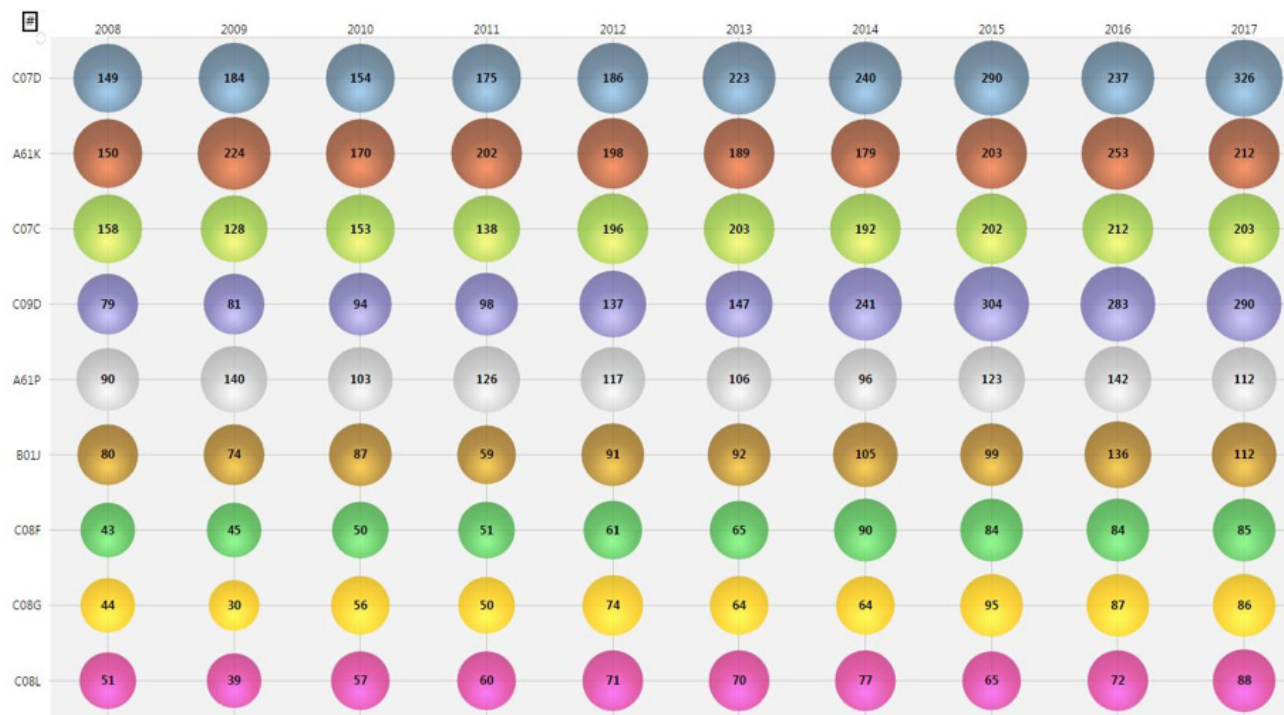
**Figura 26.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o álcool 1,2-propanodiol, entre os anos de 2008 e 2017.

- 1,3-propanodiol (Figura 27): a aplicação desse diol em polímeros como poliéteres, polialcanoatos e poliésteres tem emergido conforme pode ser visualizado na figura para a CIP C08G. Aplicações em higiene pessoal (CIP A61Q) e usos médicos, odontológicos e de higiene (CIP A61K) mostram aumentos significativos nos últimos anos, porém trata-se de uma mudança muito recente para se inferir, com algum grau de segurança, se o fenômeno prosseguirá nos próximos anos.



**Figura 27.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o álcool 1,3-propanodiol, entre os anos de 2008 e 2017.

- 1-propanol (Figura 28): esse composto é empregado na síntese e na composição de compostos acíclicos, carbocíclicos (CIP C07C) e heterocíclicos (CIP C07D). Assim como os demais álcoois descritos até o momento, destaca-se o uso em composições médicas, odontológicas e higiênicas (CIP A61K) e em tintas e revestimentos (CIP C09D). Esta última CIP apresenta crescimento acentuado de 2014 a 2015, apresentando pequena redução nos anos seguintes, de 2016 a 2017.



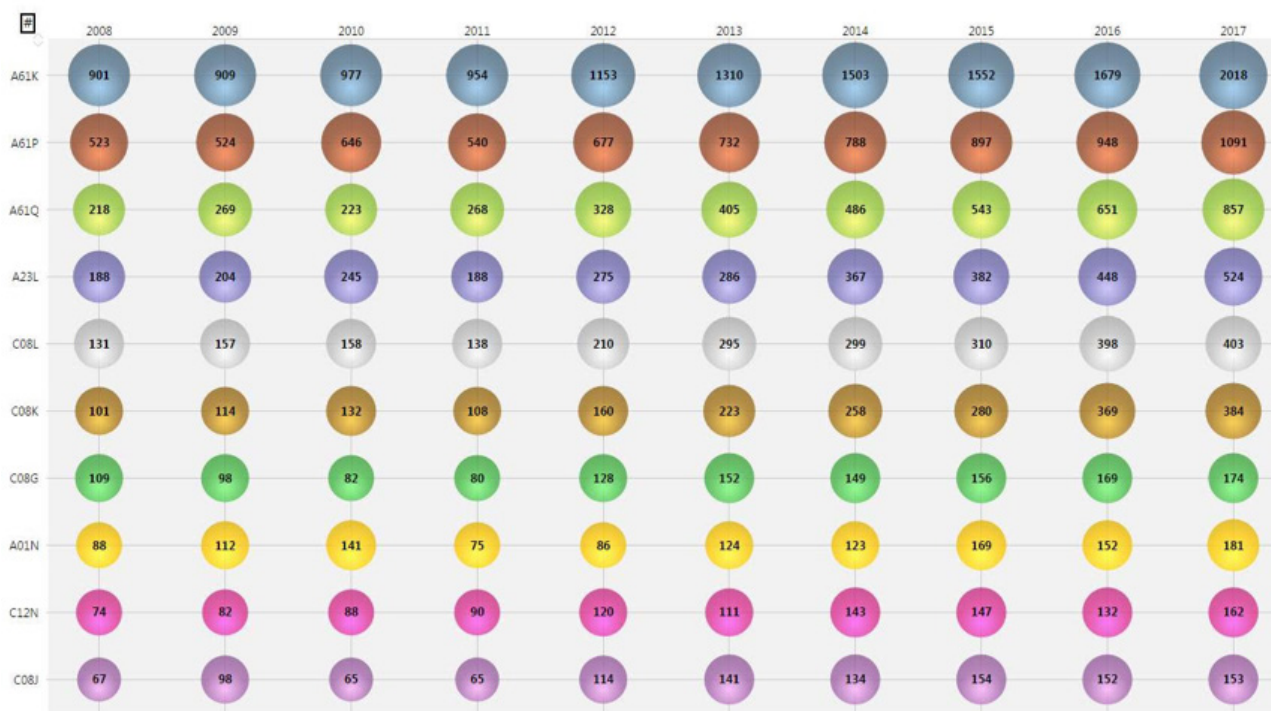
**Figura 28.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o álcool 1-propanol, entre os anos de 2008 e 2017.

- Ribitol (Figura 29): esse composto apresenta alta ocorrência em composições médicas, odontológicas ou higiênicas (CIP A61K). As baixas contagens no gráfico das CIPs de 8 dígitos, entretanto, não permitiram apontar sinais de crescimentos em outras áreas tecnológicas.



**Figura 29.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o ribitol, entre os anos de 2008 e 2017.

- Sorbitol (Figura 30): nos últimos 7 anos (2011-2017), os depósitos de patentes para o composto têm se concentrado na área médica, odontológica e farmacêutica (CIP A61K). A CIP A61P, referente a atividades terapêuticas de compostos químicos ou preparações medicinais, apresenta crescimento expressivo de 2012 a 2017. Nesse período, há indícios de que haveria aumento especialmente na área de higiene (CIP A61Q), porém o número de registros ainda é pequeno em relação às CIPs mais recorrentes para o sorbitol. Em relação ao primeiro ano de avaliação, 2008, não foram encontrados números significativos de ocorrência de CIPs em depósitos de patentes para o sorbitol, sendo esse ano desconsiderado no gráfico a seguir.



**Figura 30.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o sorbitol, entre os anos de 2009 e 2017.

- Treitol (Figura 31): apresentou crescimento bastante acentuado para aplicações com finalidades médicas, odontológicas ou higiênicas (CIP A61K). Entretanto, embora os valores sejam altos, ainda oscilam bastante no período. Os demais valores não são significativos para as CIPs restantes no gráfico.



**Figura 31.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o treitol, entre os anos de 2008 e 2017.

- Xilitol (Figura 32): assim como muitos álcoois discutidos acima, os depósitos de patentes concentram-se na área médica, higiênica e odontológica (CIPs A61K e A61P). Nos últimos 4 anos, houve aumento de documentos patentários relacionados à indústria de alimentos (CIP A23L).



**Figura 32.** Evolução das classificações internacionais de patentes de 4 dígitos para o xilitol, entre os anos de 2008 e 2017.

## Considerações Finais

Neste estudo foram apresentados dados que possibilitam identificar mercados e perspectivas de álcoois passíveis de serem obtidos a partir de matérias-primas renováveis, especificamente glicose e xilose. Entre os álcoois identificados, o etanol, o metanol, o etilenoglicol e o glicerol são aqueles que mais se encontram em produções científicas e tecnológicas publicadas no período de 2008 a 2017.

A análise dos documentos recuperados, por meio da leitura de resumos e de análise quantitativa, mostra que muitos deles são potenciais substitutos para o etanol, atuando como biocombustíveis. Entre eles, destacam-se o 2,3-butanodiol, o 1-hexanol, o isopentanol e o 1-propanol; porém, barreiras técnicas e custos elevados de produção não tornaram viável a substituição do etanol até o momento. Sabe-se que o mercado de combustível é muito atrativo e as empresas direcionam esforços no desenvolvimento de novos processos envolvendo álcoois. Porém, nota-se que as pesquisas aplicadas, aqui representadas por documentos de patentes, apontam que esses álcoois estão sendo direcionados a outros segmentos de mercado, principalmente como intermediários e ingredientes de composições médicas, odontológicas, higiênicas e tintas.

Para os álcoois com hidroxilas em suas cadeias carbônicas, as maiores perspectivas concentram-se na obtenção de polímeros como os poliésteres. Todas essas aplicações compreendem um mercado que tem se expandido, identificando um sinal forte nos documentos de patentes, segundo a análise patentométrica performada.

Os álcoois de açúcar, como xilitol, sorbitol, manitol e eritritol, seguem o perfil destinado à indústria médica, odontológica e farmacêutica. O xilitol é o único que se encontra em muitos documentos voltados para aplicações alimentícias.

Nota-se, ainda, pela análise dos dados coletados, que há grande utilização de processos bioquímicos com o emprego de microrganismos fermentadores ou enzimas, em detrimento dos processos químicos, para a produção dos álcoois estudados. Dessa forma, é possível inferir que há uma tendência no mercado à busca por rotas biológicas e por fontes renováveis para a produção de diversos compostos mencionados neste documento.

Diante das informações recuperadas, percebe-se que há uma expansão do mercado dos álcoois, tradicionalmente alocados para biocombustíveis, para áreas externas a essa commodity, áreas nas quais esses compostos têm maior valor comercial. Conclui-se também que a alocação de esforços para o desenvolvimento de processos que adotem rotas biológicas pelas empresas tem crescido ao longo dos anos avaliados, sendo importante tendência a se acompanhar em publicações científicas, patentárias e no mercado.

## Referências

- AHMAD, Z. S.; MUNAIM, M. S. A. Effect of time, moisture content, and substrate amount on sorbitol production using entrapment of *Lactobacillus plantarum* (BAA-793) in sodium alginate beads. **Food Bioscience**, v. 21, p. 27-33, 2018.
- ATSUMI, S.; CANN, A. F.; CONNOR, M. R.; SHEN, C. R.; SMITH, K. M.; BRYNILDSEN, M. P.; CHOU, K. J. Y.; HANAI, T.; LIAO, J. C. Metabolic engineering of *Escherichia coli* for 1-butanol production. **Metabolic Engineering**, v. 10, n. 6, p. 305-311, 2008.
- ATSUMI, S.; WU, T.-Y.; ECKL, E.-M.; HAWKINS, S. D.; BUELTER, T.; LIAO, J. C. Engineering the isobutanol biosynthetic pathway in *Escherichia coli* by comparison of three aldehyde reductase/alcohol dehydrogenase genes. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 85, n. 3, p. 651-657, 2010.
- BECKER, J.; WITTMANN, C. Bio-based production of chemicals, materials and fuels – *Corynebacterium glutamicum* as versatile cell factory. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 23, n. 4, p. 631-640, 2012.
- BRAGA, M.; FERREIRA, P. M.; ALMEIDA, J. R. M. Screening method to prioritize relevant bio-based acids and their biochemical processes using recent patent information. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 15, n. 1, p. 231-249, 2021.
- BURGARD, A.; BURK, M. J.; OSTERHOUT, R.; DIEN, S. van; YIM, H. Development of a commercial scale process for production of 1,4-butanediol from sugar. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 42, p. 118-125, 2016.
- CAVANI, F.; ALBONETTI, S.; BASILE, F.; GANDINI, A. (ed.). **Chemicals and fuels from bio-based building blocks**. Weinheim: Wiley-VCH, 2016.
- CHEN, C. T.; LIAO, J. C. Frontiers in microbial 1-butanol and isobutanol production. **FEMS Microbiology Letters**, v. 363, n. 5, p. 1-13, 2016.
- CHEN, X.; ZHANG, D.-J.; QI, W.-T.; GAO, S.-J.; XIU, X.-L.; XU, P. Microbial fed-batch production of 1,3-propanediol by *Klebsiella pneumoniae* under micro-aerobic conditions. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 63, n. 2, p. 143-146, 2003.
- CHOI, Y. J.; LEE, J.; JANG, Y.-S.; LEE, S. Y. Metabolic engineering of microorganisms for the production of higher alcohols. **MBio**, v. 5, n. 5, p. 1-10, 2014.
- CHRISTOPH, R.; SCHMIDT, B.; STEINBERNER, U.; DILLA, W.; KARINEN, R. Glicerol. In: ULLMANN'S encyclopedia of industrial chemistry. Weinheim: Wiley-VCH, 2000. p. 16.
- DERWENT INNOVATIONS INDEX. 2019. Disponível em: <https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/webofscience-derwent-innovation-index/>. Acesso em: 14 abr. 2021.
- DU, J.; SHAO, Z.; ZHAO, H. Engineering microbial factories for synthesis of value-added products. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 38, n. 8, p. 873-890, 2011.
- EUROPEAN COMMISSION. **Drop-in chemicals**. 2018. Disponível em: [https://knowledge4policy.ec.europa.eu/node/9170\\_ro](https://knowledge4policy.ec.europa.eu/node/9170_ro). Acesso em: 14 abr. 2021.



- FALBE, J.; BAHRMANN, H.; LIPPS, W.; MAYER, D.; FREY, G. D. Alcohols, aliphatic. In: ULLMANN'S encyclopedia of industrial chemistry. Weinheim: Wiley-VCH, 2005. p. 28.
- FELPETO-SANTERO, C.; ROJAS, A.; TORTAJADA, M.; GALÁN, B.; RAMÓN, D.; GARCÍA, J. L. Engineering alternative isobutanol production platforms. **AMB Express**, v. 5, n. 1, p. 32, 2015.
- FUJISAWA, T.; FUJINAGA, S.; ATOMI, H. An *in vitro* enzyme system for the production of *myo*-Inositol from starch. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 83, n. 16, p. 14, 2017.
- GALLO, J. M. R.; TRAPP, M. A. The chemical conversion of biomass-derived saccharides: an overview. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 28, n. 9, p. 1586-1607, 2017.
- GHAZIASKAR, H. S.; XU, C. C. One-step continuous process for the production of 1-butanol and 1-hexanol by catalytic conversion of bio-ethanol at its sub-/supercritical state. **RSC Advances**, v. 3, n. 13, p. 4271-4280, 2013.
- GHIACI, P.; NORBECK, J.; LARSSON, C. 2-Butanol and butanone production in *Saccharomyces cerevisiae* through combination of a B12dependent dehydratase and a secondary alcohol dehydrogenase using a TEV-based expression system. **PLoS ONE**, v. 9, n. 7, p. 7, 2014.
- GOMES, G. C. C. Métodos de preparação industrial de solventes e reagentes químicos. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 6, p. 2138-2146, 2016.
- GRANSTRÖM, T. B.; IZUMORI, K.; LEISOLA, M. A rare sugar xylitol: part II: biotechnological production and future applications of xylitol. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 74, n. 2, p. 273-276, 2007.
- HAHN, H.-D.; DÄMBKES, G.; RUPPRICH, N.; BAHL, H. Butanols. In: ULLMANN'S encyclopedia of industrial chemistry. 7. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2012. p. 14.
- HANAI, T.; ATSUMI, S.; LIAO, J. C. Engineered synthetic pathway for isopropanol production in *Escherichia coli*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 73, n. 24, p. 7814-7818, 2007.
- HIROKAWA, Y.; DEMPO, Y.; FUKUSAKI, E.; HANAI, T. Metabolic engineering for isopropanol production by an engineered cyanobacterium, *Synechococcus elongatus* PCC 7942, under photosynthetic conditions. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 123, n. 1, p. 39-45, 2017.
- HÖFER, R. Sugar- and starch-based biorefineries. In: PANDEY, A.; HÖFER, R.; TAHERZADEH, M.; NAMPOOTHIRI, K. M.; LARROCHE, C. (ed.). **Industrial biorefineries and white biotechnology**. Amsterdam: Elsevier, 2015. p. 157-235.
- HOSSAIN, G. S.; LIU, L.; DU, G. Industrial bioprocess and biorefinery concept. In: LARROCHE, C. et al. (ed.). **Current developments in biotechnology and bioengineering**. Amsterdam: Elsevier, 2017. p. 3-27.
- JI, X. J.; HUANG, H.; OUYANG, P. K. Microbial 2,3-butanediol production: a state-of-the-art review. **Biotechnology Advances**, v. 29, n. 3, p. 351-364, 2011.
- JONG, E. de; HIGSON, A.; WALSH, P.; WELLISCH, M. **Bio-based chemicals**: value added products from biorefineries. Wageningen: IEA Bioenergy, 2012. 33 p. (IEA Bioenergy. Task42 Biorefinery). Disponível em: <http://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/10/Task-42-Biobased-Chemicals-value-added-products-from-biorefineries.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2016.
- JONG, E. de; STICHNOTHE, H.; BELL, G.; JORGENSEN, H. **Bio-based chemicals**: a 2020 update. [Wageningen]: IEA Bioenergy, 2020. 78 p.
- KAMM, B.; GRUBER, P. R.; KAMM, M. (ed.). **Biorefineries-industrial processes and products**: status quo and future directions. Weinheim: Wiley-VCH, 2008.
- KANG, K. H.; HONG, U. G.; BANG, Y.; CHOI, J. H.; KIM, J. K.; LEE, J. K.; HAN, S. J.; SONG, I. K. Hydrogenation of succinic acid to 1,4-butanediol over Re-Ru bimetallic catalysts supported on mesoporous carbon. **Applied Catalysis A: General**, v. 490, p. 153-162, 2015.
- KORDOWSKA-WIATER, M. Production of arabitol by yeasts: current status and future prospects. **Journal of Applied Microbiology**, v. 119, n. 2, p. 303-314, 2015.
- KUBICEK, C. P. **Fungi and lignocellulosic biomass**. Ames: Wiley-Blackwell, 2013. 304 p. (Biomass and Biofuels Series).
- KUMDAM, H.; MURTHY, S. N.; GUMMADI, S. N. Arabitol production by microbial fermentation: biosynthesis and future applications. **International Journal of Sciences: Basic and Applied Research**, v. 1, n. 1, p. 12, 2014.
- LAPPE, P.; HOFMANN, T. Pentanols. In: ULLMANN'S encyclopedia of industrial chemistry. Weinheim: Wiley-VCH, 2005. p. 14.

- LAU, M. W.; GUNAWAN, C.; BALAN, V.; DALE, B. E. Comparing the fermentation performance of *Escherichia coli* KO11, *Saccharomyces cerevisiae* 424A(LNH-ST) and *Zymomonas mobilis* AX101 for cellulosic ethanol production. **Biotechnol Biofuels**, v. 3, n. 11, p. 1-10, May 2010. DOI 10.1186/1754-6834-3-11.
- LI, B.-Z.; BALAN, V.; YUAN, Y.-J.; DALE, B. E. Process optimization to convert forage and sweet sorghum bagasse to ethanol based on ammonia fiber expansion (AFEX) pretreatment. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 4, p. 1285-1292, 2010.
- LI, L.; ZHANG, H.; FU, J.; HU, C.; ZHENG, Y.; QIU, Y. Enhancement of ribitol production during fermentation of *Trichosporonoides oedocephalis* ATCC 16958 by optimizing the medium and altering agitation strategies. **Biotechnology and Bioprocess Engineering**, v. 17, n. 2, p. 236-241, 2012.
- LIU, H.-J.; ZHANG, D.-J.; XU, Y.-H.; MU, Y.; SUN, Y.-Q.; XIU, Z.-L. Microbial production of 1,3-propanediol from glycerol by *Klebsiella pneumoniae* under micro-aerobic conditions up to a pilot scale. **Biotechnology Letters**, v. 29, n. 8, p. 1281-1285, 2007.
- LIU, L.; REDDEN, H.; ALPER, H. S. Frontiers of yeast metabolic engineering: diversifying beyond ethanol and *Saccharomyces*. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 24, n. 6, p. 1023-1030, 2013.
- MACEDO, N.; BRIGHAM, C. J. From beverages to biofuels: the journeys of ethanol-producing microorganisms. **International Journal of Biotechnology for Wellness Industries**, v. 3, n. 3, p. 79-87, 2014.
- MANDALIKA, A.; QIN, L.; SATO, T. K.; RUNGE, T. Integrated biorefinery model based on production of furans using open-ended high yield processes. **Green Chemistry**, v. 16, n. 5, p. 2480-2489, 2014.
- MARQUES, C.; TAREK, R.; SARA, M.; BRAR, S. K. Sorbitol Production From Biomass and Its Global Market. **Platform Chemical Biorefinery**, p. 217-227, jan. 2016.
- MIAO, R.; LIU, X.; ENGLUND, E.; LINDBERG, P.; LINDBLAD, P. Isobutanol production in *Synechocystis* PCC 6803 using heterologous and endogenous alcohol dehydrogenases. **Metabolic Engineering Communications**, v. 5, p. 45-43, 2017.
- MOHAMAD, N. L.; KAMAL, S. M. M.; MOKHTAR, M. N. Xylitol biological production: a review of recent studies. **Food Reviews International**, v. 31, n. 1, p. 74-89, 2015.
- NDABA, B.; CHIYANZU, I.; MARX, S. *n*-Butanol derived from biochemical and chemical routes: a review. **Biotechnology Reports**, v. 8, p. 1-9, 2015.
- NEIER, W.; STREHLKE, G. 2-butanona. In: ULLMANN'S encyclopedia of industrial chemistry. Weinheim: Wiley-VCH, 2005. p. 8.
- NOMANBHAY, S.; HUSSEIN, R.; ONG, M. Y. Sustainability of biodiesel production in Malaysia by production of bio-oil from crude glycerol using microwave pyrolysis: a review. **Green Chemistry Letters and Reviews**, v. 11, n. 2, p. 135-157, 2018.
- NURMI, L.; JAATINEN, S.; SALEEM, F.; ASIKAINEN, M.; KALLIOLA, A.; MORI, E.-. H.; KARINEN, R.; LEHTONEN, J.; LINNEKOSKI, J.; MURZIN, D. **From biomass to value-added furan-based platform chemicals**: Furchem and CatBio roadmap. Espoo: VTT, 2018. 88 p. (VTT Technology, 326). Disponível em: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2018/T326.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2018.
- O'NEIL, M. J.; HECKELMAN, P. E.; KOCH, C. B.; ROMAN, K. J. (ed.). **The Merck Index**: an encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals. 5. ed. New Jersey: RSC, 2006. 2564 p.
- OKONKWO, C. C.; UJOR, V. C.; MISHRA, P. K.; EZEJI, T. C. Process development for enhanced 2,3-Butanediol production by *Paenibacillus polymyxa* DSM 365. **Fermentation**, v. 3, n. 2, p. 18, 2017.
- OLIVEIRA, A. B. **Análise prospectiva da utilização de uma usina como plataforma para uma biorefinaria**. 2010. 112 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo.
- PAGLIARO, M.; CIRIMINNA, R.; KIMURA, H.; ROSSI, M.; PINA, C. D. Recent advances in the conversion of bioglycerol into value-added products. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 111, n. 8, p. 788-799, 2009.
- PANDEY, A.; HÖFER, R.; TAHERZADEH, M.; NAMPOOTHIRI, K. M.; LARROCHE, C. (ed.). **Industrial biorefineries and white biotechnology**. Amsterdam: Elsevier, 2015.
- PAPA, A. J. Propanols. In: ULLMANN'S encyclopedia of industrial chemistry. Weinheim: Wiley-VCH, 2005. p. 243-252.
- PAPANIKOLAOU, S.; FAKAS, S.; FICK, M.; CHEVALOT, I.; GALIOTOU-PANAYOTOU, M.; KOMAITIS, M.; MARC, I.; AGGELIS, G. Biotechnological valorisation of raw glycerol discharged after bio-diesel (fatty acid methyl esters) manufacturing process: Production of 1,3-propanediol, citric acid and single cell oil. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 1, p. 60-71, 2008.

PARK, Y.-C.; OH, E. J.; JO, J.-H.; JIN, Y.-S.; SEO, J.-H. Recent advances in biological production of sugar alcohols. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 37, p. 105-113, 2016.

PEREIRA, J. P. C.; LOPEZ-GOMEZ, G.; REYES, N. G.; WIELEN, L. A. M. van der; STRAATHOF, A. J. J. Prospects and challenges for the recovery of 2-butanol produced by vacuum fermentation – a techno-economic analysis. **Biotechnology Journal**, v. 12, n. 7, p. 1-13, 2017.

PEREZ, R. F.; FRAGA, M. A. Hemicellulose-derived chemicals: one-step production of furfuryl alcohol from xylose. **Green Chemistry**, v. 16, n. 8, p. 3942-3950, 2014.

PHILP, J. C. Biobased chemicals and bioplastics: finding the right policy balance. **Industrial Biotechnology**, v. 10, n. 6, p. 379-383, 2014.

POLEN, T.; SPELBERG, M.; BOTT, M. Toward biotechnological production of adipic acid and precursors from biorenewables. **Journal of Biotechnology**, v. 167, n. 2, p. 75-84, 2013.

PUBCHEM. **Isopentanol**. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/31260>. Acesso em: 10 fev. 2018.

QUISPE, C. A. G.; CORONADO, C. J. R.; CARVALHO-JR, J. A. Glycerol: production, consumption, prices, characterization and new trends in combustion. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 475-493, Nov. 2013. DOI 10.1016/j.rser.2013.06.017.

RAJAGOPAL, R. **Sustainable value creation in the fine and speciality chemicals industry**. [Mumbai: KnowGenix], 2014. 312 p.

RIBEIRO, L. S.; DELGADO, J. J.; ÓRFÃO, J. J. de M.; PEREIRA, M. F. R. Direct conversion of cellulose to sorbitol over ruthenium catalysts: influence of the support. **Catalysis Today**, v. 279, part 2, p. 244-251, 2017a.

RIBEIRO, L. S.; ÓRFÃO, J. J. de M.; PEREIRA, M. F. R. Direct catalytic production of sorbitol from waste cellulosic materials. **Bioresource Technology**, v. 232, p. 152-158, 2017b.

RUIZ RODRÍGUEZ, L. G.; ALLER, K.; BRU, E.; VUYST, L. D.; HÉBERT, E. M.; MOZZI, F. Enhanced mannitol biosynthesis by the fruit origin strain *Fructobacillus tropaeoli* CRL 2034. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 101, n. 15, p. 6165-6177, 2017.

RZECHONEK, D. A.; DOBROWOLSKI, A.; RYMOWICZ, W.; MIRONCZUK, A. M. Recent advances in biological production of erythritol. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 38, n. 4, p. 620-633, 2018.

SAHA, B. C.; RACINE, F. M. Effects of pH and corn steep liquor variability on mannitol production by *Lactobacillus intermedius* NRRL B-3693. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 87, n. 2, p. 553-560, 2010.

SALUSJÄRVI, L.; TOIVARI, M.; VEHKOMÄKI, M.-L.; KOIVISTOINEN, O.; MOJZITA, D.; NIEMELÄ, M.; RUOHONEN, L. Production of ethylene glycol or glycolic acid from D-xylose in *Saccharomyces cerevisiae*. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 101, n. 22, p. 8151-8163, 2017.

SÁNCHEZ-RIERA, F.; CAMERON, D. C.; COONEY, C. L. Influence of environmental factors in the production of R(-)-1,2-propanediol by *Clostridium thermosaccharolyticum*. **Biotechnology Letters**, v. 9, n. 7, p. 449-454, 1987.

SAXENA, R. K.; ANAND, P.; SARAN, S.; ISAR, J.; AGARWAL, L. Microbial production and applications of 1,2-propanediol. **Indian Journal of Microbiology**, v. 50, p. 2-11, 2010.

SCHIWECK, H.; BÄR, A.; VOGEL, R.; SCHWARZ, E.; KUNZ, M.; DUSAUTOIS, C.; CLEMENT, A.; LEFRANC, C.; LÜSSEM, B.; MOSER, M.; PETERS, S. Sugar Alcohols. In: ULLMANN'S encyclopedia of industrial chemistry. Weinheim: Wiley-VCH, 2005. p. 413-432.

SCHULZE, J.; HOMANN, M. **C4-Hydrocarbons and derivatives, resources, production, marketing**. Berlin: Springer-Verlag, 1989.

SHAH, M.; DAI, J.-J.; GUO, Q.-X.; FU, Y. Products and production routes for the catalytic conversion of seed oil into fuel and chemicals: a comprehensive review. **Science China Chemistry**, v. 58, n. 7, p. 1110-1121, 2015.

SHRIVASTAV, A.; LEE, J.; KIM, H.-Y.; KIM, Y.-R. Recent insights in the removal of *Klebsiella* pathogenicity factors for the industrial production of 2,3-butanediol. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 23, n. 7, p. 885-896, 2013.

SILVEIRA, M.; JONAS, R. The biotechnological production of sorbitol. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 59, n. 4/5, p. 400-408, 2002.

STÖCKER, M. Biofuels and biomass-to-liquid fuels in the biorefinery: catalytic conversion of lignocellulosic biomass using porous materials. **Angewandte Chemie**, v. 47, n. 48, p. 9200-9211, 2008. International edition.

STRAATHOF, A. J. J. Transformation of biomass into commodity chemicals using enzymes or cells. **Chemical Reviews**, v. 114, n. 3, p. 1871-1908, 2014.

- STRAATHOF, A. J. J.; BAMPOULI, A. Potential of commodity chemicals to become bio-based according to maximum yields and petrochemical prices. **Biofuels, Bioproducts & Biorefining**, v. 11, n. 5, p. 798-810, 2017.
- SU, H.; ZHAO, Y.; JIANG, J.; LU, Q.; LI, Q.; LUO, Y.; ZHAO, H.; WANG, M. Use of duckweed (*Landoltia punctata*) as a fermentation substrate for the production of higher alcohols as biofuels. **Energy & Fuels**, v. 28, n. 5, p. 3206-3216, 2014.
- SULLIVAN, C. J. Propanediols. In: ULLMANN's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Weinheim: Wiley-VCH, 2005. p. 9.
- TAMURA, M.; LIU, S.; OKUYAMA, Y.; NAKAGAWA, Y.; IMAI, A.; TOMISHIGE, K. Production of renewable hexanols from mechanocatalytically depolymerized cellulose by using Ir-ReOx/SiO<sub>2</sub> catalyst. **ChemSusChem**, v. 8, n. 4, p. 628-635, 2015.
- TANG, X.; TAN, Y.; ZHU, H.; ZHAO, K.; SHEN, W. Microbial conversion of glycerol to 1,3-propanediol by an engineered strain of *Escherichia coli*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 75, n. 6, p. 1628-1634, 2009.
- TASHIRO, Y.; RODRIGUEZ, G. M.; ATSUMI, S. 2-Keto acids based biosynthesis pathways for renewable fuels and chemicals. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 42, n. 3, p. 361-373, 2015.
- TAYLOR, R.; NATTRASS, L.; ALBERTS, G.; ROBSON, P.; CHUDZIAK, C.; BAUEN, A.; LIBELLI, I. M.; LOTTI, G.; PRUSSI, M.; NISTRÌ, R.; CHIARAMONTI, D.; CONTRERAS, A. L.; BOS, H.; EGGINK, G.; SPRINGER, J.; BAKKER, R.; REE, R. van. **From the sugar platform to biofuels and biochemicals**: final report for the European Commission Directorate-General Energy. Wageningen: E4tech, 2015. (N° ENER/C2/423-2012/SI2.673791). Disponível em: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/EC\\_Sugar\\_Platform\\_final\\_report.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/EC_Sugar_Platform_final_report.pdf). Acesso em: 6 fev. 2017.
- TRINDADE, W. R. da S.; SANTOS, R. G. dos. Review on the characteristics of butanol, its production and use as fuel in internal combustion engines. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 69, p. 642-651, 2017.
- UNITED STATES. Environmental Protection Agency. **Presidential Green Chemistry Challenge**: award recipients: 1996-2016. [Washington, DC], 1996-2016.
- VASARA, A. **Creating bioeconomic growth**. Finland: VTT Technical Research Centre, 2016. Disponível em: [http://www.vttresearch.com/Documents/events/Presentation\\_materials\\_Industrial\\_Biotechnology\\_Business\\_Seminar\\_2nd\\_June\\_2016.pdf](http://www.vttresearch.com/Documents/events/Presentation_materials_Industrial_Biotechnology_Business_Seminar_2nd_June_2016.pdf). Acesso em: 11 mar. 2017.
- VONGSUVANLERT, V.; TANI, Y. I-ditol production from l-sorbose by a methanol yeast, *Candida boidinii* (*Kloeckera* sp.) No. 2201. **Journal of Fermentation Technology**, v. 66, n. 5, p. 517-523, 1988.
- WAGEMANN, K.; TIPPKÖTTER, N. Biorefineries: a short introduction. In: WAGEMANN, K.; TIPPKÖTTER, N. (ed.). **Biorefineries**. Cham: Springer, 2018. p. 1-11. (Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology, 166).
- WEB OF SCIENCE. Disponível em: [https://apps.webofknowledge.com/WOS\\_GeneralSearch\\_input.do?product=WOS&search\\_mode=GeneralSearch&SID=6FQROpY3rdr2Q51R9DV&preferencesSaved=](https://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=6FQROpY3rdr2Q51R9DV&preferencesSaved=). Acesso em: 14 abr. 2021.
- WEISSERMEL, K.; ARPE, H.-J. **Industrial organic chemistry**. 4. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2003. 511 p.
- WERPY, T.; PETERSEN, G. (ed.). **Top value added chemicals from biomass** : volume I: results of screening for potential candidates from sugars and synthesis gas energy efficiency and renewable energy. [Oak Ridge]: NREL, 2004. 67 p.
- XU, Y. Z.; GUO, N.-N.; ZHENG, Z.-M.; OU, X.-J.; LIU, H.-J.; LIU, S.-H. Metabolism in 1,3-propanediol fed-batch fermentation by a D-lactate deficient mutant of *Klebsiella pneumoniae*. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 104, n. 5, p. 965-972, 2009.
- YOSHIHARA, A.; HARAGUCHI, S.; GULLAPALLI, P.; RAO, D.; MORIMOTO, K.; TAKATA, G.; JONES, N.; JENKINSON, S. F.; WORMALD, M. R.; DWEK, R. A.; FLEET, G. W. J.; IZUMORI, K. Isomerization of deoxyhexoses: green bioproduction of 1-deoxy-d-tagatose from l-fucose and of 6-deoxy-d-tagatose from d-fucose using *Enterobacter agglomerans* strain 221e. **Tetrahedron: Asymmetry**, v. 19, n. 6, p. 739-745, 2008.
- ZHANG, A.; YANG, S.-T. Engineering propionibacterium acidipropionici for enhanced propionic acid tolerance and fermentation. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 104, n. 4, p. 766-773, 2009.
- ZHANG, J.; LYND, L. R. Ethanol production from paper sludge by simultaneous saccharification and co-fermentation using recombinant xylose-fermenting microorganisms. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 107, n. 2, p. 235-244, 2010.
- ZHANG, L.; GUO, Z.; CHEN, J.; XU, Q.; LIN, H.; HU, K.; GUAN, X.; SHEN, Y. Mechanism of 2,3-butanediol stereoisomers formation in a newly isolated *Serratia* sp. T241. **Scientific Reports**, v. 6, n. 19257, p. 1-12, 2016.

**Embrapa**

---

**Agroenergia**

