

BIOECONOMIA BRASILEIRA:

Panorama da produção científica nacional



Neste Número:

Metodologia Snowball

Visão geral das publicações em bioeconomia

Caracterização da rede: clusters temáticos

Cooperação com outros países

Instituições que mais publicam em bioeconomia

Considerações Finais

Esta é a segunda edição do boletim temático da bioeconomia que tem por objetivo analisar o panorama de produção científica da bioeconomia brasileira.

A primeira edição do boletim trouxe o panorama das publicações em âmbito mundial e incluiu uma análise brasileira, porém, a nível superficial. Esta edição visa aprofundar o tema da bioeconomia brasileira através do levantamento da produção científica nacional.

Esse boletim considera a seguinte definição de bioeconomia:

“A bioeconomia compreende toda a atividade econômica derivada de bioprocessos e bioprodutos que contribui para soluções eficientes no uso de recursos biológicos - frente aos desafios em alimentação, produtos químicos, materiais, produção de energia, saúde, serviços ambientais e proteção ambiental - que promovem a transição para um novo modelo de desenvolvimento sustentável e de bem-estar da sociedade”

(ODBio, 2020)

Nesta edição foi desenvolvida uma metodologia para acessar uma amostra mais robusta e representativa das publicações

nacionais. O desenvolvimento de uma metodologia específica foi necessário pelo fato de que a busca em bases científicas

pelos termos **bioeconomia** não captura toda a sua área de atuação por se tratar de um tema **novo** e **transversal**.

Metodologia - Snowball

A metodologia utilizada para a criação da rede de publicações científicas da bioeconomia brasileira foi baseada no método snowball. O snowball é empregado para gerar expressões de busca que permitam identificar produções científicas relacionadas a uma expressão nova e abrangente. Para gerar as novas expressões de busca foram utilizados os pares de palavras-chave que apare-

ciam em maior co-ocorrência na rede inicial, e para filtrar os artigos não relacionados com o tema foi utilizada a similaridade semântica entre os textos¹. O processo ocorreu da seguinte forma: inicialmente se gerou a rede de artigos brasileiros da base do Web of Science (WoS) que continham o termo “bioeconomy” (rede semente), em seguida foram identificados os pares de palavras-chave que

apareciam em maior nível de co-ocorrência e esses pares foram usados para novas buscas na base WoS. Esses novos artigos foram inseridos na rede inicial e se verificou quais os artigos se conectavam por similaridade semântica com a rede semente. Os artigos não conectados foram excluídos. Esse processo se repetiu por quatro vezes até que se verificou que não apareceram novos pares de palavras-chave².

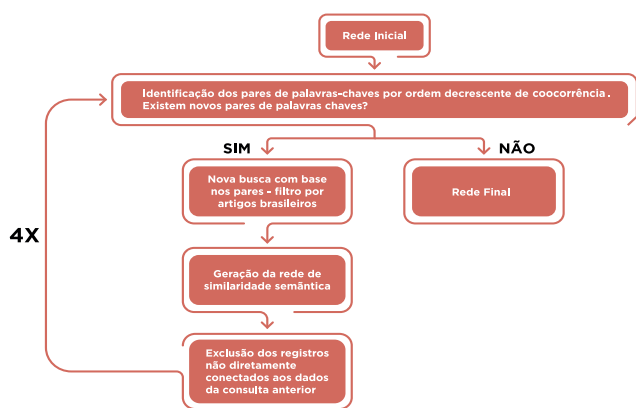


Figura 1: Metodologia Snowball.

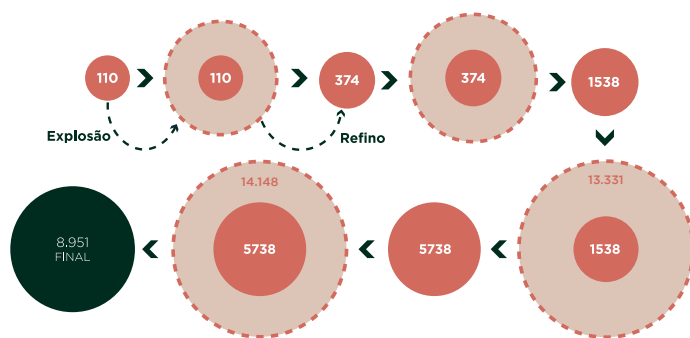


Figura 2: Evolução da quantidade de artigos.

1 Para mensurar o nível de similaridade semântica foram utilizados os textos do título, resumo e palavras-chave.
2 Para definir os pares de PCs que seriam selecionados, foi utilizado como critério os pares que possuíam valor de co-ocorrência de pelo menos metade do valor do par que apareceu em maior co-ocorrência.

A Figura 1 descreve esse processo. Na Figura 2 é possível observar em termos quantita-

tivos como foi a evolução do snowball. Os ciclos oscilam entre as “explosões” de artigos e o

“refino” feito através da análise de similaridade semântica com a rede anterior.

1. Visão Geral

A rede gerada a partir da metodologia do snowball permitiu o levantamento de 8.951 publicações brasileiras desde 1976 até 2021 que foram separadas em clusters temáticos (Figura 3). A Figura 4 apresenta a evolução do número de publicações científicas em bioeconomia ao longo dos anos a partir de 2006, onde observou-se o interesse crescente no tema. O menor número de publicações no ano de 2021 se dá pelo fato do levantamento levar em conta as publicações registradas no WoS até agosto de 2021.

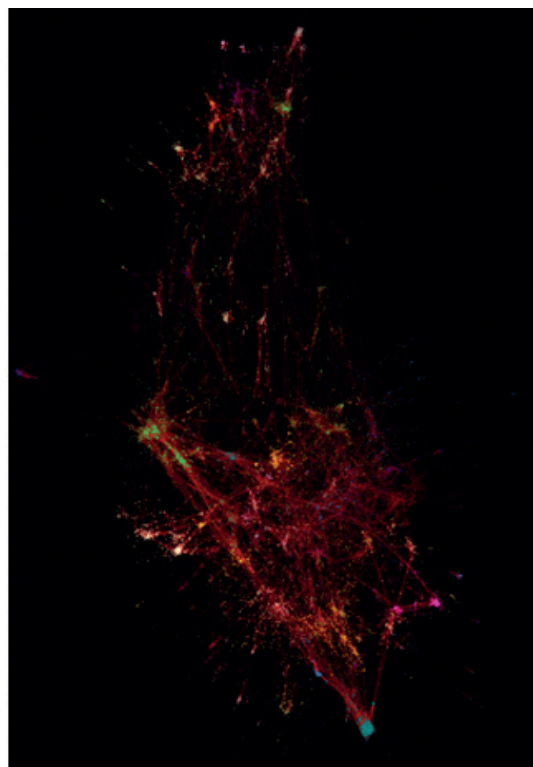


Figura 3: Rede bibliométrica de artigos brasileiros em bioeconomia.

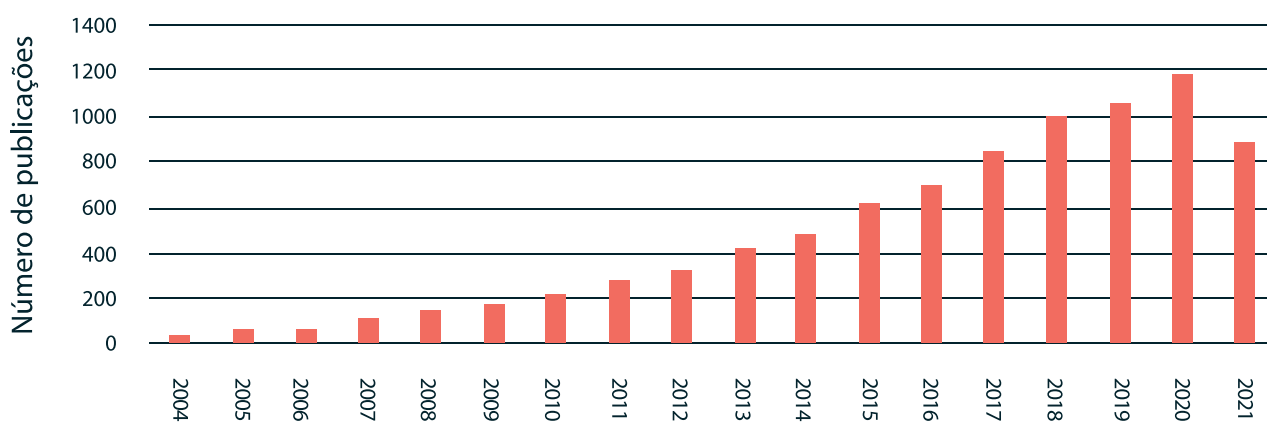


Figura 4: Número de publicações científicas em bioeconomia ao longo dos anos.

A Figura 5 apresenta a nuvem de palavras-chave da rede de publicações científicas. Observa-se que as duas palavras-chave mais citadas são **biomassa** e **sustentabilidade** (tabela 1). Essas duas palavras traduzem grande parte do próprio con-

ceito de bioeconomia que enfatiza o uso de recursos biológicos renováveis em prol de uma economia mais limpa. A terceira palavra-chave mais frequente é um clássico produto da bioeconomia brasileira – o **etanol**. Dentre o conjunto das palavras-

-chave mais citadas tem-se ainda referência a outros produtos, como o **biodiesel**, matérias-primas, como o **bagaço de cana de açúcar**, e processos, como a **fermentação**.

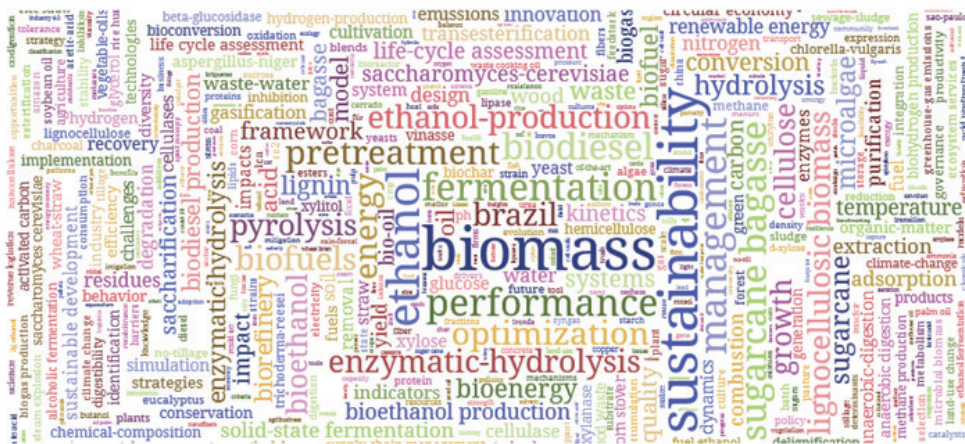


Figura 5: Nuvem de palavras-chave da rede completa.

Palavras - chave	Ocorrência
biomassa	1466
sustainability	1185
ethanol	799
management	604
performance	589
fermentation	589
sugarcane bagasse	556
biodiesel	527
pretreatment	474
energy	451

Tabela 1: Top 10 palavras-chave da rede completa.

Um primeiro exercício de caracterização da rede de artigos brasileiros em bioeconomia, pode ser feito ao analisar o formato da rede de similaridade semântica. A rede é construída de forma a agrupar temas semelhantes, assim, a forma como ela se estabelece indica possíveis áreas temáticas. Na Figura 6 é possível observar duas macrorregiões, uma superior

e uma inferior, conectadas por um conjunto de pequenos clusters. Uma investigação nessas macrorregiões apontou que a maior parte da rede – macrorregião inferior – trata de assuntos mais técnicos relacionados a processos de produção e transformação de biomassa em produtos da bioeconomia. Termos específicos de processos da bioeconomia brasileira po-

dem ser vistos dentre as palavras-chave mais citadas, como **fermentação**, **pré-tratamento**, **hidrólise enzimática** e **pirólise**. Assim como referências a matérias-primas, como **biomassa lignocelulósica** e **microalgas**, e produtos, como **etanol** e **bio-diesel**.

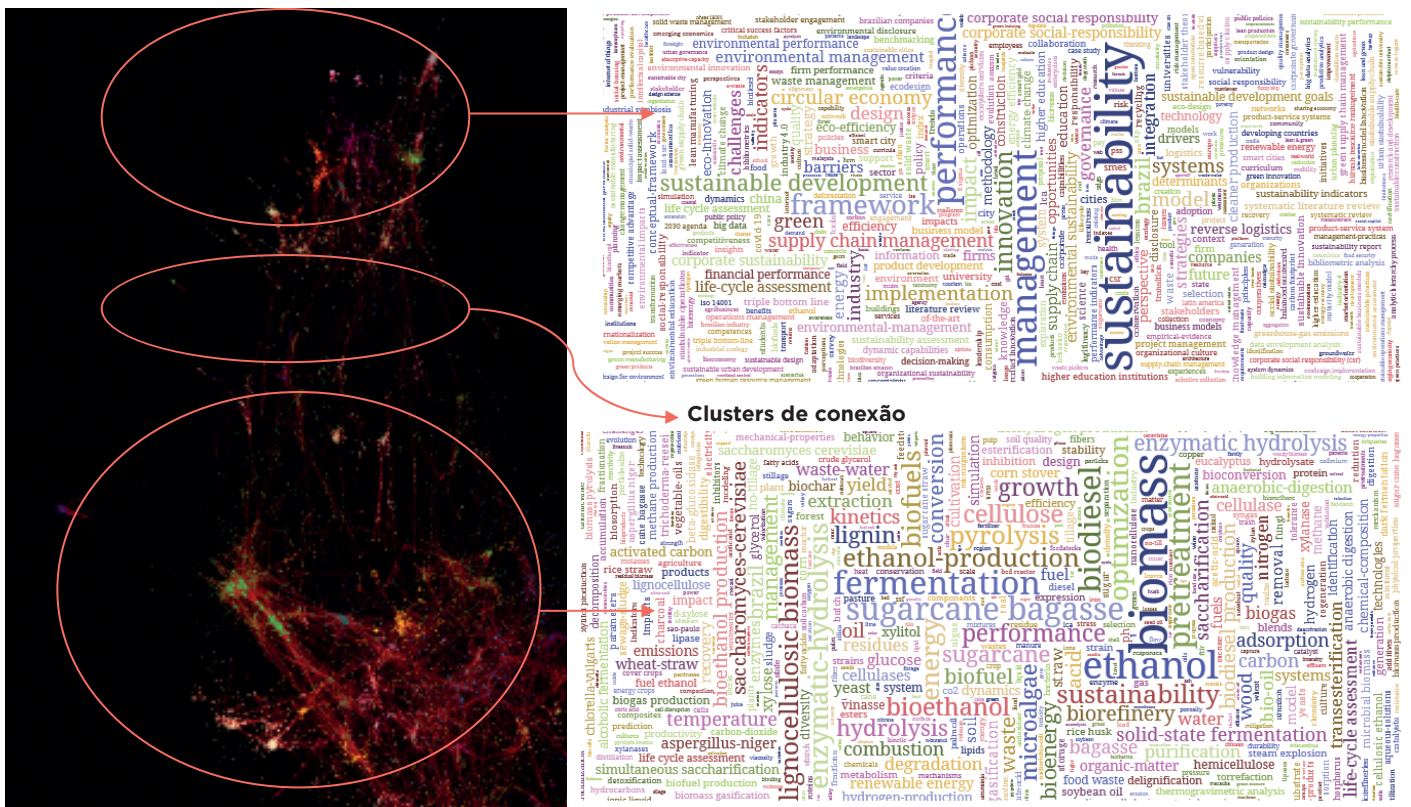


Figura 6: Macrorregiões da rede de publicações científicas brasileiras em bioeconomia.

Já a macrorregião superior apresenta assuntos voltados para gestão e inovação. Dentre as palavras-chave mais frequentes tem-se: **1. sustentabilidade, 2. gestão, 3. performance, 4.**

framework, 5. inovação. Outras palavras que também enfatizam um perfil diferente da macrorregião superior são: **indicadores, economia circular, governança, indústria** e **estratégia.** Vi-

sando explorar mais a fundo os temas da rede, a próxima seção apresentará uma discussão sobre 15 clusters temáticos.

2. Caracterização da rede: clusters temáticos

Para caracterizar a rede de publicações científica da bioeconomia brasileira foram selecionados os 15 maiores clusters

temáticos. Para cada clusters serão apresentados: descrição, nuvem de palavras-chave e gráfico de número de publicações

ao longo do tempo. A Figura 7 apresenta os clusters analisados.

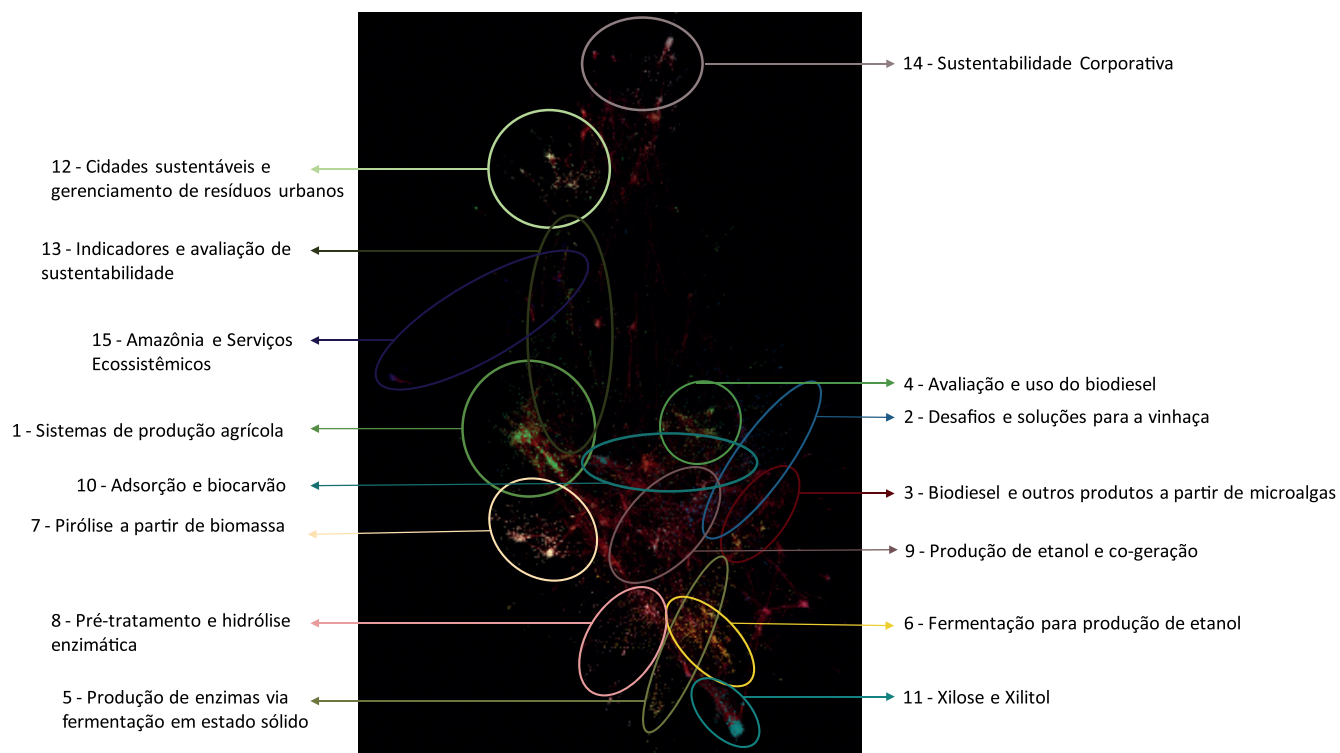


Figura 7: 15 clusters temáticos analisados.

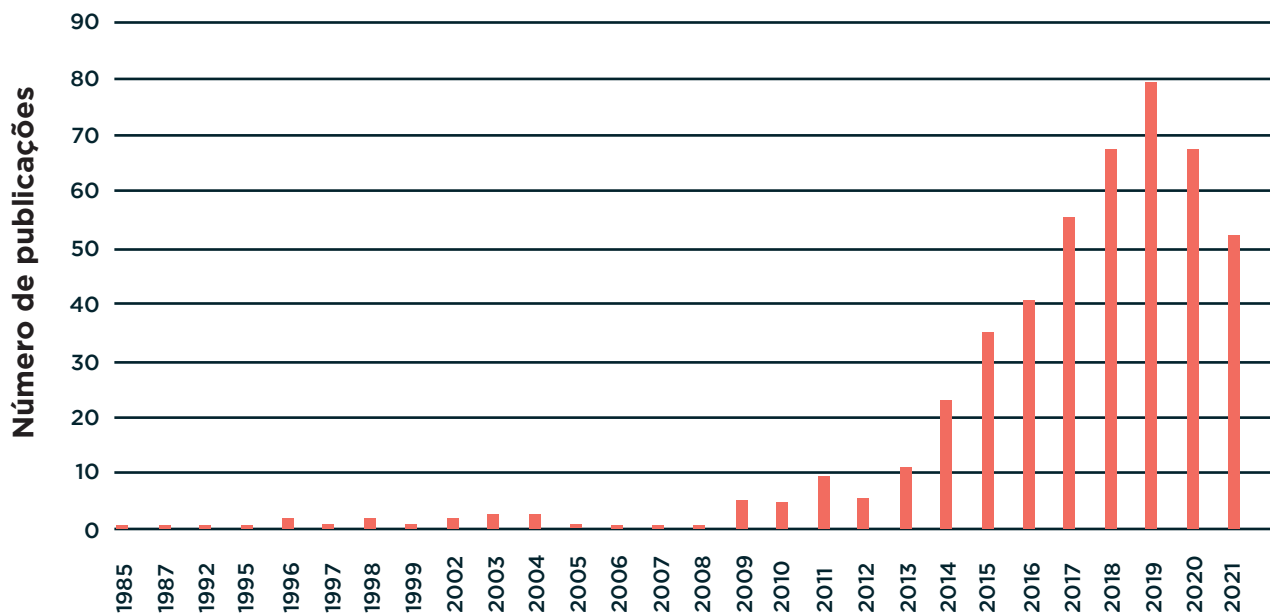
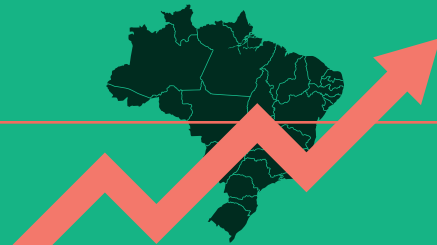


Figura 11: Número de publicações do cluster 2 ao longo do tempo.

Apesar da dispersão do cluster é possível analisá-lo por duas partes principais, a parte mais central a rede e a parte periférica à direita. A parte central do cluster 2 parece ter sido formada em torno do termo **vinhaça**³, com os artigos tratando principalmente de propostas de solução para a vinhaça produzida a partir da produção de etanol, tais como cultivo de microalgas, produção de biogás, produção

de lipídios e concentração por evaporação. Parte dos artigos ainda tratam de simulações e alternativas de otimização do processo de produção de etanol que inclui o uso ou tratamento da vinhaça. Uma outra parte trata de avaliar as consequências ambientais do descarte da vinhaça. Já a parte mais periférica do cluster parece ter sido mais influenciada por termos associados a **microalgas**.

Nesta parte do cluster são encontrados vários artigos sobre a produção de microalgas e a produção de biodiesel a partir delas. Apesar do cluster 2 ser mais novo do que o cluster 1 – começando a ter representatividade a partir de 2013 – o número de publicações cresceu rapidamente atingindo o pico no ano de 2019.

³ Foi a segunda palavra – não palavra-chave – mais citada do cluster 2. A primeira foi o termo mais genérico “produção”.

O cluster 3 é bastante próximo do cluster 2 principalmente na periferia da rede onde as regiões dos clusters se sobrepõem, o que justifica que neste cluster também tenham artigos que tratem da produção de biodiesel a partir de microalgas. Porém, ao contrário do clus-

ter 2 que parece ter a vinhaça como ponto focal do cluster, neste caso o ponto focal parece ser a produção de biodiesel a partir de microalgas. Dentre os temas mais frequentes no cluster tem-se: estudos sobre o potencial dos lipídeos das microalgas, produção de microalgas

via efluentes industriais e produção de biodiesel. O cluster 3 começou a ter uma relevância maior a partir de 2011, e apesar do crescimento geral no número de publicações, tem passado por oscilações a partir de 2014.

2.4. Cluster 4 – Avaliação e uso do biodiesel

O cluster 4 encontra-se na macrorregião inferior muito próximo ao cluster 2 e 3. Ele possui 390 artigos e é concentrado numa região mais periférica da rede. As Figuras 14 e 15 apresentam a nuvem de palavras-chave e o número de publicações do cluster ao longo do tempo, respectivamente.

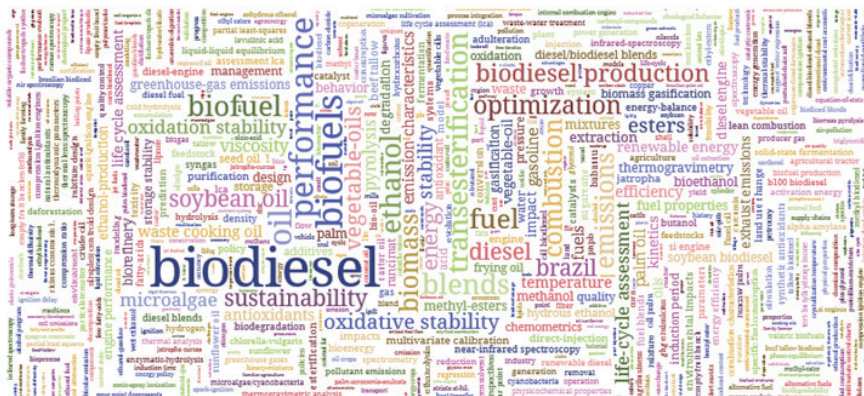


Figura 14: Nuvem de palavras-chave do cluster 4.

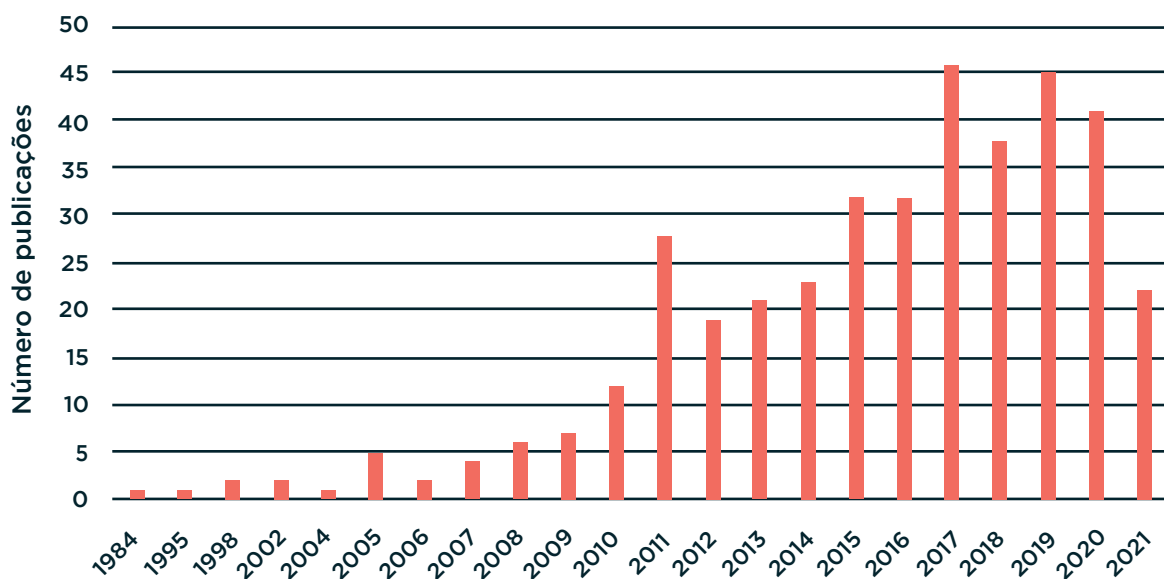


Figura 15: Número de publicações do cluster 4 ao longo do tempo.

O cluster 6 trata principalmente de temas relacionados ao processo de fermentação para a produção de etanol, mais especificamente os artigos tratam de: utilização de diferentes tipos de leveduras, análise sobre configurações do processo

de fermentação, processos de caracterização de leveduras e análises sobre sacarificação e fermentação de diferentes biomassas residuais. O cluster 6 é um dos clusters mais antigos da rede, tendo registros anteriores aos anos 90. Mesmo com

oscilações, o número de publicações vem crescendo desde 2004, logo após o advento dos motores flex-fuel, sendo notável que o número de publicações de 2021 (até agosto) já ultrapassa a dos anos anteriores.

2.7. Cluster 7 - Pirólise a partir de biomassa

O cluster 7 possuiu 314 artigos e está localizado na periferia esquerda da macrorregião inferior. O cluster é concentrado e tem duas principais regiões de acúmulo. As Figuras 20 e 21 apresentam a nuvem de palavras-chave e o número de publicações do cluster ao longo do tempo, respectivamente.

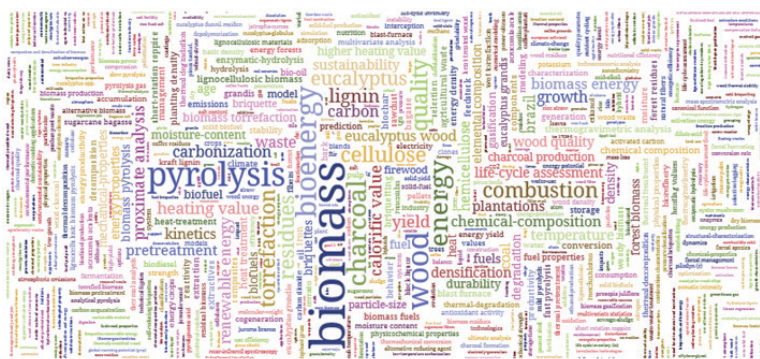


Figura 20: Nuvem de palavras-chave do cluster 7.

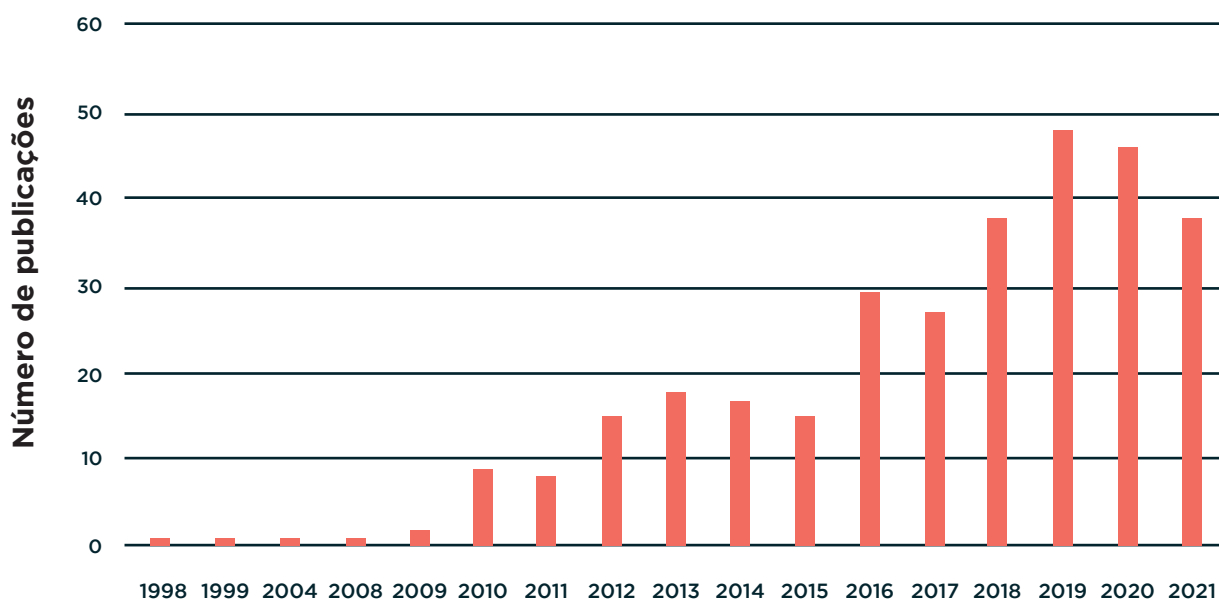


Figura 21: Número de publicações do cluster 7 ao longo do tempo.

Os temas do cluster 8 giram em torno dos processos de pré-tratamento e hidrólise enzimática principalmente dos resíduos da cana-de-açúcar. Em geral o foco dos artigos está na pro-

dução do etanol de segunda geração. Os temas variam da avaliação de diferentes técnicas até a caracterização da biomassa pré-tratada e hidrolisada. Vários artigos também apresen-

tam propostas de otimização desses processos. Na Figura 23 observa-se que há uma tendência de crescimento no número de artigos nesse tema a partir de 2010.

2.9. Cluster 9 - Produção de etanol e co-geração

O cluster 9 possuiu 256 artigos e fica localizado na macrorregião inferior. O cluster se concentra principalmente na parte

central da macrorregião se espalhando para a periferia direita. As Figuras 24 e 24 apresentam a nuvem de palavras-chave

e o número de publicações do cluster ao longo do tempo, respectivamente.

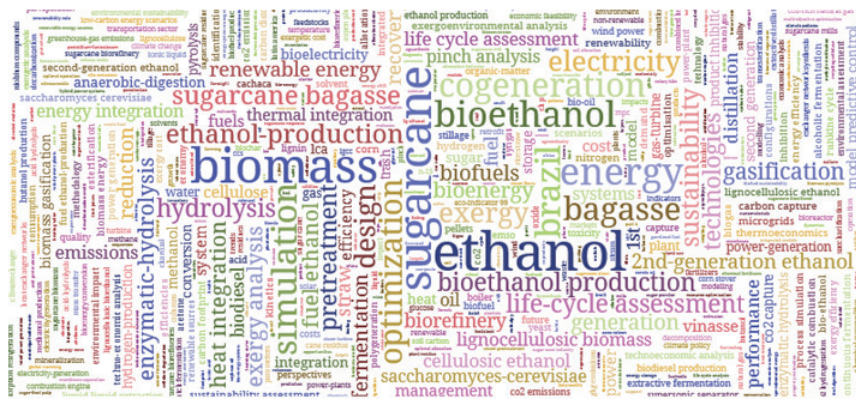


Figura 24: Nuvem de palavras-chave do cluster 9.

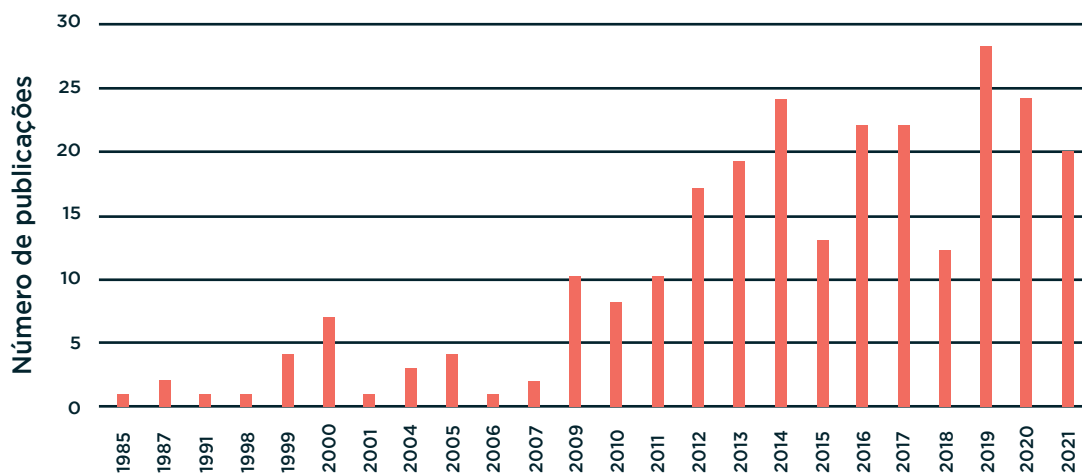


Figura 22: Nuvem de palavras-chave do cluster 8

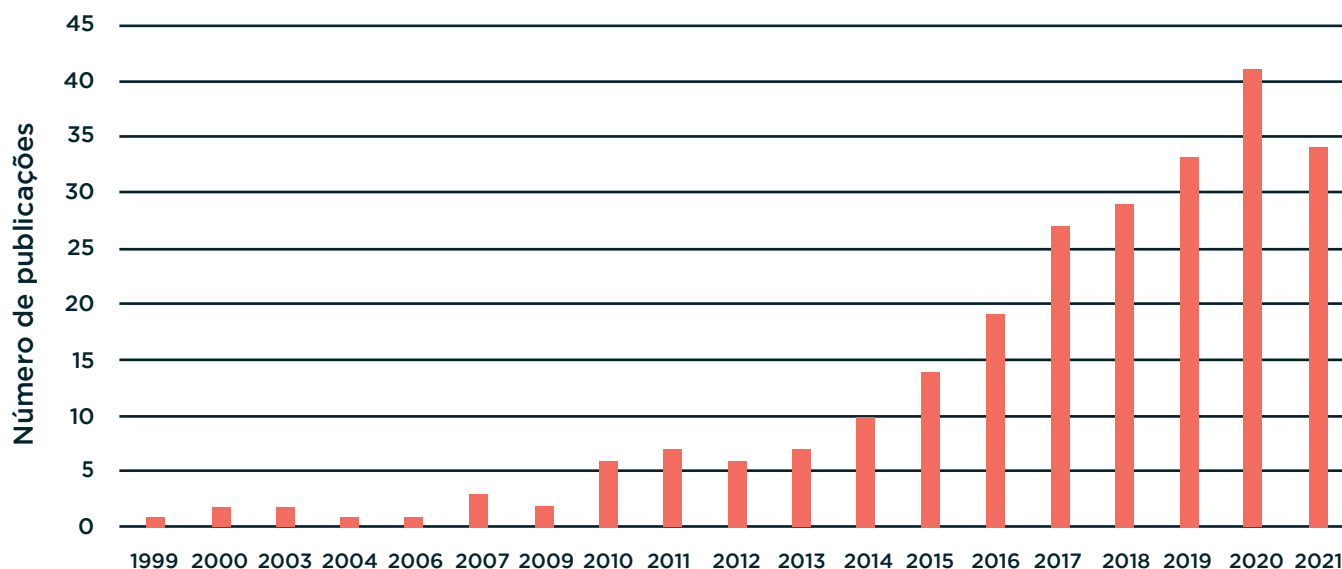


Figura 27: Número de publicações do cluster 10 ao longo do tempo.

Com frequência foram utilizadas como matéria-prima para a produção do biocarvão resíduos da produção de açúcar e etanol, como a torta de filtro e o bagaço da cana. Outras matérias-primas residuais também são investigadas, como o lodo de esgoto. O processo de pirólise

também é frequentemente mencionado para a produção de biocarvão. Na parte mais concentrada do cluster é possível identificar que o tema se centraliza na avaliação e uso de biocarvão como alternativa para aumentar a fertilidade do solo. Essa parte do cluster está

próxima ao cluster 1 referente a sistemas de produção agrícola. Desde o início da década de 2010 verifica-se na Figura 27 um crescimento expressivo e sustentado do número de publicações sobre esse assunto.

2.11. Cluster 11 – Xilose e Xilitol

O cluster 11 está localizado no extremo inferior da rede e encontra-se extremamente concentrado. O cluster possui 244 artigos. As Figuras 28 e 29 apresentam a nuvem de palavras-chave e o número de pu-

blicações do cluster ao longo do tempo, respectivamente. Por ser muito concentrado, os temas nesse cluster variam pouco. Os artigos tratam principalmente de produção de xilose e a conversão desta em xilitol.

Essa produção está muitas vezes contextualizada na indústria de etanol e visa usar os processos de pré-tratamento e hidrólise de biomassas como bagaço e palha da cana-de-açúcar para a produção de xilose e posterior

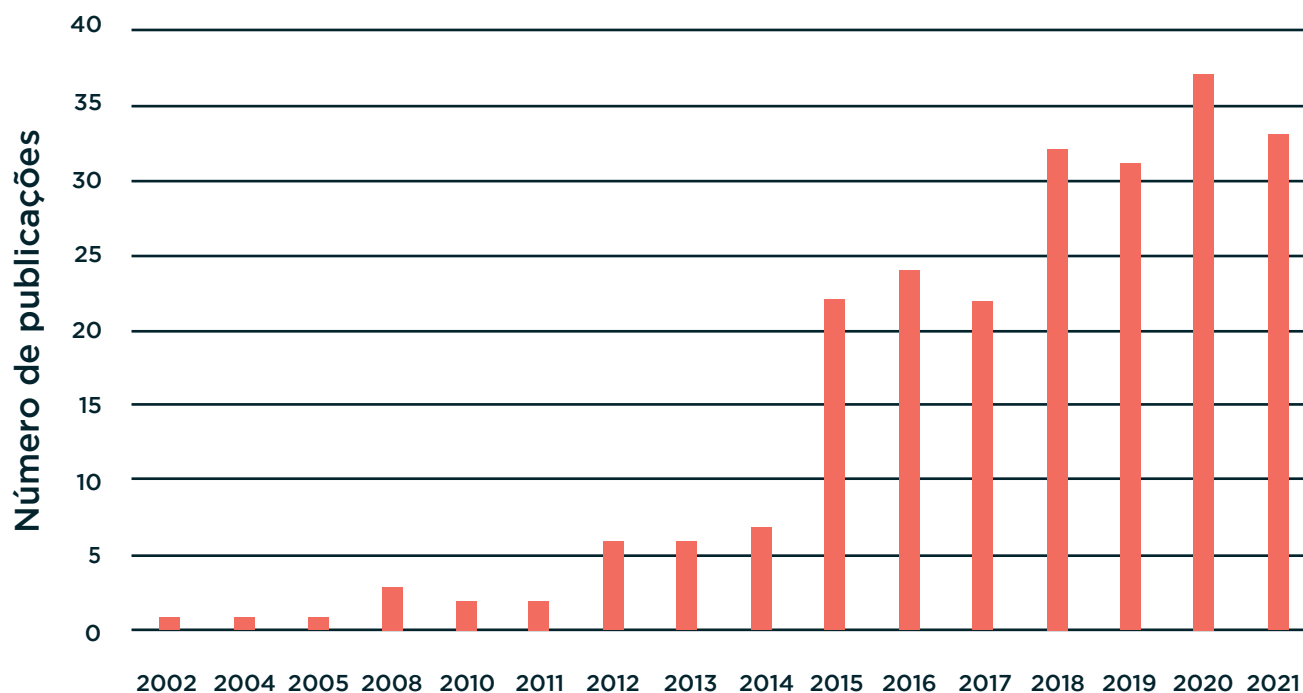


Figura 35: Número de publicações do cluster 14 ao longo do tempo.

2.15. Cluster 15 – Amazônia e Serviços Ecosistêmicos

O cluster 15 está mais isolado que os outros na extremidade esquerda da rede. O cluster possui uma região mais concentrada, mas também se espalha para a fronteira entre a macrorregião superior e inferior. O cluster 15 possui 191 artigos. As Figuras 36 e 37 apresentam a nuvem de palavras-chave e o número de publicações do cluster ao longo do tempo, respectivamente. Na parte mais

concentrada e afastada da rede os temas giram em torno da floresta amazônica principalmente tratando de avaliar como diferentes ações afetam o bioma e os serviços ecossistêmicos. Vários estudos analisam o potencial de aproveitamento de produtos amazônicos. Já na parte mais espalhada do cluster, na fronteira entre as duas macrorregiões, os temas tratam sobre serviços ecossistêmicos,

principalmente na avaliação de impactos. O cluster 15 começa a surgir no ano 2000 com tendência crescente até o ano de 2008 onde passa a ter uma estabilização. O número de publicações volta a crescer depois de 2013.

Considerações sobre as análises dos clusters

A análise dos 15 maiores clusters correspondeu a 4946 publicações, o que equivale a 55,3% da rede. Isso significa que vários outros temas estiveram presente na rede, mas que formaram clusters menores. Alguns exemplos são os clusters de gestão da inovação (160 artigos), o de economia circular (152 artigos) e o de biohidrogênio (150 artigos). A Figura 38 mostra a evolução no número de publicações dos 15 maiores clusters ao longo do tempo. Aqui é possível destacar alguns pontos, tais como: a presença e resiliência do cluster 1 (sistemas de produção agrícola), o

rápido crescimento do cluster 2 (desafios e soluções para a vinhaça) sobretudo a partir de 2013, o crescimento sustentado e concomitante dos clusters 3 (biodiesel e outros produtos a partir de microalgas) e 4 (avaliação e uso do biodiesel) a partir de 2008, o pico do cluster 5 (produção de enzimas via fermentação em estado sólido) em 2018, a evolução combinada do número de publicações dos clusters 6 (fermentação para produção de etanol) e 8 (pré-tratamento e hidrólise enzimática) na última década, assim como o crescimento da relevância das questões de sus-

tentabilidade demonstrada pela progressão de publicações dos clusters 13 (indicadores e avaliação de sustentabilidade) e 14 (sustentabilidade corporativa). A análise dos clusters também mostrou que as publicações sobre a bioeconomia brasileira parecem se concentrar até agora em produtos energéticos, principalmente biocombustíveis. A macrorregião da rede é majoritariamente voltada para temas associados à produção de etanol, biodiesel e co-geração de energia, seguida de temas atinentes a sistemas agrícolas, sustentabilidade e governança.

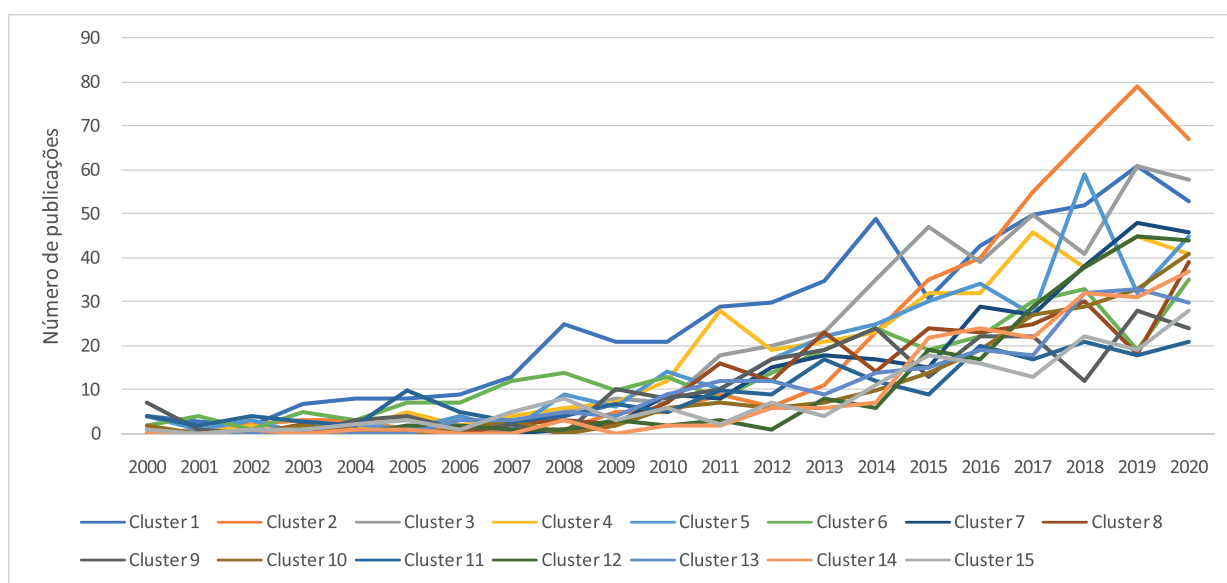


Figura 38: Evolução no número de publicações dos 15 maiores clusters ao longo do tempo.

3. Cooperação com outros países

A construção da rede de publicações científicas sobre a bioeconomia brasileira levou em conta tanto publicações exclusivamente nacionais quanto publicações realizadas em parceria com outros países. As Figuras 39 e 40 apresentam os países que mais cooperaram com o Brasil na rede gerada.

Observa-se que o Estados Unidos aparece como principal parceiro (694 publicações), seguido de Portugal e Inglaterra, com cerca da metade das publicações (pouco mais de 300). As Figuras 38 e 39 também enfatizam que o Brasil publica sobre bioeconomia principalmente com países da América do

Norte e Europa. Na América Latina, Colômbia, México, Chile e Argentina são as parcerias com maior destaque, mas a Figura 40 mostra que as parcerias em publicações são globais, cobrindo autores de países de todos os continentes.

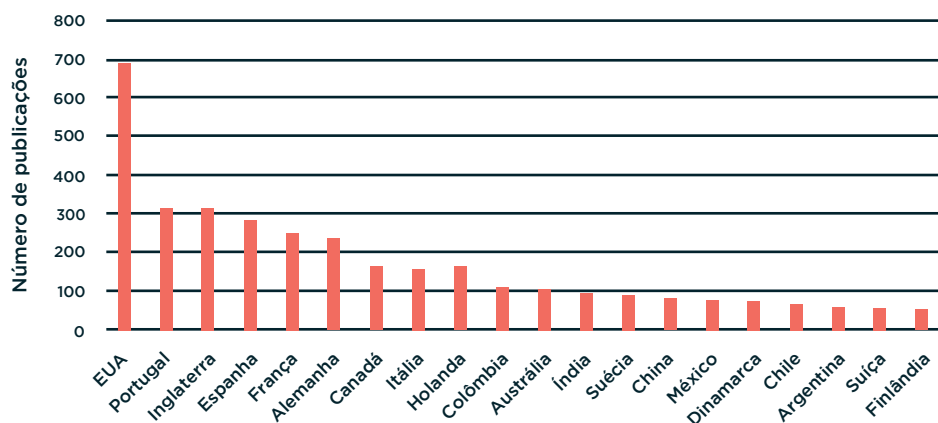


Figura 39: 20 países que mais cooperaram com o Brasil nas publicações da rede de bioeconomia brasileira.

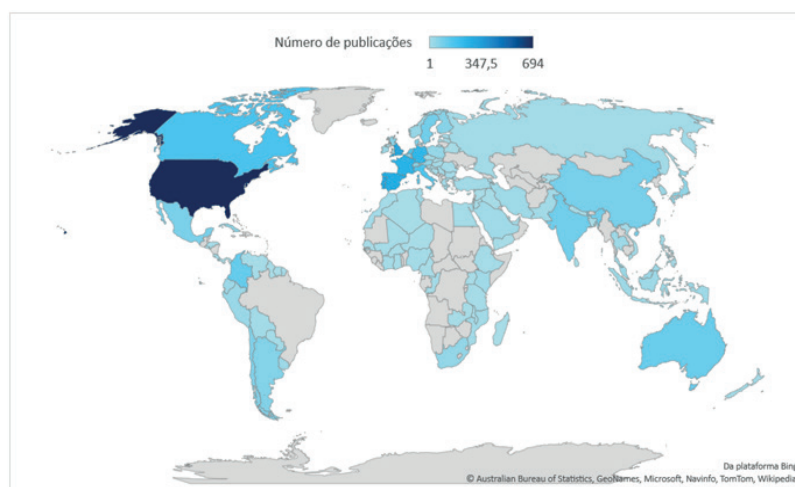


Figura 40: Mapa com os países que cooperaram com as publicações na rede de bioeconomia brasileira.

4. Instituições brasileiras que mais publicam em bioeconomia

A partir dos dados levantados também foi possível identificar as instituições brasileiras que mais publicaram em bioeconomia pela rede gerada (Figura 41). Observa-se que as orga-

nizações são principalmente universidades públicas, sendo exceções a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e o Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais

(CNPEM). Observa-se também que dentre as 15 organizações que mais publicaram sobre em bioeconomia há uma forte presença de instituições das regiões Sudeste e Sul (Figura 42)⁴.

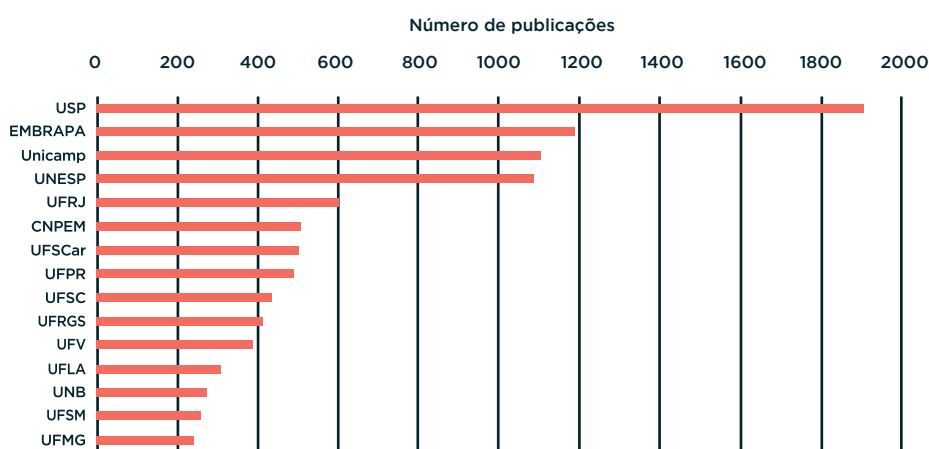


Figura 41: 15 Instituições brasileiras que mais publicaram na rede de bioeconomia brasileira.

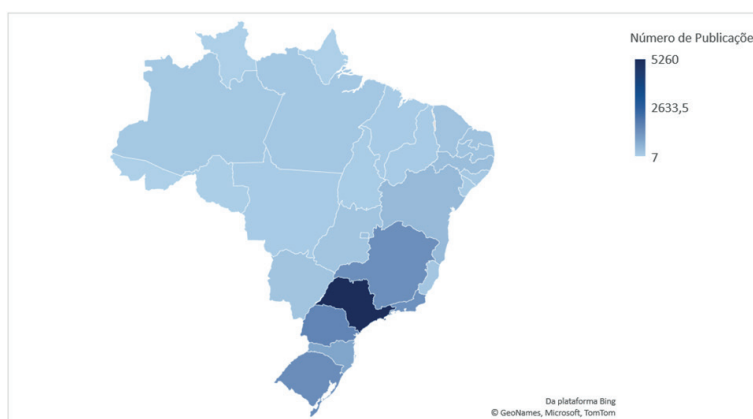


Figura 42: Mapa do número de publicações por estado.

⁴ Instituições com atuação em mais de um estado não foram contabilizadas na Figura 42.

5. Considerações finais

Este boletim apresentou o panorama da produção científica brasileira em bioeconomia, resultante da rede de similaridade semântica construída a partir de uma metodologia de snowball para publicações brasileiras sobre bioeconomia constantes do Web of Science (WoS). Os resultados enfatizaram principalmente: a predominância de estudos voltados para o setor energético, principalmente relacionados com a produção de biocombustíveis como **etanol** e **biodiesel**; a forte presença de estudos voltados para **técnicas e sistemas agrícolas**, principal-

mente relacionados com o setor de **cana-de-açúcar**; e o grande interesse em **reaproveitamento e valorização de resíduos**. Entretanto, é importante destacar a presença do **cluster 15 -Amazônia e serviços ecossistêmicos** que deixa clara a presença na rede de estudos voltados para a bioeconomia da biodiversidade. Observou-se também que a metodologia de snowball resgatou estudos com assuntos voltados para **gestão e inovação**, identificando tais áreas do conhecimento como importantes no contexto da bioeconomia. Esses aspectos são

evidenciados pelos clusters **14 -Sustentabilidade corporativa** e **13 -Indicadores e avaliação de sustentabilidade**. Os dados levantados apresentam algumas limitações, como a busca exclusivamente na base de dados do Web of Science e uma caracterização parcial da rede. As próximas edições visarão reduzir as limitações do estudo e aprofundar o conhecimento sobre a bioeconomia brasileira ao buscar novas fontes de dados, como outras bases científicas e de patentes, e ampliar o escopo de busca sobre o tema.

Agradecimento

Equipe CGEE/MCTI do projeto ODBio.

Expediente

Diretor-Presidente

Marcio de Miranda Santos

Diretores

Luiz Arnaldo Pereira da Cunha
Regina Silverio (Supervisão)

Coordenação

Marcelo Poppe

Equipe Técnica CGEE

Barbara Bressan
Daniella Fartes
Emilly Silva
Jackson Maia
João Pedro Arbache