



# A7<sup>th</sup> Academic

INTERNATIONAL WORKSHOP  
ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

“CLEANER PRODUCTION FOR ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS”

## Economia Circular e Bioeconomia: Como as Abordagens se Relacionam?

FARIA, E. O.<sup>a\*</sup>, CALDEIRA-PIRES, A<sup>a</sup>.

<sup>a</sup> Centro de Desenvolvimento Sustentável, CDS/UnB, Brasília

\* [emiliaofaria@gmail.com](mailto:emiliaofaria@gmail.com)

### Resumo

Diante do consenso sobre a urgência das questões ambientais e a crescente preocupação sobre a escassez dos recursos naturais, novos modelos relacionados ao desenvolvimento sustentável têm sido propostos. Desse modo, o objetivo geral deste artigo é analisar como dois desses conceitos que permeiam a sustentabilidade: a Economia Circular e a Bioeconomia, tem sido combinados na literatura científica. Pretende-se identificar ainda, como as biorrefinarias estão inseridas nesse contexto. Para atingir o objetivo proposto, optou-se por utilizar o procedimento da revisão sistemática da literatura seguindo o protocolo proposto por Cronin et al. (2008), a partir da base de dados *Scopus*. Além de sintetizar o conhecimento acerca do tema, o artigo ressalta as características dos trabalhos (distribuição temporal das publicações, principais periódicos, grandes temas abordados, os autores e seus respectivos países), bem como, os aspectos metodológicos, as principais iniciativas e programas e os atores envolvidos. Os resultados demonstraram que embora os primeiros estudos encontrados datem de 2016 é patente o aumento do interesse dos pesquisadores na temática. As iniciativas recentes de Economia Circular e Bioeconomia formuladas pela União Europeia em 2012 e 2015 e o Plano Nacional de Bioeconomia dos Estados Unidos figuram como políticas norteadoras das ações dos países que mais tem publicado sobre os temas. Quanto aos métodos de análise, há um domínio do método LCA (*Life Cycle Assessment*) nas pesquisas que tratam dos impactos ambientais dos processos produtivos. A partir da análise da rede criada pelas palavras-chave mais recorrentes foi possível perceber uma maior centralidade e força ao redor do termo Economia Circular, sendo que a segunda palavra-chave com maior destaque é Bioeconomia, o que reforça a relação de complementaridade das abordagens. Por fim, os estudos apontam para a necessidade de cooperação entre a comunidade científica, as empresas privadas, o governo e a sociedade para que se estabeleça uma política ambiental eficaz baseada nos princípios da Bioeconomia e da Economia Circular.

**Palavras-chave:** economia circular, bioeconomia, biorrefinaria, sustentabilidade, revisão sistemática da literatura.

### 1. Introdução

As últimas décadas foram marcadas pelo crescimento econômico mundial, crescimento populacional, aceleração do processo de urbanização, aumento do consumo e rapidez na circulação de informações, produtos, pessoas, capitais e serviços. As implicações ambientais desses fenômenos são de grande relevância e vem sendo objeto de reflexão não só da academia e da comunidade científica, como também de organismos internacionais, dos governos e da sociedade civil. O caráter planetário de certos problemas ambientais criou um fenômeno de interdependência crescente entre os países, resultando em regras de governança e cooperação internacional (Bursztyn & Bursztyn, 2012).

“CLEANER PRODUCTION FOR ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS”

Barranquilla - Colombia - June 21<sup>st</sup> and 22<sup>nd</sup> - 2018

Um exemplo disso é a Conferência das Nações Unidas sobre Mudança Climática que em seu Acordo de Paris reconhece, dentre outras medidas, que as mudanças climáticas representam uma ameaça urgente e potencialmente irreversível para as sociedades humanas e para o planeta e, portanto, requer a mais ampla cooperação possível de todos os países e sua participação numa resposta internacional eficaz e apropriada, com vista a acelerar a redução das emissões globais de gases de efeito estufa (UN, 2015).

Nesse contexto, uma das principais preocupações está relacionada com a dependência dos combustíveis fósseis associada com os níveis crescentes de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera, o que levou a um impulso global para o desenvolvimento de tecnologias renováveis e ecológicas (Mohan et al., 2016; Mohan et al., 2017).

Portanto, uma mudança da visão econômica linear baseada em combustíveis fósseis para uma economia circular está ganhando destaque significativo frente às demandas ambientais e sociais. E para que o impacto negativo da ação antrópica no meio ambiente seja minimizado em todas as cadeias de valor, os recursos renováveis e o consumo de biomassa se tornam cada vez mais necessários (Mohan et al., 2017; Sadhukhan et al., 2017).

A utilização humana de materiais biogênicos ou biomassa como matéria-prima não é algo novo, no entanto, agora há um interesse renovado na exploração efetiva inevitável de resíduos orgânicos, provocado pelo objetivo de reduzir a pegada ecológica e alcançar um fornecimento mais seguro de recursos renováveis (Mohan et al., 2016).

O imperativo do cuidado com o meio ambiente transforma a ótica com que se observa a dinâmica econômica uma vez que as externalidades negativas já não podem mais ser ignoradas. Nesse sentido, a sustentabilidade ganha notoriedade e assume papel determinante na agenda global de pesquisa e nas políticas (CEPAL, 2016).

Vários modelos e abordagens relacionados à sustentabilidade estão sendo propostos e partindo da premissa que cada um desses modelos valoriza certos problemas e prescreve diferentes soluções, estratégias e tecnologias, torna-se desafiador definir, formular e implementar políticas públicas de gestão ambiental. Diante disso, a partir da literatura científica disponível, o objetivo deste artigo foi analisar dois desses conceitos que permeiam a sustentabilidade: a Economia Circular e a Bioeconomia. Os questionamentos que nortearam a pesquisa foram: como esses dois conceitos se relacionam, quais são as principais questões abordadas e ainda, como as biorrefinarias se inserem nesse contexto.

## 2. Referencial teórico

### 2.1 Economia Circular

O conceito de Economia Circular tem suas raízes conceituais na ecologia industrial e metabolismo industrial, que prevê uma forma de simbiose material diferente entre empresas e processos produtivos. Subjacente à abordagem da ecologia industrial está a ideia de que a economia circular será benéfica para a sociedade e para a economia como um todo. Seus benefícios estão relacionados à redução do uso do meio ambiente como destino final de resíduos bem como a diminuição do uso de matérias primas para a atividade econômica. O termo se popularizou a partir dos anos 90, com a adoção de pacotes de Economia Circular pela Comissão Europeia e pelo governo da China e da Alemanha (Andersen, 2007; D'Amato et al., 2017; Geissdoerfer et al., 2017; Yuan et al, 2006).

Geissdoerfer et al. (2017), com base em diferentes contribuições, definem a Economia Circular como um sistema regenerativo no qual a entrada de recursos e o desperdício, emissão e perda de energia são minimizados pela desaceleração, fechamento e estreitamento dos fluxos de matéria e energia. Isso pode ser alcançado por meio de um projeto duradouro, de manutenção, reparo, reutilização, remanufatura, remodelagem e reciclagem.

Em 2010, foi criada a *Ellen MacArthur Foundation* com a missão de acelerar a transição rumo a uma economia circular. Desde então, a fundação se articula como uma das líderes globais do pensamento, inserindo a economia circular na agenda de diversos *stakeholders*. Para eles, a economia circular

é regenerativa e restaurativa por princípio, tendo como objetivo manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor o tempo todo. Na concepção de seus criadores, a economia circular consiste em um ciclo de desenvolvimento positivo contínuo que preserva e aprimora o capital natural, otimiza a produção de recursos e minimiza riscos sistêmicos administrando estoques finitos e fluxos renováveis (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

## 2.2 Bioeconomia

Desde a origem do conhecimento biotecnológico moderno na década de 1970, com pesquisas em diversas áreas como genética, biologia molecular, bioquímica, houve um crescente interesse e expectativas pelo desenvolvimento de uma indústria de biotecnologia. Portanto, a biotecnologia tem sido caracterizada como um novo setor industrial que transformará a sociedade e a economia (Birch & Tyfield, 2013).

Nesse sentido, o desenvolvimento da bioeconomia, a partir da biotecnologia, está pautado em um argumento bem convincente. Acredita-se que até 2050, a população mundial deverá atingir 9 bilhões, o que colocará uma pressão sem precedentes sobre o meio ambiente e seus recursos, ou seja, as ameaças das mudanças climáticas, o esgotamento da biodiversidade, a escassez de água e terra e o aumento dos níveis de poluição, necessitam de novas soluções. Portanto, uma bioeconomia orientada pela inovação, que tem como objetivo final a conservação dos recursos naturais, pode fornecer renovação, circularidade e multifuncionalidade, criando empregos, crescimento e prosperidade nas áreas rurais, costeiras e urbanas. Sendo assim, a bioeconomia promete liderar a próxima onda emergente do desenvolvimento econômico global, tendo como base a energia renovável, matérias-primas renováveis, produtos recicláveis, processos biológicos, organismos naturais ou geneticamente modificados, fermentação, biotecnologia e biologia molecular (Bell et al., 2017; Dupont-Inglis & Borg, 2017; McCormick & Kautto, 2013; Székács, 2017).

Em 2017, a estratégia de bioeconomia da União Europeia completou cinco anos. A proposta inicial surgiu como uma forma de avançar para uma sociedade mais sustentável, com o argumento de que a obtenção de crescimento e emprego na Europa só poderia ser alcançada por meio do uso eficiente dos recursos, criando uma economia circular capaz de reduzir a geração de resíduos e fazer uso de resíduos como recurso. A bioeconomia europeia já é um importante setor econômico que representa cerca de 18 milhões de empregos em diversas indústrias bem estabelecidas. Muitos êxitos foram alcançados e há uma crescente compreensão e apreciação do papel que a bioeconomia desempenhará na entrega de um futuro mais inteligente e sustentável para a Europa e seus cidadãos (Bell et al., 2017; Dupont-Inglis & Borg, 2017).

Permeando os conceitos de economia circular e bioeconomia, as biorrefinarias surgem como uma atividade importante para reverter a degradação ambiental. O conceito de produzir produtos a partir de *commodities* agrícolas (ou seja, biomassa) não é novo, embora, o uso da biomassa como entrada para produzir múltiplos produtos usando métodos de processamento complexos, com uma abordagem análoga a uma refinaria de petróleo é relativamente recente. A biomassa consiste em carboidratos, lignina, proteínas, gorduras e, em menor grau, vários outros produtos químicos, como vitaminas, corantes e aromas. Mais especificamente, o termo biorrefinaria refere-se à conversão de matéria-prima de biomassa em uma série de produtos químicos e energia valiosos com o mínimo de resíduos e emissões (Demirbas, 2009; Fernando et al., 2006).

O conceito de biorrefinaria é uma aplicação técnica do princípio de Economia Circular em que a exploração da biomassa é melhorada. Na biorrefinaria, as etapas individuais da cadeia de valor imitam a exploração gradual da biomassa, a fim de explorar todos os compostos disponíveis. Se todo o recurso for utilizado, a produção de resíduo zero possivelmente será alcançada (Seghetta et al, 2016).

Recentemente, surgiram outros tipos de biorrefinarias, capazes de fermentar uma grande variedade de matérias-primas, dependendo da estação e da origem da biomassa. Estes variam desde resíduos agrícolas e florestais até resíduos sólidos municipais. Estes tipos de biorrefinaria, conhecidos como biorrefinarias de segunda geração, podem usar uma ampla gama e uma mistura de matérias-primas para a fermentação, como a celulose, hemicelulose, lignina entre outros. Já a biorrefinaria de terceira geração, ainda em fase de desenvolvimento, é baseada no cultivo e na colheita de microalgas, seguida

da extração de óleo e sua posterior transformação em biodiesel. A vantagem do uso de microalgas como matéria-prima é seu potencial de usar fluxos ricos em CO<sub>2</sub> e luz solar como fonte de energia (Demirbas, 2009; Egea et al, 2017).

### 3. Aspectos Metodológicos

Para a consecução do objetivo do estudo, foi realizada uma revisão sistemática da literatura sobre os conceitos Economia Circular, Bioeconomia e Biorrefinaria. A escolha por esse método se justifica pelo fato de que diferentemente da revisão de literatura tradicional, o objetivo de uma revisão sistemática consiste em fornecer uma lista tão completa quanto possível de todos os estudos publicados a um determinado assunto, utilizando critérios explícitos e rigorosos (Cronin et al., 2008).

Portanto, este estudo baseou-se no procedimento de revisão sistemática proposto por Cronin et al. (2008), já utilizado por Guarnieri et al. (2015). Com o objetivo de conferir fiabilidade à revisão, Cronin et al. (2008) propõem um protocolo a ser seguido pelos pesquisadores, a saber: (1) formulação da questão norteadora de pesquisa; (2) critérios de inclusão e exclusão; (3) Seleção e acesso da literatura; (4) avaliação da qualidade da literatura; (5) análise, síntese e disseminação dos resultados. A seguir são apresentados os critérios adotados nesta pesquisa de acordo com o protocolo utilizado.

(a) Formulação da questão norteadora de pesquisa: como os conceitos de Economia Circular e Bioeconomia se relacionam, quais são as principais questões abordadas na literatura disponível e ainda, como as biorrefinarias se inserem nesse contexto;

(b) Estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão: os critérios adotados foram: optou-se pela base de dados *Scopus* por ser a maior base de dados de citações e resumos de literatura revisada por pares; optou-se por apenas artigos científicos publicados em revistas sem definição de critério temporal; em relação às palavras-chave, foram utilizadas duas combinações: "*Circular Economy*" and "*Bioeconomy*" e "*Circular Economy*", "*Bioeconomy*" and "*Biorefinery*". A busca ocorreu no título, no resumo e nas palavras-chave; quanto aos operadores booleanos utilizou-se somente o *and*;

(c) Seleção e acesso de literatura: a primeira combinação retornou 26 resultados; já a segunda combinação retornou 13. Ao fazer a comparação dos resultados, constatou-se que os 13 trabalhos da segunda busca estavam contidos na primeira combinação. Dos 26 resultados, três eram capítulos de livro e um eram notas de uma palestra. Portanto, seguindo os critérios de inclusão e exclusão mencionados no tópico anterior, quatro trabalhos foram excluídos;

(d) Avaliação da qualidade da literatura incluída na revisão: foi realizada uma análise do resumo dos artigos, de modo a verificar a pertinência e qualidade dos artigos selecionados. Feita a análise, 20 artigos foram mantidos;

(e) Análise, síntese e disseminação dos resultados: por fim, os artigos foram analisados detalhadamente.

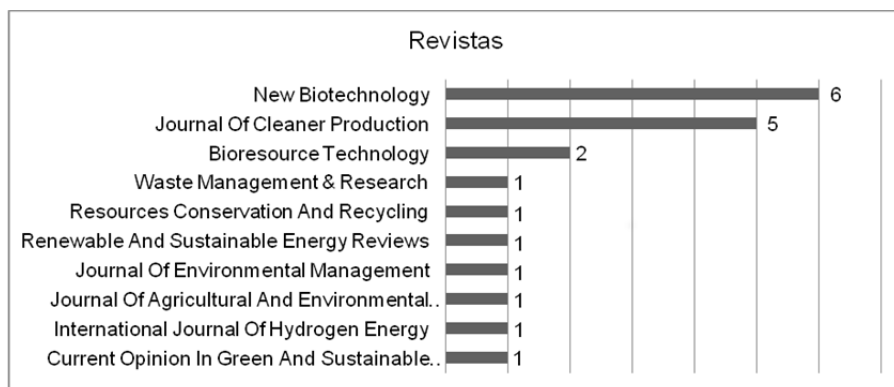
### 4. Resultados e Discussão

Esta seção apresenta os resultados dos artigos selecionados para a análise, considerando-se o protocolo de revisão sistemática estabelecido na seção 3. Os primeiros estudos encontrados a partir das combinações desejadas dataram de 2016, demonstrando a recenticidade das pesquisas englobando os dois termos. Apesar disso, é patente o aumento do interesse dos pesquisadores quanto ao tema, uma vez que em 2017, esse número aumentou em 133%. Em 2016 foram 6 artigos publicados, enquanto em 2017 foram 14.

No que tange aos países de origem dos autores dos estudos, em primeiro lugar estão a Bélgica e os Estados Unidos da América, com cinco autores. Empatados em segundo lugar estão a Índia e a Alemanha com quatro pesquisadores. Os demais países contabilizaram três (Malásia e Espanha), dois (Dinamarca, Finlândia, França, Irlanda e Reino Unido) ou apenas um autor (Grécia, Hungria, Itália e Taiwan). Percebe-se sobremaneira um grande interesse dos países europeus sobre o assunto. Essas informações vão de encontro às iniciativas recentes de Economia Circular e Bioeconomia formuladas

pela União Europeia em 2012 e 2015, além do Plano Nacional de Bioeconomia dos Estados Unidos de 2012 (D'Amato et al., 2017).

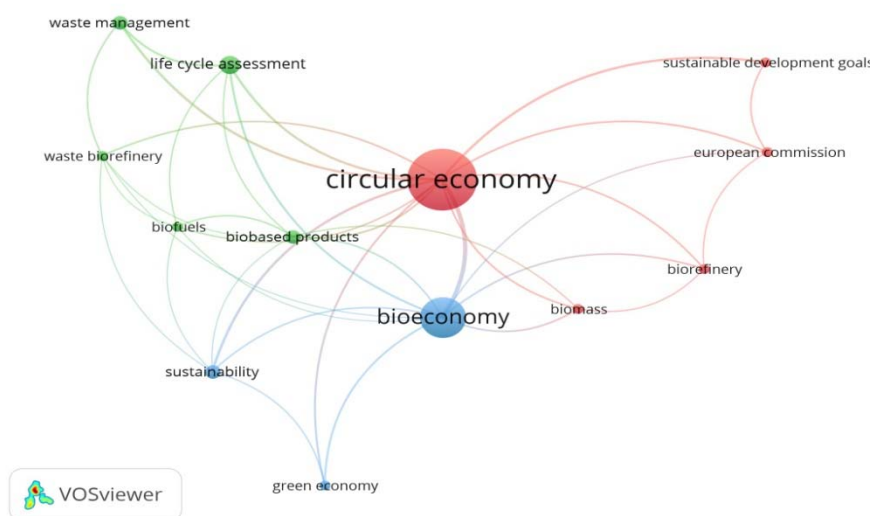
Quanto aos periódicos que serviram de veículos para a publicação dos artigos (Fig. 1), a revista *New Biotechnology* e o *Journal Of Cleaner Production* destacaram-se ao publicarem seis e cinco artigos respectivamente. Os demais artigos foram publicados em diferentes periódicos. Ao analisar os principais temas emergentes relacionados à Bioeconomia e Economia Circular, nota-se que o principal assunto diz respeito à Ciência Ambiental, desvelando que, embora o tema tenha merecido a atenção de outras áreas como Economia e Gestão, Ciência Ambiental ainda é a área que domina as investigações sobre Economia Circular e Bioeconomia.



**Fig. 1.** Revistas que publicaram sobre o tema

Fonte: Elaborado pela autora

Na Fig. 4, dois indicadores bibliométricos foram utilizados para analisar e discutir a rede criada pelas palavras-chave: o número de ocorrências e a relação entre os nós (cada nó é uma palavra-chave). Quanto maior o número de conexões, maior a força do nó na rede e maior centralidade. Observa-se que há uma maior centralidade e força ao redor do termo Economia Circular, sendo que a segunda palavra-chave com maior destaque é Bioeconomia, o que reforça a relação de complementaridade das abordagens. Há ainda termos correlatos que estão mais dispersos, o que indica menor incidência de estudos relacionados aos temas. A análise dessa rede revela ainda a existência de três *clusters*. O *cluster* vermelho relaciona os termos: objetivos do Desenvolvimento Sustentável, Comissão Europeia, biorrefinaria, biomassa e Economia Circular. O *cluster* azul conecta os termos Bioeconomia, sustentabilidade e economia verde. O terceiro *cluster* engloba os termos bioprodutos, biocombustíveis, avaliação do ciclo de vida, gestão de resíduos e biorrefinaria de resíduos.



**Fig. 2.** Palavras-chave

Fonte: Elaborado pela autora

As escalas de análise dos estudos variam em tempo e espaço. Os estudos de Mohan et al. (2016) e D'Amato et al. (2017) tratam as questões relacionadas à Economia Circular e à Bioeconomia a nível global explorando a integração dos diferentes modelos como caminhos para o desenvolvimento e a sustentabilidade. Por outro lado, os estudos de Bell et al. (2017), Mengal et al. (2017), Maina et al. (2017) e Dupont-Inglis & Borg (2017) tratam os temas a nível regional da União Europeia. Os demais estudos se restringem a análises locais por países, quais sejam: Malásia (Sadhukhan et al., 2017); Irlanda (Oldfield et al., 2016); Dinamarca (Seghetta et al., 2016); Espanha (Egea et al., 2017; Lainez et al., 2016; Serrano et al., 2017); Índia (Mohan et al., 2017); Estados Unidos (Oldfield et al., 2017) e Itália (Maina et al., 2017).

Na Tabela 1, apresentam-se os métodos de análise utilizados nos artigos pesquisados. Percebe-se um domínio do método LCA (*Life Cycle Assessment*) nas pesquisas que tratam dos impactos ambientais dos processos produtivos. Sadhukhan et al. (2017) fizeram o uso do método LCA combinado a técnicas econométricas a fim de compor indicadores quantitativos e qualitativos. Por sua vez, Lee (2017) comparou nove modelos econométricos que medem a eficiência de diferentes gerações de energia no intuito de apontar o modelo econométrico mais adequado para avaliar os impactos numéricos da economia circular, da bioeconomia e bioenergia. O resultado da pesquisa apontou para o modelo de regressão e o modelo de séries temporais. Cabe ressaltar que muitos estudos não tiveram um método de análise definido por se tratarem de artigos teóricos/conceituais.

**Tabela 1**

Síntese dos principais métodos de análise

<b>Autores</b>	<b>Métodos</b>
(Sadhukhan et al., 2017)	Técnicas econométricas e LCA (indicadores quantitativos e qualitativos)
(Hildebrandt et al., 2017; Oldfield et al., 2017, 2016; Sommerhuber et al., 2017)	LCA ( <i>Life Cycle Assessment</i> ) – Análise do Ciclo de Vida
(Pitkänen et al., 2016)	Estudos de casos comparados
(Lee, 2017)	Modelo de regressão e modelo de séries temporais

Fonte: Elaborado pela autora

O desenvolvimento de uma economia calcada no respeito ao meio ambiente e a redução da dependência de recursos como os combustíveis fósseis já faz parte da política estratégica de vários países com destaque para as políticas europeias que empregam recursos e investimentos em pesquisa, desenvolvimento e treinamento. Algumas dessas iniciativas já estão mais consolidadas como a Estratégia Europeia de Bioeconomia avaliada nos estudos de Mengal et al. (2017) e Bell et al. (2017), outras ainda estão em processo de construção e debate como o Plano da Malásia (2016-2020) apresentado por Sadhukhan et al. (2017) e o Plano espanhol de Bioeconomia (2030) exposto por Lainez et al. (2016). A Tabela 2 sintetiza as informações a respeito dos programas e iniciativas mapeados nos estudos.

**Tabela 2**

Síntese dos principais programas e iniciativas

<b>Autores</b>	<b>Iniciativas</b>
(Sadhukhan et al., 2017)	Plano de desenvolvimento da Malásia (2016–2020);
(Seghetta et al., 2016)	Projeto de Biorrefinaria de Macroalgas;
(Pitkänen et al., 2016)	Programa Nacional de Revolução Energética (DE); Programa Nacional de uso de madeira para construção (FI); BIODECOL2 - projeto para implantação do biogás (FR); Projeto para minimizar os resíduos orgânicos municipais (FR); Projeto para desenvolver um modelo de cidade sustentável (FI); HINKU - rede de municípios finlandeses com o objetivo de criar e implementar soluções para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (FI);

	Certificação para reduções de emissões no mercado voluntário de carbono (DE); Simbiose Industrial em Dunkirk (FR); Healthy Sand (NL) - estratégias específicas de manejo de fazendas que aumentariam os níveis de matéria orgânica do solo (NL); MAB3 – Biorrefinaria de Macroalgas (DK);
(Lainez et al., 2016)	Estratégia espanhola de bioeconomia 2030 e Plano de ação de bioeconomia 2016 ambos da Secretaria de Estado, de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação;
(Bell et al., 2017)	Estratégia Europeia de Bioeconomia (Bio-based Industries Joint Undertaking);
(Oldfield et al., 2017)	Projetos inovadores para formulação de pesticidas para atender a demanda global de controle de pragas na agricultura;
(Sommerhuber et al., 2017)	Programa Alemão de Eficiência de Recursos (ProgRes) II;
(Mengal et al., 2017)	BBI JU - parceria público-privada (PPP) entre a Comissão Europeia (CE) e o Consórcio das Indústrias de biotecnologia (BIC);
(Serrano et al., 2017)	Proposta de digestão anaeróbica como método de gerenciamento adequado para resíduos sólidos;
(Maina et al., 2017)	Conversão de uma refinaria convencional em Porto Marghera (Veneza, Itália) em uma biorrefinaria através da tecnologia <i>ecofining</i> ;
(Dupont-Inglis & Borg, 2017)	BIO-TIC. Programa para impulsionar o setor de biotecnologia na Europa (2015);
(Mohan et al., 2017)	Criação de um ministério na Índia para coordenar esforços na área industrial e de biotecnologia.

Fonte: Elaborado pela autora

Para além dos programas e iniciativas já descritos, à medida que os conceitos de Economia Circular e Bioeconomia ganham notoriedade e impulso, eles tornam-se influentes para vários *stakeholders* como forma de apoiar ou legitimar seus interesses e atividades (D'Amato et al., 2017).

Os estudos de Lainez et al. (2016), Bell et al. (2017), Egea et al. (2017), Oldfield et al. (2017), Mengal et al. (2017), Dupont-Inglis & Borg (2017) e Mohan et al. (2017) apontam para a necessidade de cooperação entre a comunidade científica, as empresas privadas, o governo e a sociedade para que se estabeleça uma política ambiental eficaz baseada nos princípios da Bioeconomia e da Economia Circular.

Diversos setores econômicos já reconhecem a biotecnologia industrial (IB) como uma das principais forças tecnológicas da União Europeia, sendo hoje reconhecida como uma tecnologia chave para permitir uma bioeconomia mais competitiva e sustentável (Dupont-Inglis & Borg, 2017).

Nesse contexto, estudos como Oldfield, White, & Holden (2016), Seghetta et al. (2016), Egea et al. (2017), Sadhukhan et al. (2017), Oldfield et al. (2017), Hildebrandt et al. (2017), Sommerhuber et al. (2017) e Serrano et al. (2017) mostram que as empresas dos mais diversos ramos de atuação, desde o setor industrial ao setor agrícola, estão investindo em pesquisa e inovação a fim de acompanhar essa evolução. O *business-as-usual* já não se enquadra nas demandas da produção atual.

Por fim, as biorrefinarias aparecem nos estudos como uma opção verde sustentável para utilizar os resíduos e produzir uma gama de bioprodutos e biocombustíveis comercializáveis em relação à refinaria petroquímica. Elas são altamente eficientes em termos de energia e utilizam processos produtivos com resíduo zero, permitindo que as indústrias fabriquem produtos amigáveis com o meio ambiente com pequenas pegadas de carbono e água (Egea et al., 2017; Mohan et al., 2016).

Ainda nessa perspectiva, os estudos de Seghetta et al. (2016) e Lainez et al. (2016) apontam para o potencial das biorrefinarias de micro e macroalgas que se enquadram no conceito de bioeconomia azul. Os estudos mostram que as biorrefinarias de macro/microalgas (MAB) podem contribuir para uma

economia circular regenerativa por meio da restauração ambiental e da mitigação das mudanças climáticas.

Portanto, para Mohan et al. (2016) faz-se necessária a avaliação dos processos produtivos como uma estratégia integrada de modo que os modelos propostos abordem a visão da Economia Circular de ciclo fechado no qual os resíduos são valorizados por meio de vários processos biotecnológicos. Nessa mesma linha, Maina et al. (2017) acreditam que essas abordagens integradas e holísticas de utilização de resíduos orgânicos como matérias-primas industriais impulsionarão a transição para a era da bioeconomia.

## 5. Conclusão

Os estudos analisados a partir das combinações propostas entre os conceitos de Bioeconomia e Economia Circular indicam que se trata de fenômenos recentes e de crescente interesse dos pesquisadores. O método utilizado de revisão sistemática de literatura permitiu a compilação de evidências sobre o surgimento de uma nova abordagem que questiona a base econômica baseada na trajetória linear de extrair, transformar, consumir e descartar. Além disso, o estudo também esclareceu conceitos e práticas, identificou os principais periódicos, grandes áreas e países que tem se debruçado sobre o assunto.

Quanto à análise das palavras-chave, percebeu-se que a Economia Circular já se apresenta como *framework* consolidado nas pesquisas recentes, tendo sido a palavra-chave mais recorrente e mais dominante na rede. A Bioeconomia surge como a segunda palavra-chave mais relevante, com forte conexão com o termo Economia Circular, determinando importantes ligações com outras palavras-chaves como biorrefinaria, objetivos do Desenvolvimento Sustentável e Economia verde. Essa relação apontada pela literatura solidifica a ideia de que o desenvolvimento do setor da economia baseado no uso sustentável de recursos e processos biotecnológicos, a bioeconomia, deve ser um dos pilares da economia circular, uma vez que ela busca maximizar a utilização de produtos biológicos, minimizar o desperdício da cadeia produtiva. Princípios esses que coadunam com o projeto proposto pela Economia Circular, de manutenção, reparo, reutilização, remanufatura, remodelagem e reciclagem.

Como limitação do estudo aponta-se que a coleta de dados para a revisão foi limitada na medida em que a busca se restringiu apenas aos termos diretos, "*Circular Economy*"; "*Bioeconomy*" e "*Biorefinery*", embora, estes tenham vários sinônimos e conceitos associados, como ecologia industrial, metabolismo industrial, simbiose industrial e economia verde. Deste modo, o número limitado de documentos retornados na busca pode ter prejudicado a análise das publicações.

Portanto, diante dos resultados da pesquisa, o panorama que por ora se configura indica o aumento de programas e iniciativas de Economia Circular e Bioeconomia pelo mundo, bem como do uso das biorrefinarias nesse contexto e ratifica seu caráter contemporâneo. Entretanto, apesar do crescimento significativo desses conceitos, várias controvérsias permanecem em voga, considerando questões tecnológicas, sociais e de avaliação. Portanto, a discussão a partir das publicações recentes sugere uma agenda de pesquisas visando o monitoramento cuidadoso dessas iniciativas não só no que diz respeito ao custo-benefício das práticas, como também das alterações causadas nos recursos naturais e na biodiversidade do ecossistema devido ao uso de diferentes tecnologias.

## Referências

- Andersen, M. S. 2007. An introductory note on the environmental economics of the circular economy. *Sustainability Science*, 2(1), 133–140. <http://doi.org/10.1007/s11625-006-0013-6>
- Bell, J., Paula, L., Dodd, T., Németh, S., Nanou, C., Mega, V., & Campos, P. 2017. EU ambition to build the world's leading bioeconomy-Uncertain times demand innovative and sustainable solutions. *New Biotechnology*. <http://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.06.010>
- Birch, K., & Tyfield, D. 2013. Theorizing the Bioeconomy. *Science, Technology, & Human Values*, 38(3), 299–327. <http://doi.org/10.1177/0162243912442398>



- Bursztyn, M., & Bursztyn, M. A. 2012. *Fundamentos de Política e Gestão Ambiental*. Rio de Janeiro: Garamond.
- CEPAL. 2016. Horizontes 2030 a igualdad en el centro del desarrollo sostenible. In CEPAL (Ed.), *Trigésimo sexto período de sesiones de la CEPAL* (pp. 1–82). Ciudad de México.
- Cronin, P., Ryan, F., & Coughlan, M. 2008. Undertaking a literature review: A step-by-step approach. *British Journal of Nursing*, 17, 38–43.
- D'Amato, D., Droste, N., Allen, B., Kettunen, M., Lähtinen, K., Korhonen, J., ... Toppinen, A. 2017. Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues. *Journal of Cleaner Production*, 168, 716–734. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.053>
- Demirbas, A. 2009. Biorefineries: Current activities and future developments. *Energy Conversion and Management*, 50(11), 2782–2801. <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.06.035>
- Dupont-Inglis, J., & Borg, A. 2017. Destination bioeconomy - The path towards a smarter, more sustainable future. *New Biotechnology*. <http://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.05.010>
- Egea, F. J., Torrente, R. G., & Aguilar, A. 2017. An efficient agro-industrial complex in Almería (Spain): Towards an integrated and sustainable bioeconomy model. *New Biotechnology*, 6784(16). <http://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.06.009>
- Ellen MacArthur Foundation. 2017. A CIRCULAR ECONOMY IN BRAZIL: An initial exploration. Retrieved from <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/A-Circular-Economy-in-Brazil-An-initial-exploration.pdf>
- Fernando, S., Adhikari, S., Chandrapal, C., & Murali, N. 2006. Biorefineries: Current Status, Challenges, and Future Direction. *Energy Fuels*, 20(4), 1727–1737. <http://doi.org/10.1021/ef060097w>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. 2017. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Guarnieri, P., Sobreiro, V. A., Nagano, M. S., & Marques Serrano, A. L. 2015. The challenge of selecting and evaluating third-party reverse logistics providers in a multicriteria perspective: A Brazilian case. *Journal of Cleaner Production*, 96, 209–219. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.040>
- Hildebrandt, J., Bezama, A., & Thrän, D. 2017. Cascade use indicators for selected biopolymers: Are we aiming for the right solutions in the design for recycling of bio-based polymers? *Waste Management & Research*, 35(4), 367–378. <http://doi.org/10.1177/0734242X16683445>
- Lainez, M., González, J. M., Aguilar, A., & Vela, C. 2016. Spanish strategy on bioeconomy: Towards a knowledge based sustainable innovation. *New Biotechnology*. <http://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.05.006>
- Lee, D. H. 2017. Econometric assessment of bioenergy development. *International Journal of Hydrogen Energy*, 1–17. <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.08.055>
- Maina, S., Kachrimanidou, V., & Koutinas, A. 2017. A roadmap towards a circular and sustainable bioeconomy through waste valorization. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. <http://doi.org/10.1016/j.cogsc.2017.07.007>
- McCormick, K., & Kautto, N. 2013. The Bioeconomy in Europe: An Overview. *Sustainability (Switzerland)*, 5(6), 2589–2608. <http://doi.org/10.3390/su5062589>
- Mengal, P., Wubbolts, M., Zika, E., Ruiz, A., Brigitta, D., Pieniadz, A., & Black, S. 2017. Bio-based

Industries Joint Undertaking: The catalyst for sustainable bio-based economic growth in Europe. *New Biotechnology*. <http://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.06.002>

Mohan, S. V., Chiranjeevi, P., Dahiya, S., & Kumar, A. N. 2017. Waste derived bioeconomy in India: A perspective. *New Biotechnology*, 40, 60–69. <http://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.06.006>

Mohan, S. V., Nikhil, G. N., Chiranjeevi, P., Reddy, C. N., Rohit, M. V., Kumar, A. N., & Sarkar, O. 2016. Waste biorefinery models towards sustainable circular bioeconomy: Critical review and future perspectives. *Bioresource Technology*, 215, 2–12. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.130>

Oldfield, T. L., Achmon, Y., Perano, K. M., Dahlquist-Willard, R. M., VanderGheynst, J. S., Stapleton, J. J., ... Holden, N. M. 2017. A life cycle assessment of biosolarization as a valorization pathway for tomato pomace utilization in California. *Journal of Cleaner Production*, 141, 146–156. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.051>

Oldfield, T. L., White, E., & Holden, N. M. 2016. An environmental analysis of options for utilising wasted food and food residue. *Journal of Environmental Management*, 183, 826–835. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.035>

Pitkänen, K., Antikainen, R., Droste, N., Loiseau, E., Saikku, L., Aissani, L., ... Thomsen, M. 2016. What can be learned from practical cases of green economy? –studies from five European countries. *Journal of Cleaner Production*, 139, 666–676. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.071>

Sadhukhan, J., Martinez-Hernandez, E., Murphy, R. J., Ng, D. K. S., Hassim, M. H., Siew Ng, K., ... Andiappan, V. (2017). Role of bioenergy, biorefinery and bioeconomy in sustainable development: Strategic pathways for Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (June). <http://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.007>

Seghetta, M., Hou, X., Bastianoni, S., Bjerre, A. B., & Thomsen, M. 2016. Life cycle assessment of macroalgal biorefinery for the production of ethanol, proteins and fertilizers – A step towards a regenerative bioeconomy. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1158–1169. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.195>

Serrano, A., Feroso, F. G., Alonso-Fariñas, B., Rodríguez-Gutierrez, G., Fernandez-Bolaños, J., & Borja, R. (2017). Olive mill solid waste biorefinery: High-temperature thermal pre-treatment for phenol recovery and biomethanization. *Journal of Cleaner Production*, 148, 314–323. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.152>

Sommerhuber, P. F., Wenker, J. L., Rüter, S., & Krause, A. 2017. Life cycle assessment of wood-plastic composites: Analysing alternative materials and identifying an environmental sound end-of-life option. *Resources, Conservation and Recycling*, 117, 235–248. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.10.012>

Székács, A. 2017. Environmental and Ecological Aspects in the Overall Assessment of Bioeconomy. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 30(1), 153–170. <http://doi.org/10.1007/s10806-017-9651-1>

UN. 2015. United Nations Climate Change Conference. COP21. Paris, France. Retrieved from <http://www.cop21paris.org/about/cop21>

Yuan, Z., Bi, J., Moriguichi, Y., & Yuan. 2006. The Circular Economy: A New Development Strategy in China. *Journal of Industrial Ecology*, 10(1,2), 4–8. <http://doi.org/10.1162/108819806775545321>