



## **Agenda Positiva da Mudança do Clima e do Desenvolvimento Sustentável**

Relatório prospecção etanol de segunda geração  
- E2G 2030

Panorama analítico prospectivo dos biocombustíveis e  
bioprodutos



# **Agenda Positiva da Mudança do Clima e do Desenvolvimento Sustentável**

Relatório prospecção etanol de segunda geração - E2G 2030

Panorama analítico prospectivo dos biocombustíveis e bioprodutos



Brasília, DF  
Dezembro, 2018

# Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

## **Presidente**

*Marcio de Miranda Santos*

## **Diretores**

*Joaquim Aparecido Machado*

*Regina Maria Silvério*

Relatório prospecção etanol de segunda geração - E2G 2030. Panorama analítico prospectivo dos biocombustíveis e bioprodutos. Projeto Agenda Positiva da Mudança do Clima e do Desenvolvimento Sustentável. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2018.

116p.: il.

1 Bioetanol. 2 Biofuturo. 3 Bioeconomia. 4 Biocombustíveis. 5. Bioprodutos. CGEE. II. Título.

*Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)*

*SCS Qd 9, Lote C, Torre C*

*Ed. Parque Cidade Corporate - salas 401 a 405*

*70308-200 - Brasília, DF*

*Phone: (61) 3424.9600*

*Fax. (61) 3424 9659*

*<http://www.cgee.org.br>*

Este relatório é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do 2º Contrato de Gestão CGEE – 15º Termo Aditivo/Ação: Internacionalização da CT&I Brasileira /Atividade: Inserção do CGEE em Agendas Internacionais - Projeto Agenda Positiva para a Mudança do Clima e do Desenvolvimento Sustentável 52.01.50.01/MCTI/2018.

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos neste relatório poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que citada a fonte.

# **Agenda Positiva da Mudança do Clima e do Desenvolvimento Sustentável**

Relatório prospecção etanol de segunda geração - E2G 2030

Panorama analítico prospectivo dos biocombustíveis e bioprodutos

## **Supervisão**

*Regina Maria Silvério*

## **Equipe técnica do CGEE**

*Marcelo Khaled Poppe (Coordenador)*

*Eduardo Amadeu Dutra Moresi*

*Bárbara Bressan Rocha*

*Emily Caroline Costa Silva*

*Jackson Max Furtado Maia*

*Thiago Rodrigues Costa Silva*

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	8
2. CONTEXTO E PANORAMA .....	11
2.1. Bioeconomia moderna.....	13
2.2. Bioenergia sustentável .....	15
2.2.1. <i>Bioenergia e sustentabilidade</i> .....	16
2.2.2. <i>A Bioenergia e a redução de GEE</i> .....	17
2.2.3. <i>Bioenergia no setor energético</i> .....	19
2.3. Biocombustíveis .....	21
2.3.1. <i>Classificação dos biocombustíveis</i> .....	22
2.3.2. <i>Biocombustíveis no setor de transportes</i> .....	24
2.3.3. <i>Biocombustíveis avançados e bioprodutos</i> .....	28
3. ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO – E2G.....	33
3.1. Matéria-prima .....	34
3.2. Processos .....	37
3.3. Bioprodutos .....	39
3.3.1. <i>Celulose</i> .....	40
3.3.2. <i>Lignina</i> .....	42
3.4. Desafios e oportunidades.....	43
3.4.1. <i>Sustentabilidade</i> .....	44
3.4.2. <i>Recursos biológicos</i> .....	45
3.4.3. <i>Tecnologia</i> .....	46
3.4.4. <i>Custo de produção</i> .....	47
4. MERCADOS .....	50
4.1. Marcos regulatórios .....	50
4.2. RenovaBio .....	54
4.3. Mecanismos de apoio.....	56
5. INICIATIVAS DE COLABORAÇÃO INTERNACIONAL.....	57
5.1. GBEP.....	57
5.2. Plataforma para o Biofuturo (Biofuture Platform – BFP) .....	58
5.3. Missão Inovação (Mission Innovation – MI) - Desafio Inovação em Biocombustíveis Sustentáveis (SBIC) .....	60
5.4. Low-Carbon Technology Partnerships initiative (LCTPi) e Below50 .....	61
5.5. <i>World Bioenergy Association – WBA</i> .....	62
5.6. <i>IEA Bioenergy Task</i> .....	63
5.7. Agência Internacional de Energia Renovável – IRENA .....	65
6. PANORAMA ANALÍTICO PROSPECTIVO .....	67

6.1.	Mapeamento de competências .....	67
6.1.1.	<i>Biocombustíveis avançados</i> .....	67
6.1.1.1.	<i>Clusters temáticos</i> .....	69
6.1.1.2.	<i>Redes de colaboração</i> .....	70
6.1.2.	E2G - Etanol lignocelulósico .....	72
6.1.3.	<i>Clusters Temáticos</i> .....	73
6.1.3.1.	<i>Redes de colaboração</i> .....	74
6.1.4.	<i>Bioprodutos</i> .....	76
6.1.4.1.	<i>Produção científica</i> .....	76
6.1.4.2.	<i>Clusters Temáticos</i> .....	78
6.2.	Análise de objetivos nacionais selecionados .....	79
6.2.1.	<i>Panorama atual e futuro</i> .....	79
6.2.1.1.	<i>Biocombustíveis: mercado atual e metas específicas para 2030</i> .....	82
6.2.1.2.	<i>Bioprodutos: mercado atual e metas específicas para 2030</i> .....	85
6.2.2.	<i>Mecanismos de apoio</i> .....	89
6.2.2.1.	<i>Regulamentação relativa à especificação de biocombustíveis</i> .....	90
6.2.2.2.	<i>Regulamentação relativa à sustentabilidade</i> .....	91
6.2.2.3.	<i>Medidas para garantia de mercado</i> .....	94
6.2.2.4.	<i>Mecanismos de apoio à investimentos</i> .....	97
6.2.3.	<i>Motivações e desafios</i> .....	99
6.2.3.1.	<i>Biocombustíveis</i> .....	99
6.2.3.2.	<i>Bioprodutos</i> .....	101
7.	ACHADOS E RECOMENDAÇÕES .....	105
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	111

## 1. INTRODUÇÃO

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) identificou o etanol celulósico de cana-de-açúcar (ou etanol de segunda geração - E2G) como o biocombustível avançado em estágio de desenvolvimento mais próximo da comercialização, como atestam as duas unidades industriais instaladas no Brasil, três nos Estados Unidos da América (EUA) e mais uma ou duas em outros continentes (CGEE, 2017a). Os biocombustíveis e a bioenergia são absolutamente estratégicos para o progresso da bioeconomia moderna, pois proporcionam escalas de produção e consumo capazes de acelerar a curva de aprendizagem que conduz à disponibilização de matéria prima abundante e a preços competitivos, para viabilizar múltiplos processos industriais gerados em biorrefinarias, na perspectiva do surgimento da era pós-petróleo (pós-combustíveis fósseis em geral).

Por isso, nos últimos anos, o Centro desenvolveu uma série de trabalhos em torno de iniciativas nacionais e internacionais na área. Os mais recentes são: O relatório "Estado da Arte da Tecnologia E2G no Mundo - Edição revista e atualizada", consolidado em 2018 após a aplicação de um *Survey* (consulta estruturada) em biocombustíveis e bioprodutos avançados, por meio de ferramenta proprietária do CGEE, em apoio a iniciativa Biofuture Platform; O livro "Second Generation Sugarcane Bioenergy & Biochemicals - Advanced Low-Carbon Fuels for Transport and Industry" (CGEE, 2017a), lançado em novembro de 2017 na Conferência das Partes (COP 23) da Convenção do Clima (UNFCCC) em Bonn, Alemanha; e o relatório "Panorama da Bioeconomia no Brasil e Identificação das Áreas Estratégicas" (CGEE, 2017b), concluído com o objetivo de aportar subsídios para a elaboração do "Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação para a Bioeconomia" pelo Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC).

A consulta estruturada "*Survey on biofuels and bioproducts*" foi efetuada em suporte a iniciativas internacionais no âmbito da Convenção do Clima lideradas pelo Brasil, como a Plataforma para o Biofuturo (*Biofuture Platform - BFP*) - conduzida pelo Itamaraty, e na qual o Centro está envolvido desde sua gênese -

e o Desafio Inovação em Biocombustíveis Sustentáveis (*Sustainable Biofuels Innovation Challenge* - SBIC) - no âmbito da Missão Inovação (*Mission Innovation* - MI), na qual a participação brasileira é liderada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). A consulta compreendeu a concepção, teste e aplicação de um questionário, para preenchimento sob a responsabilidade dos pontos focais dos vinte países membros da BFP<sup>1</sup>, de dois países suplementares membros do SBIC/MI<sup>2</sup>, e da União Europeia, elaborado de modo participativo, contando com a contribuição ativa de organizações parceiras<sup>3</sup> e especialistas. A sondagem, realizada com o ferramental de consulta web do Centro - *Insight Survey*, compreendeu aspectos como políticas governamentais, investimentos, pesquisa e inovação, produção e comércio de biocombustíveis convencionais e avançados, e de bioprodutos, de baixo carbono. Como resultado, obteve-se uma imagem do presente, mostrando como diferentes nações, com diferentes realidades, estão lidando com a emergente bioeconomia moderna, que engloba bioprodutos, biomateriais, bioquímicos, biofármacos e bioenergia.

Esse levantamento das políticas implementadas pelos países participantes e União Europeia, que representam mais da metade da população do Planeta, também serviu de base para a confecção do documento "*Creating the Biofuture: A Report on the State of the Low Carbon Bioeconomy*", elaborado com o suporte técnico de consultoria internacional<sup>4</sup>, lançado em dezembro de 2018 na COP 24, em Katowice, Polônia.

A longa trajetória brasileira de fomento à pesquisa e ao desenvolvimento da agroindústria da cana-de-açúcar (*technology push*), aliada às políticas públicas de suporte ao desenvolvimento de mercados para os produtos da cana (*demand pull*) - misturas mandatórias de biocombustíveis nos combustíveis fósseis, motores a etanol e bi-combustíveis (*flex fuel*), cogeração e bioeletricidade - contribuíram sobremaneira para que a bioenergia, extraída de produtos da cana, atingisse uma

---

<sup>1</sup> Argentina, Brasil, Canadá, China, Dinamarca, Egito, Estados Unidos da América, Filipinas, Finlândia, França, Holanda, Índia, Indonésia, Itália, Marrocos, Moçambique, Paraguai, Reino Unido, Suécia, Uruguai.

<sup>2</sup> México e Noruega.

<sup>3</sup> dentre as quais destacam-se a Divisão de Recursos Renováveis (DRN) do Itamaraty, o Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), a Agência Internacional de Energia (IEA) e a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA).

<sup>4</sup> Carbon Trust e WayCarbon.

participação de 17,5% na oferta interna de energia no Brasil em 2017. O país é o segundo maior produtor de bioetanol do mundo, seguindo os EUA, e aquele que detém a maior participação percentual de biocombustíveis no consumo de combustíveis para transporte (27% de etanol em toda gasolina comercializada - E27; motores *flex fuel* em 90% da frota de carros novos - E100; e 10% de biodiesel em todo o diesel comercializado - B10). Essa vantagem comparativa evidencia a necessidade de estudos estratégicos e serviços de inteligência que sejam capazes de fornecer informações para tomada de decisão em direção ao desenvolvimento de biocombustíveis avançados e seus coprodutos, insumos essenciais para a mudança de patamar de produção e consumo capaz de fornecer a base para o florescimento da bioeconomia.

O presente relatório constitui mais uma contribuição do Centro no tema, e mostra a importância de se agregar valor à cadeia de produção dos biocombustíveis avançados com o aproveitamento integral da biomassa de forma sustentável, como base para o desenvolvimento da bioeconomia de forma mais ampla. Além disso, este estudo reafirma a importância crescente da bioeconomia na transição para uma economia circular, renovável e de baixo carbono, alinhada com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030.

## 2. CONTEXTO E PANORAMA

O desenvolvimento da economia moderna têm ameaçado a capacidade de resiliência e renovação dos ecossistemas terrestres. O crescimento da população, aliado com o aumento do consumo de bens e serviços, ofertados a partir de recursos fósseis finitos e não-renováveis, provoca diversos impactos ambientais negativos. O maior deles, as mudanças climáticas, provocadas pela emissão antropogênica de gases de efeito estufa, já provoca prejuízos direto na economia mundial.

Em outubro de 2018 o Painel Intergovernamental para a Mudança do Clima (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*) publicou um relatório especial para alertar o mundo sobre os prováveis impactos do aquecimento global. O relatório traz informações sobre a gravidade dos impactos para cenários considerando o aumento da temperatura na superfície menor ou maior que 1,5°C acima dos níveis pré-industriais. O relatório alerta que, se as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa (GEE) continuarem a aumentar, o aquecimento global têm alta probabilidade de atingir 1,5°C até 2050.

Em terra, de acordo com o IPCC, os impactos negativos na biodiversidade e nos ecossistemas, incluindo a perda e extinção de espécies, a produtividade de cultivos - como milho, arroz, trigo e, potencialmente, outras culturas de cereais, particularmente na África sub-sahariana, sudeste da Ásia e América Central e do Sul - também aumentam conforme a média de temperatura global aumenta. Ainda, as reduções na disponibilidade de alimentos podem ser maiores no Sahel, sul da África, no Mediterrâneo, Europa Central e Amazônia. A desigualdade social, tão evidente em muitas dessas regiões, deve tornar-se um desafio ainda mais difícil de superar à medida que o aquecimento global aumenta.

O progresso mundial em direção as ambições estabelecidas no Acordo de Paris é monitorado pela iniciativa Climate Action Tracker<sup>5</sup> (CAT). De acordo com dados levantados pela CAT, as promessas de mitigação de cada um dos países,

---

<sup>5</sup> Mais informações em: <https://climateactiontracker.org/>.

expressas nas suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (*Nationally Determined Contributions* - NDCs), se cumpridas, seriam capazes de limitar o aquecimento global em aproximadamente 3,16°C acima dos níveis pré-industriais, ultrapassando a temperatura média limite acordada na COP 21 de Paris. Logo, a soma das ambições globais informada pelos países através de suas NDCs não serão capazes de limitar o aquecimento global em 1,5°C na primeira metade do século, mesmo se forem suplementadas com aumentos na escala e ambição de mitigação após 2030. É preciso agir já.

O setor de transportes e o setor industrial juntos representam um quarto (25%) das emissões globais de gases de efeito estufa, de acordo com o relatório AR5 do IPCC. Embora tenha havido muita atenção internacional, investimento e colaboração no campo das energias renováveis, a maior parte dessa ação recente tem sido direcionada ao setor de energia elétrica. Conquanto esse interesse seja crítico e muito bem-vindo, também é preciso se fazer mais a respeito de alternativas aos combustíveis fósseis no setor de transportes e na indústria, setores onde a bioenergia poderia suprir grande parte da demanda energética, fortalecendo atores inseridos na cadeia de suprimento da bioeconomia.

Os biocombustíveis de baixo carbono são atualmente a alternativa mais rápida e barata para reduzir a intensidade de carbono do setor de transportes, sem exigir mudanças de frota e infraestrutura. Eles fazem parte da oferta de bioenergia que por sua vez está inserida dentro da bioeconomia moderna. Diversos estudos produzidos por organismos e agências internacionais apontam para o crescente e fundamental papel da bioeconomia, assim como da economia circular, na transição para uma economia de baixo carbono. O avanço da biotecnologia e a implantação de biorrefinarias modernas para a produção de biocombustíveis avançados, com perspectivas de produção de uma gama mais ampla de produtos, químicos e outros materiais à base de biomassa - além da produção tradicional de biocombustíveis convencionais, alimentos e produtos à base de madeira, como os de construção civil e papel e celulose - mostra que o avanço da bioenergia de forma sustentável será importante tanto para as ações de mitigação quanto para o alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

## 2.1. Bioeconomia moderna

A bioeconomia é a economia baseada na produção e consumo de bens e produtos feitos a partir de recursos biológicos. A humanidade, desde os tempos mais remotos, utiliza a natureza e seus recursos para construir ferramentas, vestimentas, moradia e meios para se aquecer e locomover. Logo, pode-se dizer que a bioeconomia existe desde a pré-história, passando pela idade média até chegar ao antropoceno<sup>6</sup>. Com o passar do tempo, as revoluções industriais, o emprego maciço de carvão mineral e o florescimento da indústria petróleo a partir da metade do século XIX provocaram consequências de proporções alarmantes na Terra.

Em 2018, a Global Footprint Network, organização internacional comprometida em medir a pegada ecológica (métrica que compara a demanda de recursos de indivíduos, governos e empresas com o que a Terra pode renovar), aponta que a humanidade está utilizando a natureza 1,7 vez mais rápido do que os ecossistemas do planeta Terra são capazes de se regenerar. Isso significa que atualmente a Terra leva um ano e seis meses para regenerar o que usamos em um ano. Somando-se a esse cenário catastrófico, as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa aumentam ano após ano, o que provoca o aumento da temperatura média global, que se desdobra em outros tantos desequilíbrios de ecossistemas por todo o planeta.

A população humana passou dos 7 bilhões de habitantes em 2017 e as Nações Unidas estimam que a população humana chegará até 11,2 bilhões em 2100<sup>7</sup>. Para que a humanidade possa chegar de forma sustentável e resiliente até o final deste século, é preciso uma mudança de paradigma em termos de estilo de vida. Necessitamos, portanto, de uma nova economia, que responda aos anseios das questões ambientais e que permita a sobrevivência de todas as formas de vida que existem.

---

<sup>6</sup> O termo antropoceno é usado por alguns cientistas para descrever o período mais recente na história do Planeta Terra. Mais informações em: <[ftp://ftp.iluci.org/Evan/GEOG415/Reading\\_Assignments/Anthropocene.pdf](ftp://ftp.iluci.org/Evan/GEOG415/Reading_Assignments/Anthropocene.pdf)>. Acesso em 23 novembro de 2018.

<sup>7</sup> Mais informações em: <https://population.un.org/wpp/DataQuery/>. Acesso em 18 outubro de 2018.

A bioeconomia moderna surge como um novo paradigma de desenvolvimento necessário para garantir o desenvolvimento sustentável da vida na Terra, pois é baseada em recursos biológicos renováveis, no avanço da ciência e tecnologia, na descoberta de novos materiais e em processos capazes de regenerar natureza e restaurar a resiliência dos ecossistemas. Ela pressupõe igualmente uma transição agroecológica, que reduz o uso de insumos, conserva e recupera o solo. Assim, o caminho para a “civilização da biomassa”, de acordo com Ignacy Sachs<sup>8</sup>, é uma oportunidade para a geração de trabalho decente, o resgate do trabalho em harmonia com a natureza e ainda dar a tudo isso uma viabilidade econômica. O desenvolvimento rural será repensado e um novo ciclo de desenvolvimento sustentável será estimulado<sup>9</sup>. Assim, a bioeconomia ganha força novamente e ressurgue com métodos e técnicas avançadas capazes de reverter o cenário catastrófico para o qual a humanidade tem caminhado.

A definição mais difundida de bioeconomia é dada pela Comissão Europeia<sup>10</sup> como a produção de recursos biológicos renováveis e a conversão desses recursos e fluxos de resíduos em produtos de valor agregado tais como alimentos, rações, produtos de base biológica e bioenergia. Surge como resultado de uma revolução de inovações fundamentadas nas ciências biológicas, que culminam no desenvolvimento de produtos, processos e serviços mais sustentáveis necessários para a transição para uma economia de baixo carbono.

A saúde humana, a segurança hídrica, energética e alimentar, a produção e utilização de químicos renováveis, a produtividade agropecuária e energética, o desenvolvimento de processos industriais de menor impacto ambiental, a criação de empresas de base biotecnológica e a geração de empregos altamente qualificados podem ser impactados positivamente pela bioeconomia<sup>11</sup>.

---

<sup>8</sup> Ignacy Sachs é um economista polonês, naturalizado francês. Economista e sociólogo, referenciado também como ecossocioeconomista, por sua concepção de desenvolvimento como uma combinação de crescimento econômico, aumento igualitário do bem-estar social e preservação ambiental.

<sup>9</sup> Mais informações em: <https://www.pucsp.br/catedraignacysachs/ignacy-sachs.html>. Acesso em 20 dezembro de 2018.

<sup>10</sup> Mais informações em: <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/bioeconomy>. Acesso em 17 outubro de 2018.

<sup>11</sup> Mais informações em: <https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/Bioeconomia/Bioeconomia.html>. Acesso em: 15 outubro de 2018.

A bioeconomia compreende vários setores econômicos, disciplinas acadêmicas e áreas da política. Abrange a produção de recursos biológicos renováveis e a conversão desses recursos e fluxos de resíduos em produtos de valor agregado, como alimentos, rações, produtos de base biológica e bioenergia. Desta forma, a bioeconomia é agrupada em diferentes setores da economia que produzem, processam e reutilizam recursos biológicos renováveis (agricultura, silvicultura, pesca, produtos químicos, alimentos, biomateriais e bioenergia)<sup>12</sup>.

Há uma demanda crescente em reaproveitamento de resíduos e reciclagem de materiais de base biológica - dentro do conceito de uma “economia circular” - e no desenvolvimento de uma ampla gama de produtos de alto valor agregado baseados a partir dessas fontes de biomassa. Esses produtos incluem produtos bioquímicos especiais à base de celulose ou lignina, materiais de construção, têxteis à base de madeira, bioplásticos e muitos outros (constituindo o conceito de biorefinarias). Logo, muito mais do que qualquer outro tipo de energia, a bioenergia está fortemente relacionada aos sistemas de produção que compõem a bioeconomia global.

## **2.2. Bioenergia sustentável**

A energia da biomassa, ou bioenergia, pode ser produzida a partir de uma ampla gama de matérias-primas de origem biológica usando diferentes vias de conversão. Enquanto umas já estão bem estabelecidas e totalmente comerciais, outras ainda estão em desenvolvimento, demonstração e estágios iniciais de comercialização. A bioenergia é usada para produzir calor, electricidade e combustíveis para transporte (biocombustíveis).

A viabilidade financeira e a pegada de carbono de bioprodutos primários (alimentos e rações, materiais, produtos químicos e energia) pode ser melhorada com o uso de bioenergia, ajudando a manter as indústrias existentes mais limpas e sustentáveis, criando um ambiente mais atrativo para novos projetos

---

<sup>12</sup> Fonte: Patricia D. Fuentes-Saguar, Alfredo J. Mainar-Causapé, and Emanuele Ferrari. The Role of Bioeconomy Sectors and Natural Resources in EU Economies: A Social Accounting matrix-Based Analysis Approach. Dezembro, 2017.

promovendo economias de escala que por sua vez ajudam a reduzir os custos de novas tecnologias.

Uma ampla gama de matérias-primas de biomassa pode ser usada como fonte de bioenergia. Estas incluem: culturas agroalimentares como milho, trigo, cana-de-açúcar, beterraba açucareira e óleos vegetais produzidos a partir de palma, soja, colza e outras matérias-primas; culturas não alimentares de alta produtividade (como miscanthus e cana-energia), árvores de curtas rotações (como salgueiros e eucaliptos) oleaginosas (como pinhão manso e camelina), resíduos e coprodutos das agroindústrias e da indústria madeireira; resíduos orgânicos úmidos (como lodo de esgoto), resíduos animais (como sebo bovino), efluentes líquidos orgânicos e a fração orgânica de resíduos sólidos urbanos (RSU) (IEA, 2017).

### **2.2.1. Bioenergia e sustentabilidade**

A bioenergia sustentável, além de ter um alto potencial de reduzir as emissões do setor energético (eletricidade, calor e transportes), também cria diversas oportunidades como: geração de empregos e renda para as economias rurais; aumento da segurança energética e alimentar; desenvolvimento e melhoria da gestão de resíduos; melhoria da qualidade do ar e da água; ampliação do acesso a fontes de energias limpas e modernas; arborização e recuperação terras degradadas; apoio a investimentos em infra-estrutura rural e desenvolvimento essencial para melhorar a segurança alimentar (IEA, 2017).

A sustentabilidade da bioenergia é complexa pois deve ponderar múltiplos aspectos. Cada caso deve ser julgado considerando circunstâncias específicas. Generalizações em relação à sustentabilidade das matérias-primas, combustíveis e tecnologias da bioenergia têm valor limitado e podem ser enganosas. A sustentabilidade ambiental e socioeconômica da bioenergia moderna tem sido amplamente debatida e estudada nos últimos anos.

Uma das questões mais controversas que dominou esse debate é a relação entre bioenergia e segurança alimentar. Atualmente, existe um entendimento crescente de que, inclusive, pode haver sinergias importantes entre a bioenergia e a segurança alimentar. De acordo com a obra SCOPE (2015), a bioenergia pode

melhorar os sistemas de produção de alimentos e o desenvolvimento econômico rural, mas requer boa governança. Além disso, pode estimular os investimentos na produção agrícola em áreas pobres e fornecer um sistema de troca dinâmica para produzir energia ou alimentos sempre que necessário.

A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (*Food and Agriculture Organization* - FAO), possui um pacote de apoio a tomada de decisão que disponibiliza ferramentas para avaliar as interações entre alimentos e combustíveis a nível nacional<sup>13</sup> e que pode ser utilizada por qualquer governo. Além disso, também desenvolveu um conjunto de critérios, indicadores, boas práticas e opções políticas sobre o desenvolvimento sustentável da bioenergia capaz de promover o desenvolvimento rural e a segurança alimentar<sup>14</sup> (*Bioenergy and Food Security Criteria and Indicators* - BEFSCI).

A Global Bioenergy Partnership (GBEP) também fornece orientação referente à implementação de métricas de sustentabilidade (ambiental, econômica e social) da bioenergia, como forma de garantir o progresso sustentável do setor. Por se tratar de uma iniciativa extremamente relevante, mais detalhes sobre ela serão apresentados na seção 5.1 deste trabalho.

A priorização do desenvolvimento sustentável da bioenergia e o cumprimento dos ODS são consistentes com os esforços para mitigação da e adaptação à mudança do clima. Uma análise da sustentabilidade da bioenergia, sendo conduzida como parte da iniciativa da GBEP, mostra que, como parte do uso global da biomassa (ou seja, a “bioeconomia”), o setor deverá ser impulsionado por vários ODSs, ao mesmo tempo que também irá garantir a sustentabilidade de outros (IINAS & IFEU, 2018).

### **2.2.2. A Bioenergia e a redução de GEE**

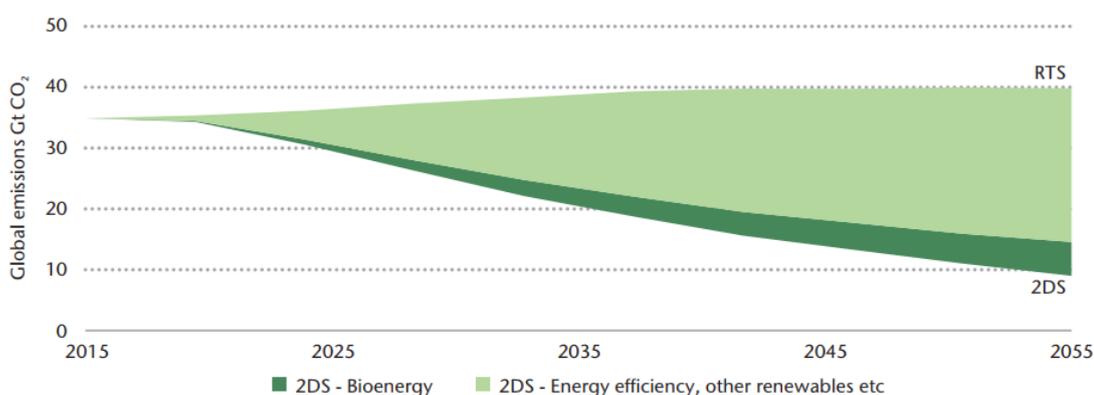
A bioenergia desempenha um papel importante na redução de emissões de GEE necessárias para direcionar a economia global para um cenário de mitigação

---

<sup>13</sup> Mais informações em: <http://www.fao.org/bioenergy/28392-0a61de8f511d0a4d08b2137bc929214a7.pdf> . Acesso em 17 outubro de 2018.

<sup>14</sup> Mais informações em: [https://openei.org/wiki/Bioenergy\\_and\\_Food\\_Security\\_Criteria\\_and\\_Indicators\\_\(BEFSCI\)\\_Website](https://openei.org/wiki/Bioenergy_and_Food_Security_Criteria_and_Indicators_(BEFSCI)_Website) . Acesso em 17 outubro de 2018.

capaz de limitar o aumento de temperatura em até 2°C (cenário 2DS)<sup>15</sup>. De acordo com a IEA, poderia proporcionar cerca de 18% do total anual de redução das emissões em 2060 (5,7 GtCO<sub>2</sub><sup>16</sup> de 31 GtCO<sub>2</sub>), e seria responsável por cerca de 17% da redução cumulativa das emissões para 2060 (128 GtCO<sub>2</sub> do total de 763 GtCO<sub>2</sub>). É, portanto, uma parte essencial do portfólio de tecnologias necessárias para promover as reduções necessárias alinhadas com as ambições do Acordo de Paris.



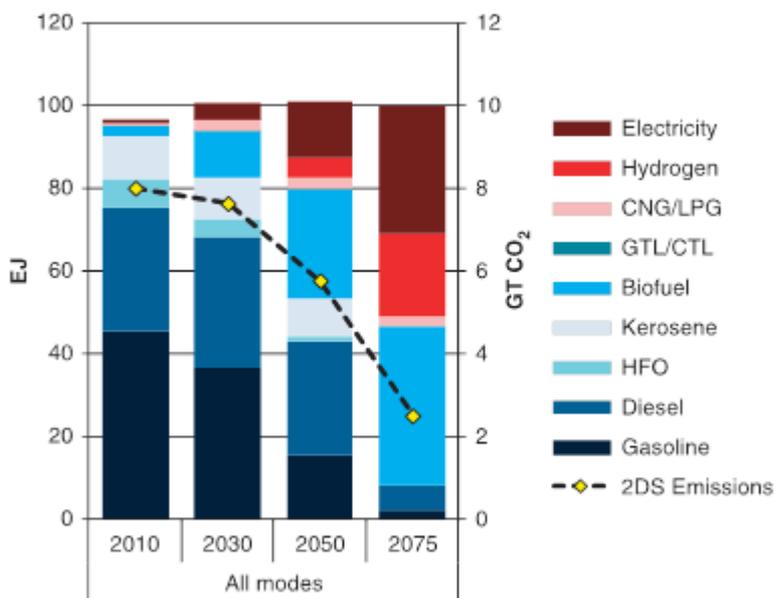
**Figura 1** - Contribuição prevista da bioenergia para a redução das emissões no 2DS  
Fonte: IEA 2017a

Considerando que as emissões associadas ao setor de transporte representam 14% das emissões globais de gases de efeito estufa em 2010 (IPCC, 2014) e que mais de 95% de sua energia vem de fontes fósseis, principalmente gasolina e diesel, uma forte expansão no uso de biocombustíveis em substituição aos fósseis será essencial para um cenário compatível com o 2DS (limitar o aumento de temperatura acima dos níveis pré-industriais em 2°C). A partir da **figura 2**, para o 2DS, nota-se o forte aumento da participação dos biocombustíveis no setor de transporte a partir do ano de 2030 para o alcance de elevados níveis de mitigação de GEE. Neste cenário, os biocombustíveis avançados terão papel estratégico devido a elevada produtividade, comparado com os biocombustíveis

<sup>15</sup> O cenário 2DS é uma terminologia criada pela IEA e amplamente usada em estudos por outras organizações internacionais. De acordo com a IEA, “O 2DS descreve um sistema de energia consistente com uma trajetória de missões que a recente pesquisa em ciência climática indica que daria 80% de chance de limitar o aumento médio da temperatura global a 2 ° C. Estabelece a meta de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas à energia em mais da metade em 2050 (em comparação com 2009) e garantir que elas continuem a cair a partir de então.” Mais informações em: <https://www.iea.org/about/glossary/s/>. Acesso em 2 dezembro de 2018.

<sup>16</sup> GtCO<sub>2</sub> = gigatoneladas de dióxido de carbono

convencionais, a partir de uma mesma quantidade de biomassa e a não-competição com produtos alimentares.



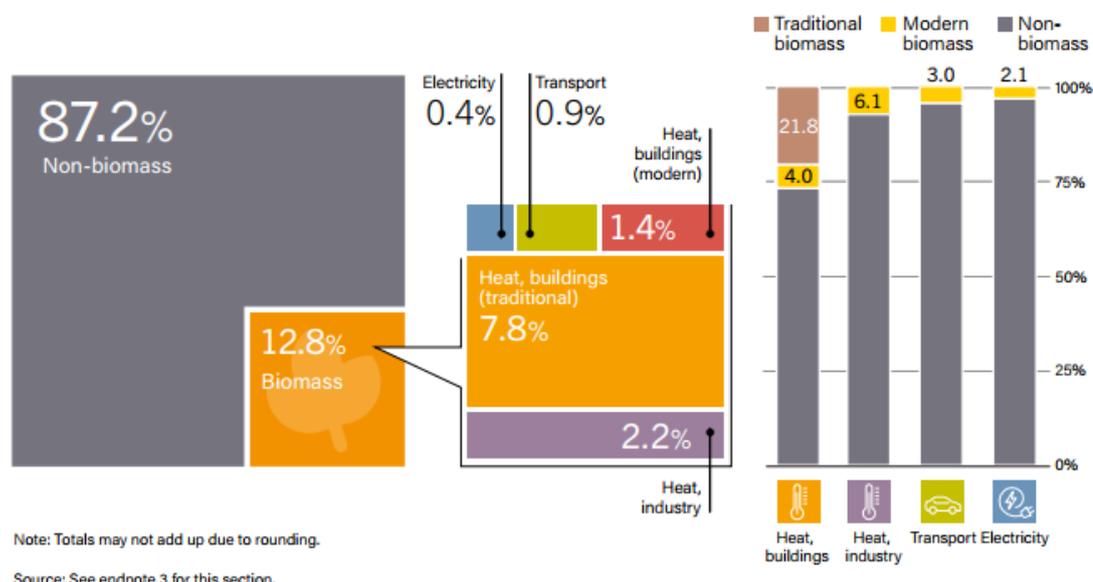
**Figura 2** - Uso energético no setor de transportes por combustível e ano e emissões totais de CO<sub>2</sub> para limitar o aumento médio da temperatura global a 2°C (2DS)  
 Fonte: Fulton, Lynd, Körner, Greene, & Tonachel, 2015

Existe um progresso significativo no desenvolvimento, demonstração e comercialização de novas tecnologias de bioenergia, principalmente com relação aos biocombustíveis avançados, mas a taxas muito mais lentas do que o originalmente previsto em estudos mais antigos da IEA como o *"Roadmap on Biofuels for Transport"*, produzido em 2011 e o *"Roadmap on Bioenergy for Heat and Power"* produzido em 2012. Entender e analisar as perspectivas dos biocombustíveis, mapeando desafios e oportunidades, é mister para promover a transição para a economia de baixo carbono.

### 2.2.3. Bioenergia no setor energético

A participação das energias renováveis no consumo final de energia deverá crescer de 10,4% em 2017 para 12,4% em 2023 - progresso mais rápido do que no período de 6 anos antecedentes. Com isso, o consumo de energia renovável expande cerca de 30% entre 2018-2023, com a bioenergia representando um terço ( $\frac{1}{3}$ ) dessa expansão, que continua a ser a maior fonte de energia renovável em 2023 por causa de seu uso considerável para calor e transportes (IEA, 2018).

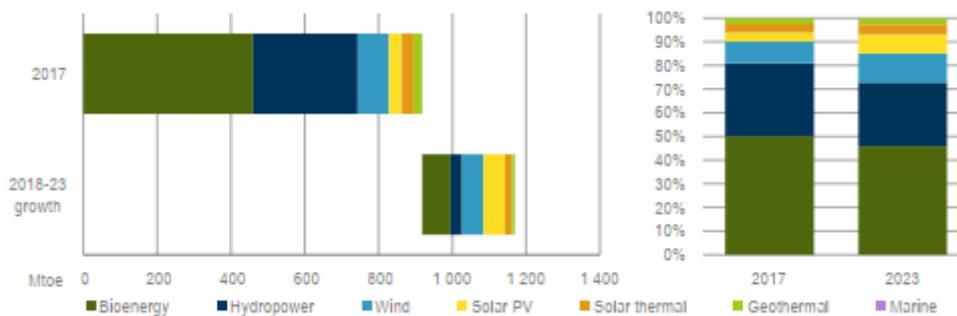
A participação da bioenergia no consumo final total de energia no mundo, incluindo os usos tradicionais da biomassa<sup>17</sup>, é de quase 13% em 2017 (**figura 3**). Já a bioenergia moderna fornece, no mundo todo, cerca de 4% da demanda de calor em edifícios e 6% na indústria, bem como cerca de 2% da geração de eletricidade e 3% das necessidades de transporte. A partir desses números, nota-se o enorme potencial de crescimento da bioenergia num mundo cuja trajetória para uma economia de baixo carbono deve prevalecer.



**Figura 3** - Participação da bioenergia no consumo e Energético final total  
Fonte: Global Renewables Status Ren21, 2018

A bioenergia obteve a maior participação no suprimento de energia renovável em 2017, representando quase 50% de todo o consumo mundial (**figura 4**). A alta penetração da bioenergia nos três setores de uso final - eletricidade, calor e transporte - justifica essa destacada participação. No ano de 2023, esse percentual caiu para cerca de 45% dada a forte expansão de solar e eólica no período. Mas, como pode ser visto no gráfico de barras à esquerda da figura 4, em números absolutos, a bioenergia lidera o crescimento do uso de energias renováveis na matriz energética global no período de 2018-2023.

<sup>17</sup> O uso tradicional de biomassa para o calor envolve a queima de biomassa lenhosa ou carvão vegetal, assim como o estrume e outros resíduos agrícolas em dispositivos simples e ineficientes.



**Figura 4** - Consumo de energia renovável por tecnologia  
 Fonte: Renewables IEA 2018

A expansão das energias renováveis no setor de transportes é a mais lenta quando comparado com calor e eletricidade, apesar da alta demanda projetada de consumo energético no setor. Em 2017 a contribuição das renováveis nos transportes é de apenas 3,4%, apresentando um tímido crescimento de menos de um ponto percentual, para 3,8% em 2023 (IEA, 2018). Esse crescimento se dará principalmente devido a expansão do uso de biocombustíveis. (REN21, 2018).

### 2.3. Biocombustíveis

Os biocombustíveis, como o bioetanol, o biodiesel e o biometano, são hidrocarbonetos derivados de biomassa renovável capazes de substituir, parcial ou totalmente, os combustíveis derivados de petróleo e gás natural, tanto para uso em motores a combustão ou em outro tipo de geração de energia. Sólidos, líquidos ou gasosos, os biocombustíveis são obtidos através de um processo de fixação biológica de carbono por meio de reações químicas. Seu ciclo de vida possui baixa emissão de gases de efeito estufa. Com isso, é peça fundamental na mitigação de gases de efeito estufa em substituição aos combustíveis fósseis, além de promover maior segurança energética<sup>1819</sup>.

No Brasil o biocombustível líquido mais usado é o etanol, que é obtido a partir de cana-de-açúcar. Em segundo lugar e em escala crescente, o biodiesel, que é produzido a partir de óleos vegetais ou de gorduras animais e normalmente é

<sup>18</sup> Mais informações em: [https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=biofuel\\_home](https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=biofuel_home). Acesso em 16 dezembro de 2018.

<sup>19</sup> Mais informações em: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/biofuels>. Acesso em 16 dezembro de 2018.

adicionado ao diesel em proporções variáveis. Cerca de 45% da energia e 18% dos combustíveis consumidos no Brasil já são renováveis. No resto do mundo, 86% da energia vêm de fontes energéticas não renováveis. Pioneiro mundial no uso de biocombustíveis, o Brasil alcançou uma posição almejada por muitos países que buscam desenvolver fontes renováveis de energia como alternativas estratégicas ao petróleo<sup>20</sup>.

### 2.3.1. Classificação dos biocombustíveis

Os biocombustíveis são classificados em convencionais e avançados. Os convencionais são frequentemente chamados de primeira geração (1G). Os avançados, de segunda geração (2G) ou terceira geração (3G). Os biocombustíveis não mudam suas características entre as gerações, o que muda são as fontes de onde o combustível é derivado.

A Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency* - IEA) considera os biocombustíveis avançados como combustíveis sustentáveis produzidos a partir de matérias-primas não alimentares, que não competem diretamente com o uso de terras agrícolas para produção de alimentos e rações e que apresentam índice reduzido de até 90% de emissões de gases do efeito estufa em comparação com combustíveis fósseis.

**Tabela 1** - Classificação dos biocombustíveis, fonte primária de produção, vantagem e desafio mais relevantes

Classificação	Fonte primária de produção / Matéria-prima	Vantagem	Desafio
Primeira geração (1G)	Culturas alimentares (milho, soja, cana-de-açúcar, etc)	Indústria estabelecida	Compatibilização com a produção de alimentos
Segunda geração (2G)	Culturas não-alimentares, resíduos agrícolas, resíduos florestais, óleo vegetal usado, etc	Redução de GEE	Otimização de rotas tecnológicas
Terceira geração (3G)	Algas	Alta produtividade	Redução dos custos de produção

Fonte: Elaboração própria.

<sup>20</sup> Mais informações em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis>. Acesso em 16 dezembro de 2018.

Os biocombustíveis de primeira geração (1G) são considerados biocombustíveis convencionais, pois são produzidos diretamente de culturas alimentares. O milho, a cana-de-açúcar e o trigo são os alimentos mais utilizados para produção de biocombustíveis de primeira geração. O etanol produzido diretamente a partir da fermentação do caldo da cana de açúcar é um biocombustível de primeira geração, apesar de ser classificado como biocombustível avançado pelo critério de redução de emissões.

Os biocombustíveis de segunda geração (2G) podem ser obtidos a partir de uma variedade de fontes. Estas incluem resíduos agrícolas associados a culturas alimentares, bem como resíduos florestais, como serragem da produção de madeira. Outras fontes incluem cultivos energéticos não alimentícios, como gramíneas de rápido crescimento – cana-energia e miscanthus - e espécies de árvores de rotação curta - choupo e eucalipto. As culturas alimentares podem contribuir para a produção de biocombustíveis de segunda geração, se elas já cumprirem o seu propósito alimentar.

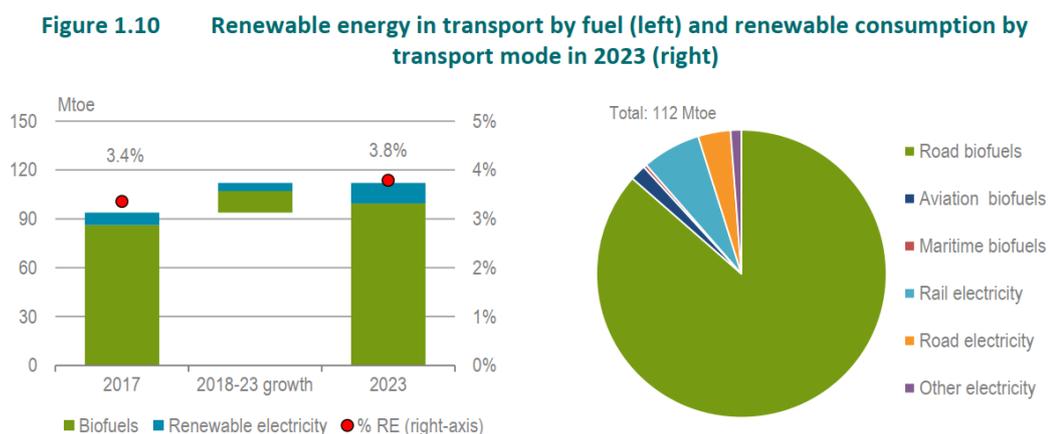
Alguns biocombustíveis de segunda geração derivam de cultivos específicos para fins energéticos, como o Switchgrass, são cultivados especificamente para atuar como biocombustível, pois são queimados diretamente para obter calor, e é um tipo de cultivo que não serve como alimento. O óleo vegetal usado também é considerado um biocombustível de segunda geração porque já foi utilizado e não é mais adequado para consumo humano. O óleo vegetal virgem, no entanto, é um biocombustível de primeira geração, apesar de em certos casos ser um co-produto, ou subproduto (sem interesse comercial) da produção de proteína vegetal (caso por exemplo do óleo versus farelo de soja).

Os biocombustíveis de terceira geração (3G) são aqueles derivados de algas. Anteriormente, as algas eram agrupadas com biocombustíveis de segunda geração. No entanto, quando se tornou evidente que as algas são capazes de atingir uma produtividade mais alta - produzir muito mais combustível com recursos reduzidos - do que outras matérias-primas, muitos sugeriram que fosse criada para sua própria categoria. As algas proporcionam uma série de vantagens, como quantidade e diversidade de produção, além de poderem ser

cultivadas de diversas formas. No entanto, a produção de algas, mesmo quando cultivadas em águas residuais, exigem grandes quantidades de água, nitrogênio e fósforo para crescer. No estágio atual do conhecimento, a produção de fertilizantes para suprir as necessidades de algas usadas para produzir biocombustível produziria mais emissões de gases de efeito estufa do que as que foram economizadas usando biocombustível à base de algas. Isso também significa que o custo do biocombustível à base de algas é muito maior do que o combustível de outras fontes<sup>21</sup>. Superar esse desafio é fundamental para viabilizar a ampla difusão dos biocombustíveis de terceira geração.

### 2.3.2. *Biocombustíveis no setor de transportes*

A participação dos biocombustíveis apresenta números tímidos perto do potencial que poderia e deveria representar nas próximas décadas dentro do cenário 2DS, como pode ser visto no gráfico à esquerda na **figura 5**. Em 2017, a participação de biocombustíveis no setor de transportes cresceu cerca de 2,5% com relação ao ano anterior e corresponde a cerca de 3% do demanda global de energia no setor. Desses 3%, mais de 90% da demanda é proveniente de biocombustíveis líquidos, conforme mostrado à direita da **figura 5**.



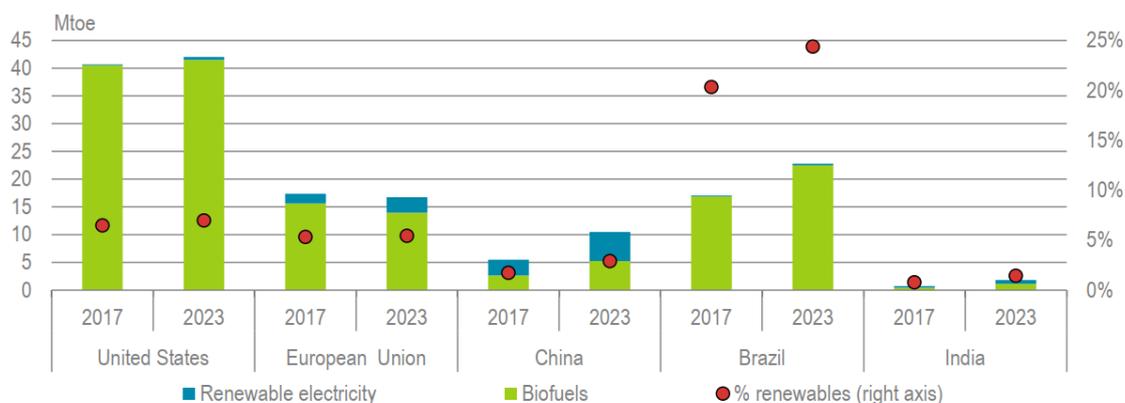
Notes: consumption in pipeline transport and unspecified uses. Electric vehicles have two to three times better fuel economy than internal combustion engine vehicles, which contributes to lower renewable energy consumption compared with biofuels.

**Figura 5** - Energia renovável no setor de transportes por combustível (esquerda) e consumo de renováveis por modos de transporte em 2023 (direita)  
Fonte: IEA 2018

No Brasil (**figura 6**), a participação de biocombustíveis no setor de transportes foi de pouco mais de 20% em 2017. De acordo com projeções da IEA, a contribuição

<sup>21</sup> Mais informações em: <http://biofuel.org.uk/third-generation-biofuels.html>. Acesso em 16 dezembro de 2018.

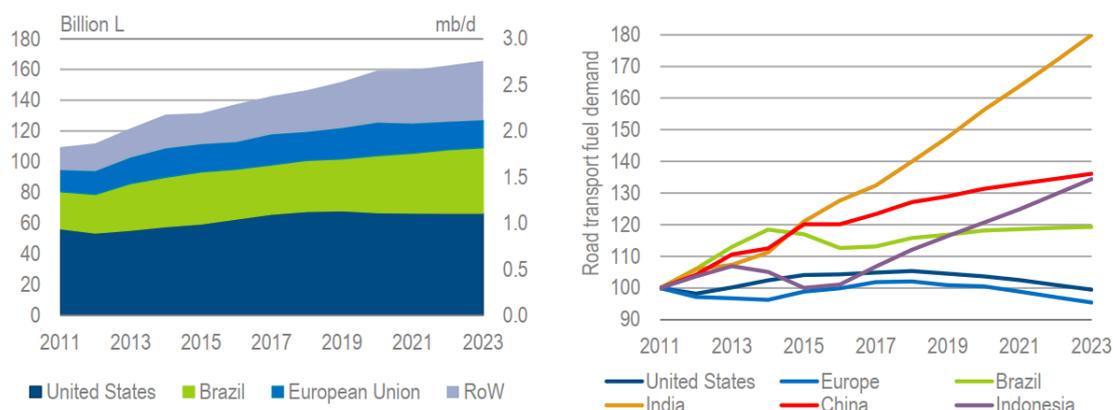
energética dos biocombustíveis no país continua a aumentar, principalmente devido a RenovaBio, nova política que entrará em vigor a partir de 2020. Assim, essa contribuição sobe 4 pontos percentuais, alcançando 24% em 2023. Neste ano, os biocombustíveis serão responsáveis por 90% da energia renovável usada nos transportes no país.



**Figura 6** - Energia renovável nos transportes e parte da demanda total de transporte em países e regiões selecionados.  
Fonte: IEA 2018

Apesar dos EUA serem o maior produtor e consumidor de biocombustíveis do mundo, o Brasil é o país com maior percentual de participação desses combustíveis no setor de transportes. Isso se deve a longa experiência do país neste mercado que começa com o programa Pró-álcool, em 1975, passando pelas sucessivas elevações de porcentagem de misturas de biocombustíveis - biodiesel e etanol - ano a ano. O histórico do governo brasileiro em apoiar e promover a diversificação dos biocombustíveis em sua matriz energética é um case de sucesso, sendo o país uma importante vitrine para a colaboração e a cooperação em iniciativas internacionais na área.

Em 2017, a produção de biocombustíveis atingiu 143 bilhões de litros (equivalente a 3,5 EJ). Os Estados Unidos e o Brasil continuaram sendo os maiores produtores de biocombustíveis, seguido por Alemanha, Argentina, China e Indonésia. Estados Unidos, Brasil e União Europeia juntos concentram mais de 80% da produção e uso dos biocombustíveis (REN21, 2018).



**Figura 7** - Produção convencional de biocombustíveis (esquerda) e demanda de combustíveis para transporte rodoviário em países selecionados (direita)

Fonte: IEA 2018

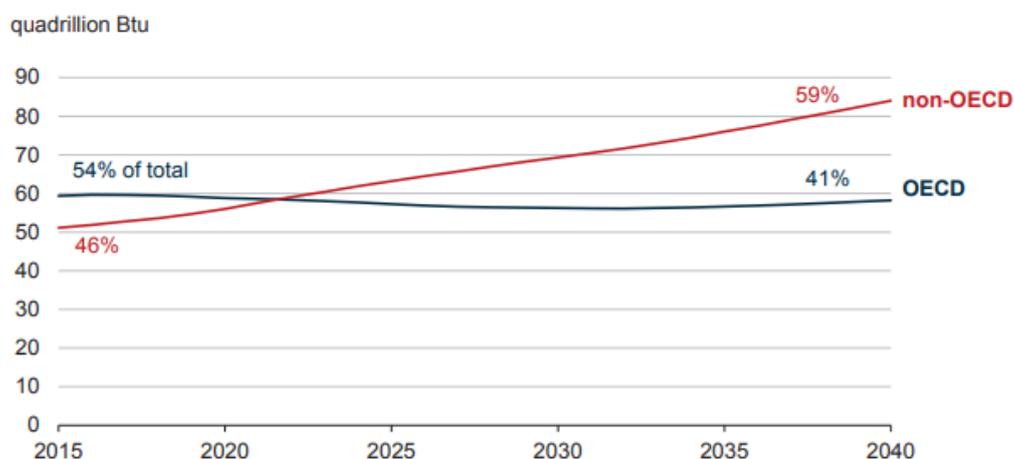
Nota: RoW = Rest of the world = resto do mundo

Na **figura 7**, observa-se um aumento considerável no consumo de combustíveis para transportes na Índia, China e Indonésia até 2023. Europa e EUA apresentam tendência inversa de diminuição da demanda, devido aos avanços tecnológicos que promovem aumento na eficiência de conversão dos veículos. Como a mistura obrigatória é o principal apoio da política para biocombustíveis, o aumento da demanda de combustível certamente irá promover o aumento do consumo de biocombustíveis.

A partir de uma projeção da *Energy Information Administration* (EIA), nos países não membros da OCDE, a demanda por energia no transporte vai aumentar 64% entre 2015 e 2040. A Ásia, incluindo China e Índia, responde por mais de 70% do aumento de combustível de transporte em países não membros da OCDE. Nesses países, a demanda por transporte individual, ou veículos leves, cujo combustível é gasolina ou gasolina com misturas de etanol será a mais forte em comparação com outras tecnologias/modais dentro do setor de transportes. Consequentemente, o consumo de gasolina e etanol cresce mais do que qualquer outro combustível de transporte nos países emergentes (EIA, 2018).

Nos países da OCDE, as melhorias na eficiência de combustível e do veículo irão resultar numa diminuição do uso de energia no setor de transporte em 2% entre 2015 e 2040. No início de 2020, o consumo de energia no setor em países não membros da OCDE deverá exceder nos países da OCDE. Em 2040, seus

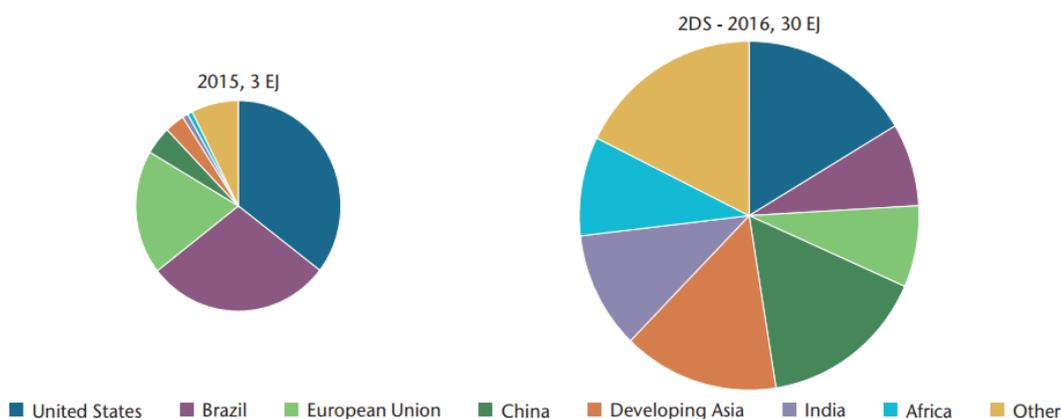
habitantes serão responsáveis pelo consumo de quase 60% de energia global relacionado ao setor (EIA, 2018).



**Figura 8** - Consumo de energia no setor de transporte.  
Fonte: IEO, 2017

Os países membros da OCDE e, principalmente, os não membros, precisam se esforçar mais a encontrar meios para aumentar a expansão das energias renováveis no consumo final de energia, particularmente no setor de transportes. A continuar no ritmo previsto, a participação será de 18% em 2040. O que é significativamente menor do que os 28% previstos dentro do cenário 2DS da IEA. Como a bioenergia têm um peso relevante nessa expansão, os desafios serão mais complexos, uma vez que a expansão da bioenergia deve aderir a rigorosas diretrizes de sustentabilidade, além das necessidades de adaptação de infraestrutura de abastecimento e de motores das frotas (IEA, 2017).

Os biocombustíveis vão precisar crescer, principalmente, na matriz energética dos países emergentes e em desenvolvimento. Esse cenário deverá demandar um esforço suplementar desses países tanto em infraestrutura quanto em políticas e regulações. A infraestrutura nesses locais é menos desenvolvida ou muitas vezes inexistente. A cadeia de suprimentos dos biocombustíveis envolve uma logística complexa de estradas para o transporte de insumos e produtos, infraestrutura de dutos e postos adequados para abastecimento, e necessidade de ampliar e adequar a frota de carros que deverá contar com motores bi-combustíveis.



**Figura 9** - Comparação da distribuição regional da demanda final de energia dos biocombustíveis em 2015 e 2060 no 2DS.  
Fonte: IEA, 2017

Os biocombustíveis, quando produzidos e usados de forma sustentável, representam a alternativa mais promissora no curto e médio prazo em substituição aos combustíveis fósseis no setor de transportes, pois é capaz de promover benefícios alinhados com os ODSs, redução das emissões de GEE, desenvolvimento local, criação de empregos e atividade econômica, dentre outros.

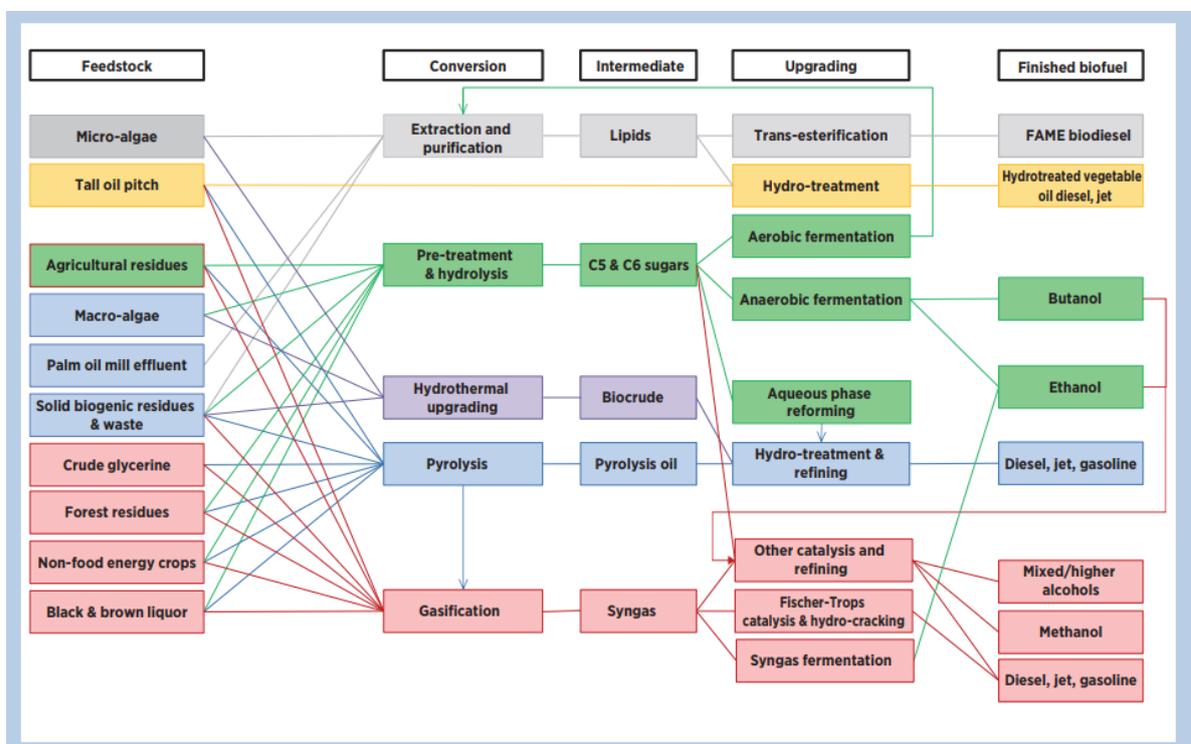
No entanto, para alavancar as oportunidades desse setor - que é marcado pela competição com fontes fósseis (frequentemente subsidiados), por debates sobre sustentabilidade, pelas incertezas políticas e pelo lento desenvolvimento tecnológico (principalmente no progresso em biocombustíveis avançados) - será necessário ampliar os esforços para demonstrar sinergias com o alcance dos ODSs, garantir efetividade nos investimentos para a inovação tecnológica, acelerar a cooperação técnica entre países, desenhar e implementar o quadro político e regulatório, além de estimular e favorecer novos negócios em todas as áreas da cadeia de suprimento do setor.

### **2.3.3. Biocombustíveis avançados e bioprodutos**

Os biocombustíveis avançados, também chamados de biocombustíveis de segunda e terceira geração, possibilitam um aumento considerável na produtividade de biocombustíveis a partir de uma mesma quantidade de

biomassa, melhorando o desempenho ambiental e econômico da cadeia produtiva.

Tecnologias diferentes são frequentemente usadas para extrair energia no caso dos biocombustíveis avançados, pois eles são derivados de tipos variados de biomassa renovável tais como resíduos da agricultura, resíduos sólidos urbanos, resíduos florestais, microalgas, efluentes de fábrica de óleo de palma e cana-de-açúcar, culturas não-alimentares de alto rendimento. A **figura 10** mostra as rotas de conversão possíveis a partir de tipos diferentes de biomassa e seus produtos biocombustíveis. As cores representam o principal processo de conversão da biomassa. A hidrólise da biomassa, para obter açúcares, seguida de fermentação anaeróbica é a principal rota tecnológica em estágio mais avançado para obtenção de butanol e etanol a partir de resíduos da agricultura.



**Figura 10** - Rotas tecnológicas dos biocombustíveis avançados

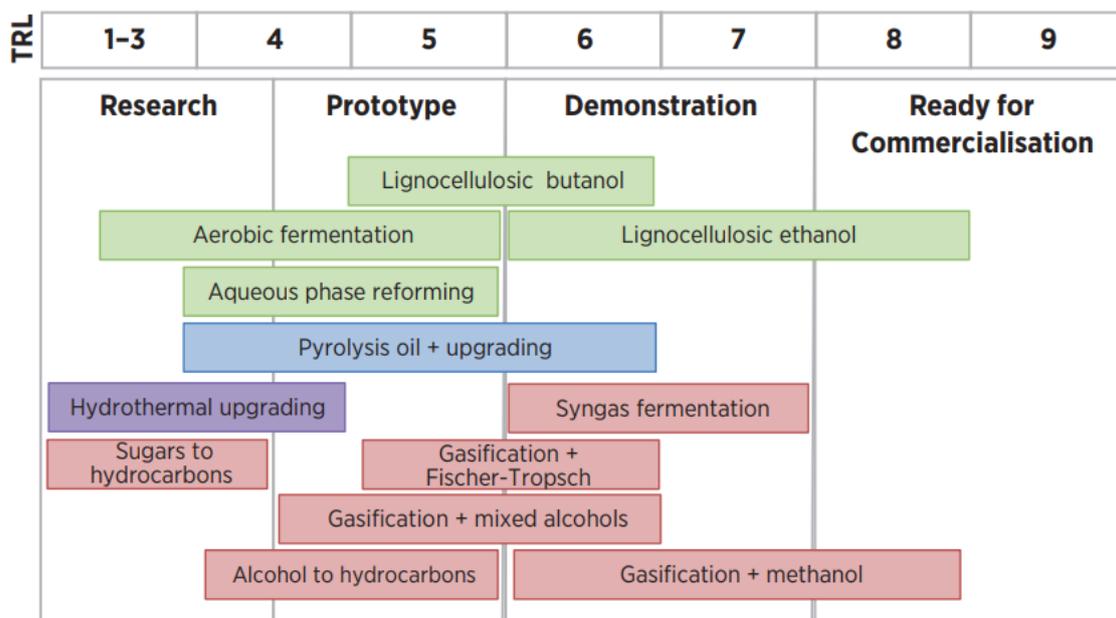
Fonte: IRENA 2016

Nota: As cores representam os principais processos de conversão de cada matéria-prima.

Os caminhos avançados de conversão de biocombustíveis estão em diferentes estágios de maturidade tecnológica. Oportunidades para inovação existem em todas as rotas de conversão. Com o avanço da ciência e da tecnologia, processos

mais bem integrados resultarão em melhorias significativas em todos as trajetórias tecnológicas de biocombustíveis avançados.

O crescimento significativo a longo prazo dos biocombustíveis no setor de transportes se baseia na ampla oferta de biocombustíveis avançados produzidos por processos que geralmente ainda não estão completamente dominados, como é o caso do etanol lignocelulósico ou E2G.



**Figura 11** - Maturidade tecnológica de tecnologias de conversão de biocombustíveis avançados.

Fonte: IRENA, 2016

Notas: 1. TRL = Technology Readiness Level; 2. As cores representam a principal rota do processo de conversão, hidrólise (verde), pirólise (azul), hidrotérmico (roxo) e gasificação (vermelho).

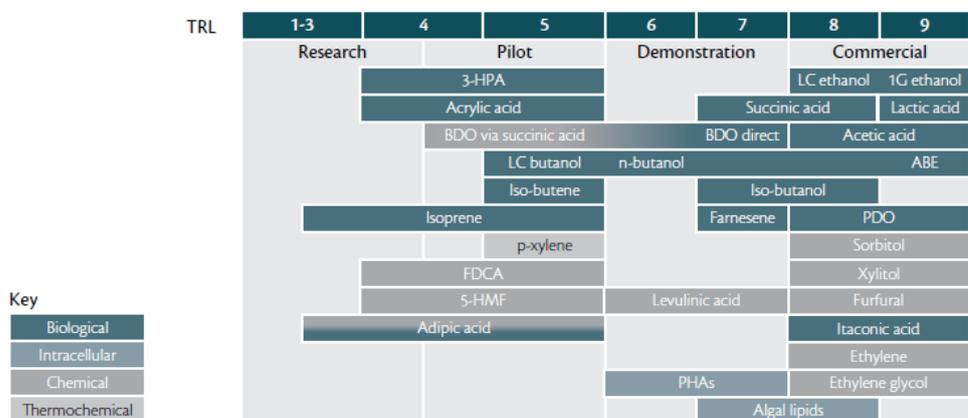
As tecnologias avançadas de biocombustíveis, como o etanol celulósico e os combustíveis substitutos de processos termoquímicos, estão em um nível de maturidade tecnológica aquém do desejável. Mesmo com a previsão de aumento da produção, eles ainda estão previstos para responder por apenas 1 a 1,5% da produção (por volume) de todos os biocombustíveis em 2023 (IEA, 2018).

A expansão da bioenergia no período até 2025 dependerá em grande medida da maior utilização de soluções com TRL<sup>22</sup> nível 8 e 9 e que tenham potencial para

<sup>22</sup> Technology Readiness Level (TRL) é um sistema de medição usado para avaliar o nível de maturidade de uma tecnologia específica. Cada projeto de tecnologia é avaliado em relação aos parâmetros para cada nível de tecnologia e recebe uma classificação de TRL com base no andamento dos projetos. Existem nove níveis de prontidão de tecnologia. A TRL 1 é a mais baixa e a TRL 9 é a mais alta. Mais informações em:

implantação acelerada - como é o caso do E2G - e do estabelecimento de políticas e condições de mercado. De acordo com a IEA, demonstrar a produção bem sucedida de plantas de etanol celulósico com produção máxima de acordo com a capacidade instalada e a produção integrada de biocombustíveis e bioprodutos ou bioquímicos em conceitos inovadores de biorrefinarias são passos essenciais na expansão da bioenergia nesse período.

Da mesma forma, a expansão dos biomateriais e bioquímicos também requer tecnologias com TRL mais maduros. Os bioquímicos desenvolvidos a partir de plataformas de açúcar (biorrefinarias que decompõem a biomassa em diferentes tipos de componentes de açúcares para fermentação ou outro processamento biológico) podem ser transformados através de processo biológico (como é o caso do etanol), químico, intracelular ou termoquímico. Alguns destes produtos estão mostrados a seguir na **Figura 12**.

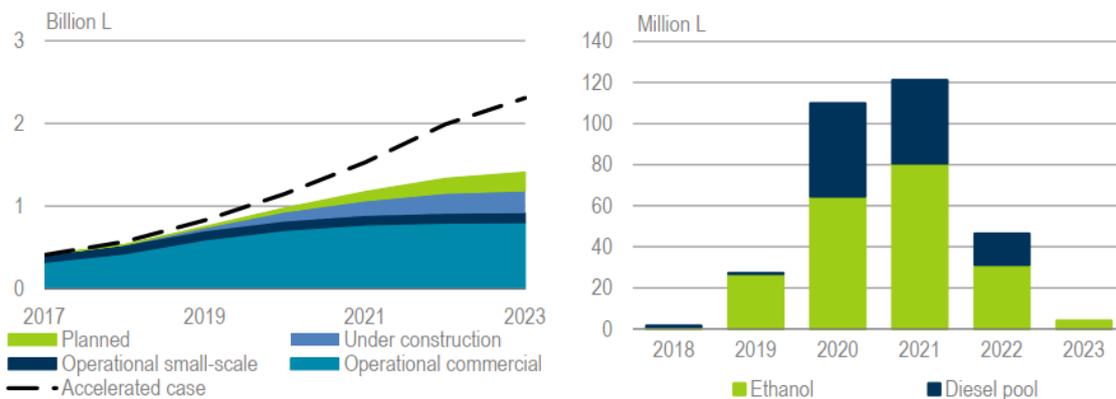


**Figura 12** - Estágio de desenvolvimento tecnológico de produtos da plataforma de açúcar selecionados. Fonte: EC-DGE

O número de projetos em biocombustíveis avançados anunciados supera de longe as instalações atualmente em construção. De acordo com as previsões da IEA, apenas um em cada cinco dos projetos anunciados deve ser entregue dentro do prazo. A premissa da taxa de entrega reflete as dificuldades que muitos projetos têm na obtenção de financiamento de projetos em tecnologias classificadas com TRLs inferiores, instrumento necessário para impulsionar novas

[https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt\\_accordion1.html](https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt_accordion1.html). Acesso em 19 dezembro 2018.

tecnologias avançadas e prosseguir para além dos estágios iniciais de desenvolvimento.



**Figura 13** - Produção de biocombustíveis avançados (esquerda) e capacidade anual adicionada (direita).  
 Fonte: IEA 2018

A produção de biocombustíveis avançados pode chegar a quase 1,5 bilhão de litros em 2023 no cenário BAU. Já no cenário 2DS, a produção passaria de 2 bilhões no mesmo ano. Para caminhar no cenário 2DS países como China, EUA, Brasil, Índia e a União Européia devem ampliar seus investimentos em CTI para áreas do conhecimento críticas como biotecnologia, engenharia genética, bioquímica, entre outras, além de promover mecanismos de geração de demanda como os mandatos de misturas obrigatórias.

### 3. ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO – E2G

O etanol de segunda geração, também chamado de etanol celulósico ou lignocelulósico, é obtido através de um processo bioquímico capaz de quebrar os polímeros que constituem a estrutura fibrosa (lignocelulósica) da matéria-prima - celulose, hemicelulose e lignina - em açúcares que por sua vez são processados para produzir etanol. O processo bioquímico para produção do E2G é feito a partir da hidrólise e da fermentação de matéria-prima lignocelulósica. Processos termoquímicos também podem ser usados para converter biomassa em etanol, mas para fins deste trabalho apenas o processo bioquímico será considerado, pois é o que se encontra em estágio mais avançado.

A produção de bioetanol convencional vai continuar, pois os custos de produção são baixos e os índices de reduções de GEE são altos. Mas a produção de bioetanol avançado de segunda geração (E2G) deve ultrapassar a do convencional na próxima década. O E2G será fundamental para garantir o provisão de biocombustíveis, pois apresenta maior produtividade frente ao bioetanol convencional, maiores reduções de emissões de GEE em seu ciclo de vida, e estágio de maturidade tecnológica já em início de comercialização.

A produção de etanol celulósico é a mais desenvolvida das várias novas rotas bioquímicas para biocombustíveis avançados, com pelo menos 5 instalações em escala comercial já construídas e comissionadas no mundo, número similar de plantas de demonstração, e mais de 40 plantas em escala piloto (IEA, 2017).

Assim, a principal rota de conversão para produção de E2G é a hidrólise enzimática da biomassa. A **Tabela 2** apresenta uma breve descrição do processo, bem como as vantagens e as desvantagens da tecnologia.

**Tabela 2** - Fermentação de etanol via hidrólise enzimática.

Processo Principal	Tecnologia	Breve descrição	Produtos	Vantagem tecnológica	Desvantagem tecnológica
Hidrólise	Fermentação ao Etanol via hidrólise da biomassa	A biomassa é pré-tratada e hidrolisada enzimaticamente para converter a	Etanol	A fermentação pode utilizar açúcares isolados de uma	O pré-tratamento e a hidrólise podem precisar de

	celulósica.	<p>fração de celulose e hemicelulose em açúcares e separar a fração de lignina (ver glossário de termos).</p> <p>As moléculas de açúcar C5 e C6 solúveis são fermentadas em etanol usando leveduras ou bactérias.</p> <p>O etanol é separado do caldo de fermentação usando destilação (veja o glossário de termos) e / ou membranas ou peneiras moleculares.</p>		<p>ampla gama de matérias-primas.</p> <p>Muitas fases do processo estão estabelecidas comercialmente, incluindo explosão a vapor, fermentação C6 e destilação de produtos. É, portanto, possível alavancar a experiência existente.</p> <p>Potencial para co-localização com usinas existentes de açúcar ou de amido.</p>	<p>adaptação às matérias-primas específicas para alcançar alta eficiência.</p> <p>As principais tecnologias de pré-tratamento têm alta demanda de energia.</p> <p>Custos de capital elevados em comparação com usinas de etanol à base de açúcar ou amido.</p>
--	-------------	---	--	---	--

Fonte: IRENA, 2016.

A seguir serão exploradas com mais detalhes questões sobre matéria-prima, processos de conversão, produtos, mercado e, por último, desafios e oportunidades do E2G.

### 3.1. Matéria-prima

A produção de bioetanol de segunda geração (E2G) se distingue da primeira geração de biocombustíveis pelo uso de biomassa lignocelulósica não-comestível como matéria-prima. O E2G é tipicamente produzido a partir de biomassa lignocelulósica, mas também é possível usar subprodutos industriais, como o soro de leite ou o glicerol bruto, como matéria-prima<sup>23</sup>. A lignocelulose é considerada uma fonte renovável e sustentável de carbono e está presente em todas as matérias-primas vegetais. A quantidade de biomassa lignocelulósica disponível depende da cultura e das condições climáticas locais.

<sup>23</sup> Mais informações em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6117988/>. Acesso em 10 outubro de 2018.

O amido e o açúcar são os componentes principais para fabricação de bioetanol. No caso do bioetanol avançado ou bioetanol de segunda geração, os resíduos agrícolas, como a palha ou o bagaço da cana de açúcar e do milho, são reaproveitados a partir de processos termoquímicos ou bioquímicos para separação da lignina e da celulose, que será convertida em etanol. Os resíduos agrícolas também são usados para nutrir e proteger o solo e para gerar eletricidade e calor a partir da queima direta. Calcular a quantidade de resíduos a ser destinado para cada aplicação é fundamental para obter ganhos de eficiência e produtividade.

Maiores rendimentos na produção de biocombustíveis podem ser alcançados a partir de melhorias na disponibilidade e qualidade da biomassa. Os potenciais máximos exploram inovações e os rendimentos de novas culturas como o caso da cana-energia. Esta variedade de cana de açúcar é projetada para maximizar o rendimento global de biomassa sem comprometer a produção de alimento, nesse caso o açúcar. Com isso, os rendimentos globais podem chegar a ordem de 200 toneladas / hectare, o que representa até três vezes mais do que variedades convencionais de cana. Dessa forma a produção de bioenergia e/ou biocombustíveis pode crescer utilizando a mesma superfície ou menos área plantada (CGEE, 2016; CTB, 2017; Junqueira et al., 2017).



**Figura 14** - Ensaios com cana-de-energia no Brasil.  
Fonte: CTBE 2017

Outra maneira de considerar a viabilidade da expansão do etanol é observar que ainda há uma enorme quantidade de palha de cana que é deixada no campo após a colheita, e o bagaço ainda é queimado muitas vezes em caldeiras de baixa eficiência. De acordo com estudo realizado pelo CGEE, admitindo que sejam

recolhidos 50% da palha e obtido um excedente de 20% de bagaço de cana-de-açúcar por tonelada de cana-de-açúcar, cerca de 95 kg de material lignocelulósico (base seca), poderia ser alocado para a produção de E2G. Assumindo um rendimento de 217 litros de etanol/tonelada de celulose (tecnologia atual), a atual produção global de cana-de-açúcar, cerca de 2 bilhões de toneladas, produziria mais de 41 milhões de m<sup>3</sup> de etanol. Apenas usando “resíduos”, sem plantar mais nenhum hectare adicional. Olhando para o futuro próximo, com as melhorias prospectivas, este valor pode ser ainda maior (CGEE, 2017a).

A sustentabilidade da produção do E2G começa com a sustentabilidade da matéria-prima que se usa para produção do biocombustível. Tendo isso em vista, a IEA preparou uma lista de ações-chave para o fornecimento sustentável de matéria-prima, elencadas na tabela 3.

**Tabela 3** - Matéria-prima sustentável: principais ações e marcos.

<b>Ações</b>	<b>Cronograma</b>
Continuar os esforços para entender o papel das florestas como sumidouro de carbono e interações com o manejo florestal sustentável e a bioenergia.	2017-25
Continuar os esforços para entender as interações entre a bioenergia e o uso da terra, incluindo o trabalho para estabelecer impactos reais da implantação da bioenergia em grande escala.	2017-25
Melhorar a análise contínua do potencial de biomassa, com particular ênfase em estudos regionais e nacionais detalhados, incluindo o potencial associado a terras agrícolas de baixa produtividade.	2017-22
Promover esforços para melhorar o rendimento agrícola global e a eficiência da produção, especialmente nas economias em desenvolvimento, através da disseminação das melhores práticas através de iniciativas internacionais de desenvolvimento.	Em progresso
Desenvolver e demonstrar em escala a co-produção de energia ao lado de alimentos e outros produtos agrícolas via agro-silvicultura e consorciação.	2017-30
Continuar a pesquisa sobre impactos prováveis das mudanças climáticas na produção de alimentos e disponibilidade de biomassa para fins energéticos.	
Desenvolver, testar e produzir culturas energéticas com maiores rendimentos, como "cana energia".	2017-25
Continuar o trabalho para avaliar o potencial de novas fontes de energia, como algas e biomassa aquática	2017- 40
Desenvolver e implementar sistemas de governança de sustentabilidade reconhecidos internacionalmente que cubram todos os bioprodutos e que	2017-25

apóiem as práticas de sustentabilidade e estimulem a inovação.	
--	--

Fonte: IEA, 2017.

Vale ressaltar que o uso de matéria-prima sustentável não é suficiente para garantir um futuro próspero para a geração de biocombustíveis avançados. Os processos de conversão dessa matéria-prima também devem observar práticas sustentáveis, que não impactem negativamente o meio ambiente, utilizando métodos e tecnologias mais ecológicas. Idealmente, com as tecnologias mais avançadas, a matéria-prima será aproveitada de forma integral através de processos integrados com geração de diversos produtos e co-produtos.

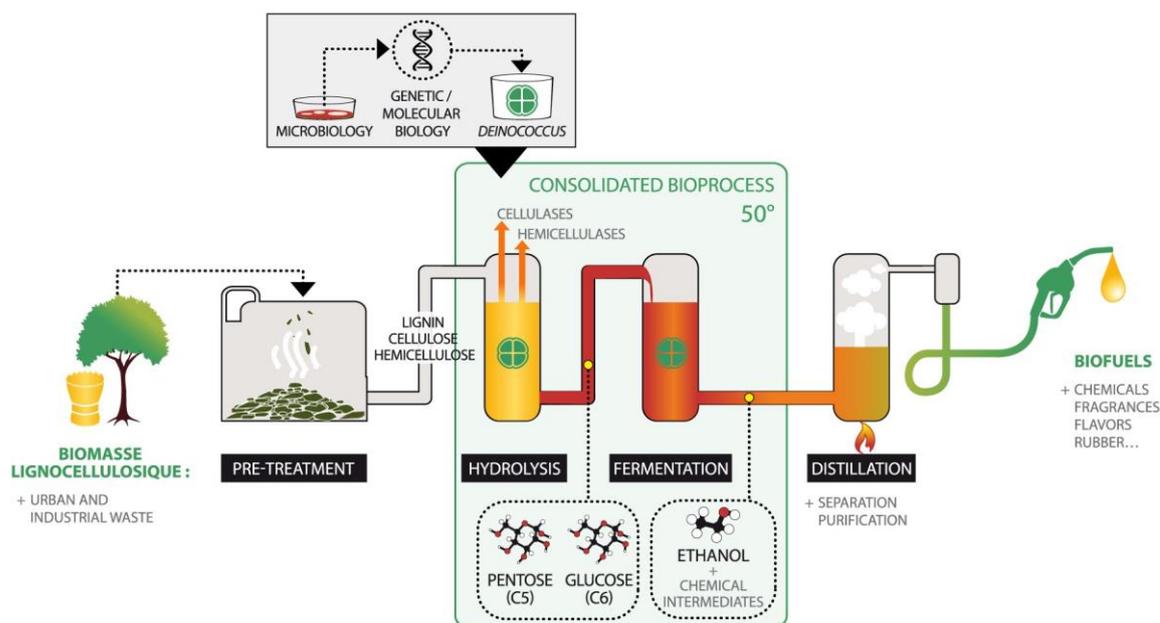
### 3.2. Processos

Os processos de conversão da biomassa em bioprodutos intermediários e finais, tais biocombustíveis, biomateriais, bioquímicos e biofármacos, ocorrem nas biorrefinarias. Estas são centrais no desenvolvimento da bioeconomia e contribuem para o princípios de uma sociedade “lixo zero”. Da mesma forma que as refinarias de petróleo, elas também podem produzir uma ampla gama de produtos, porém utilizam biomassa renovável em vez de recursos fósseis. As biorrefinarias industriais foram identificadas como as rotas mais promissoras para o avanço da bioeconomia (PŁAZA e WANDZICH, 2016).

O processo de produção de bioetanol de segunda geração possui múltiplos estágios. O primeiro é o pré-tratamento da biomassa onde os polissacarídeos<sup>24</sup> estruturais precisam ser despolimerizados. O segundo estágio é a hidrólise enzimática, onde as enzimas digerem a parede celular vegetal, liberando os açúcares C6 e C5. O próximo estágio é a fermentação dos açúcares com recuperação do etanol.

---

<sup>24</sup> **Polissacarídeos**, ou glicanos, são carboidratos que, por hidrólise, originam uma grande quantidade de monossacarídeos. São polímeros naturais. Mais informações em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc29/03-CCD-2907.pdf> . Acesso em 13 novembro de 2018.



**Figura 15** - Esquema de processo de produção do bioetanol de segunda geração.  
 Fonte: Hasunuma e Kondo, 2012.

Assim, pode-se dizer que o processo de conversão da biomassa em biocombustível possui três etapas principais: o pré-tratamento, a hidrólise e a fermentação. Métodos de pré-tratamento diferentes são usualmente combinados para obter melhores resultados. Em geral, os métodos de pré-tratamento se enquadram em quatro categorias diferentes: físico, químico, físico-químico e biológico<sup>25</sup>. Nessa etapa o principal objetivo é aumentar a acessibilidade das enzimas à biomassa e aos rendimentos de açúcares fermentáveis para otimizar o processo de hidrólise dos açúcares.

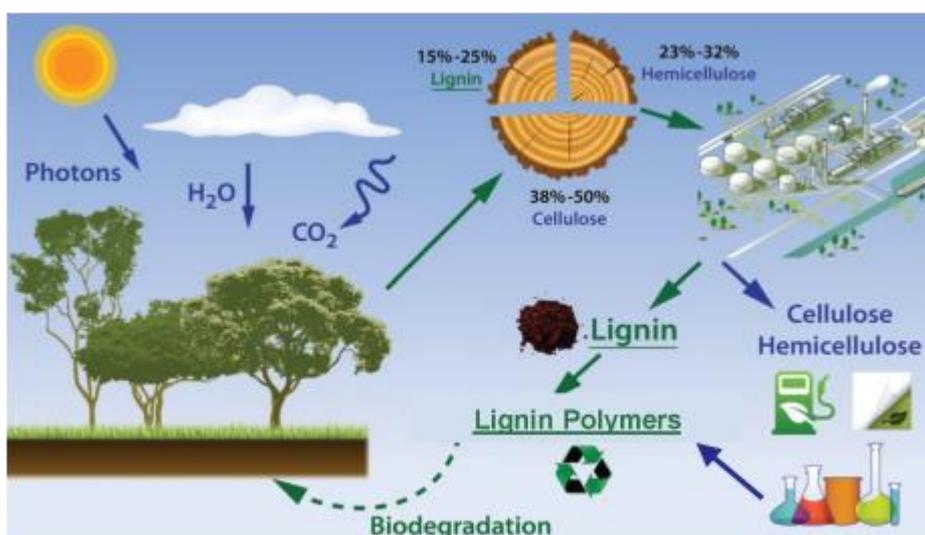
Os métodos de pré-tratamento fornecem celulose, hemicelulose e lignina desassociadas. Após o pré-tratamento obtém-se uma massa celulósica que é transformada em açúcares através do processo de hidrólise enzimática. Os açúcares obtidos a partir desses processos ficam disponíveis para fermentação em etanol, que é purificado por destilação e depois enviado ao mercado. A composição do produto final é idêntica à do etanol de primeira geração, diferindo apenas pela matéria-prima utilizada no processo de produção.

<sup>25</sup> Mais informações em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113004103>. Acesso em 13 novembro de 2018.

Os processos da etapa de conversão da biomassa lignocelulósica deixam cerca de 15% a 30% de lignina não convertida, um polímero complexo encontrado na maioria das plantas. A lignina também pode ser convertida a partir de outras rotas biotecnológicas específicas resultando em oportunidades de geração de subprodutos com alto valor agregado. No entanto, ainda existem barreiras tecnológicas para convertê-la e por enquanto é valorizada na queima para gerar calor e eletricidade ou descartada como resíduo. A composição e os usos da lignina serão abordados na seção 3.3.2 abaixo.

### 3.3. Bioprodutos

A biomassa oferece um recurso abundante e renovável para a produção sustentável de produtos químicos, fármacos, plásticos e combustíveis bio-derivados como substitutos dos atuais produtos fabricados a partir de fontes fósseis. A biomassa derivada de materiais vegetais é composta de celulose, hemicelulose e lignina. Enquanto celulose e hemiceluloses são da categoria de carboidratos, a fração de lignina é uma molécula sem açúcar. A celulose e a lignina, componentes mais abundantes da biomassa, encontram-se de forma associada nas plantas e têm a função de conferir rigidez, impermeabilidade e resistência a ataques microbiológicos e mecânicos aos tecidos vegetais.



**Figura 16** - Ciclo de vida esquemático de produtos derivados de biomassa lignocelulósica  
Fonte: Saito, T., et al. Green Chemistry 2012, 14, 3295-3303.

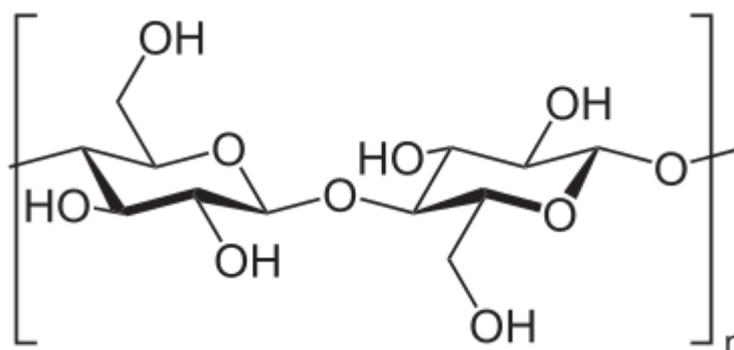
A partir da celulose e da lignina presentes na biomassa diversos produtos e coprodutos podem ser obtidos. O aproveitamento sustentável e integral dessas moléculas ainda não é bem dominado e depende do avanço da ciência e da tecnologia em diversas áreas de conhecimento tais como bioquímica e engenharia molecular.

Além disso, os bioprodutos podem ser *drop in* ou não *drop in*. Os *drop ins* são idênticos aos de base fóssil. Como substitutos perfeitos do ponto de vista de toda a cadeia a jusante, têm sua adoção facilitada. Os não *drop in*, como é o caso do bioetanol, têm a mesma função que os produtos de origem fóssil, no entanto possuem características materiais (moléculas) diferentes.

A seguir, serão descritas, de forma não exaustiva, as principais características da celulose e da lignina, bem como suas possíveis aplicações.

### 3.3.1. Celulose

A celulose é o polímero orgânico (**Figura 17**) mais abundante na Terra. O teor de celulose da fibra de algodão é de 90%, o da madeira é de 40 a 50% e a do bagaço da cana de açúcar é de aproximadamente 50%. A celulose para uso industrial é obtida principalmente de polpa de madeira e algodão<sup>26</sup>.



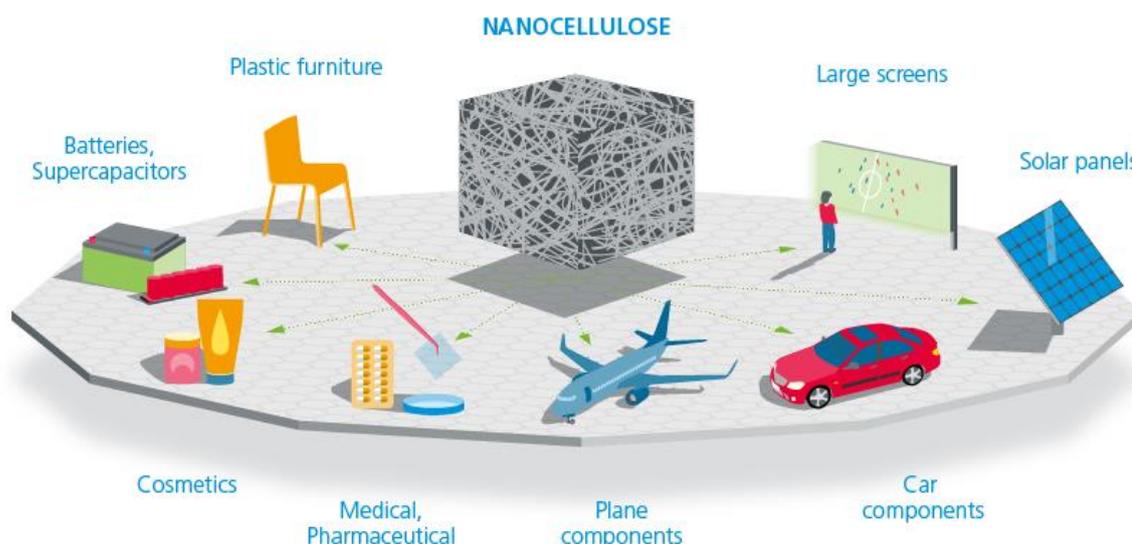
**Figura 17** - Fórmula molecular da celulose  
Fonte: Bhat, Aamir H. et al., 2017.

Algumas das principais aplicações da celulose são: fabricação de produtos de papel; fabricação têxtil a partir de algodão, linho e outras fibras vegetais;

<sup>26</sup> Mais informações em: <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/1025> . Acesso em 2 novembro de 2018.

fabricação de comprimidos de fármacos, emulsificantes, espessantes e estabilizadores em alimentos processados; cromatografia de camada fina e filtração de líquidos; produção de biocombustíveis; material de construção como alternativa ao uso de plásticos e resinas; esponjas hidrofílicas e altamente absorventes; e agente estabilizante e espessante para fármacos (Bhat, Aamir H. et al., 2017).

## Potential nanocellulose applications

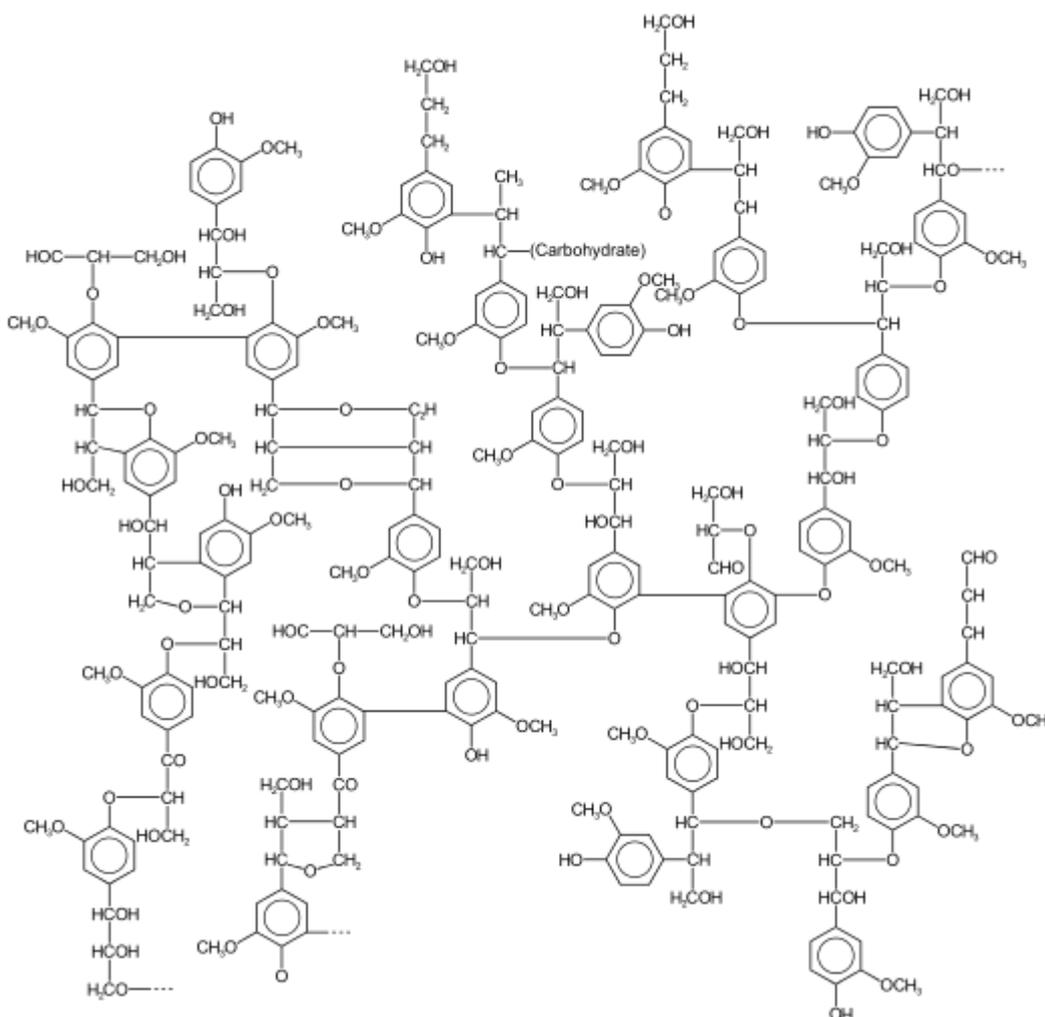


**Figura 18** - Aplicações potenciais da nanocelulose  
Fonte: Grupo GEA.

Outras aplicações que envolvem tecnologias de nanomateriais, capazes de fabricar produtos mais inovadores como telas de celulares e televisores de alta definição, ainda necessitam de mais investimento em P&D para poder colocá-las em estágio de plena comercialização. A **Figura 18** mostra algumas das diversas aplicações a partir da nanocelulose.

### 3.3.2. Lignina

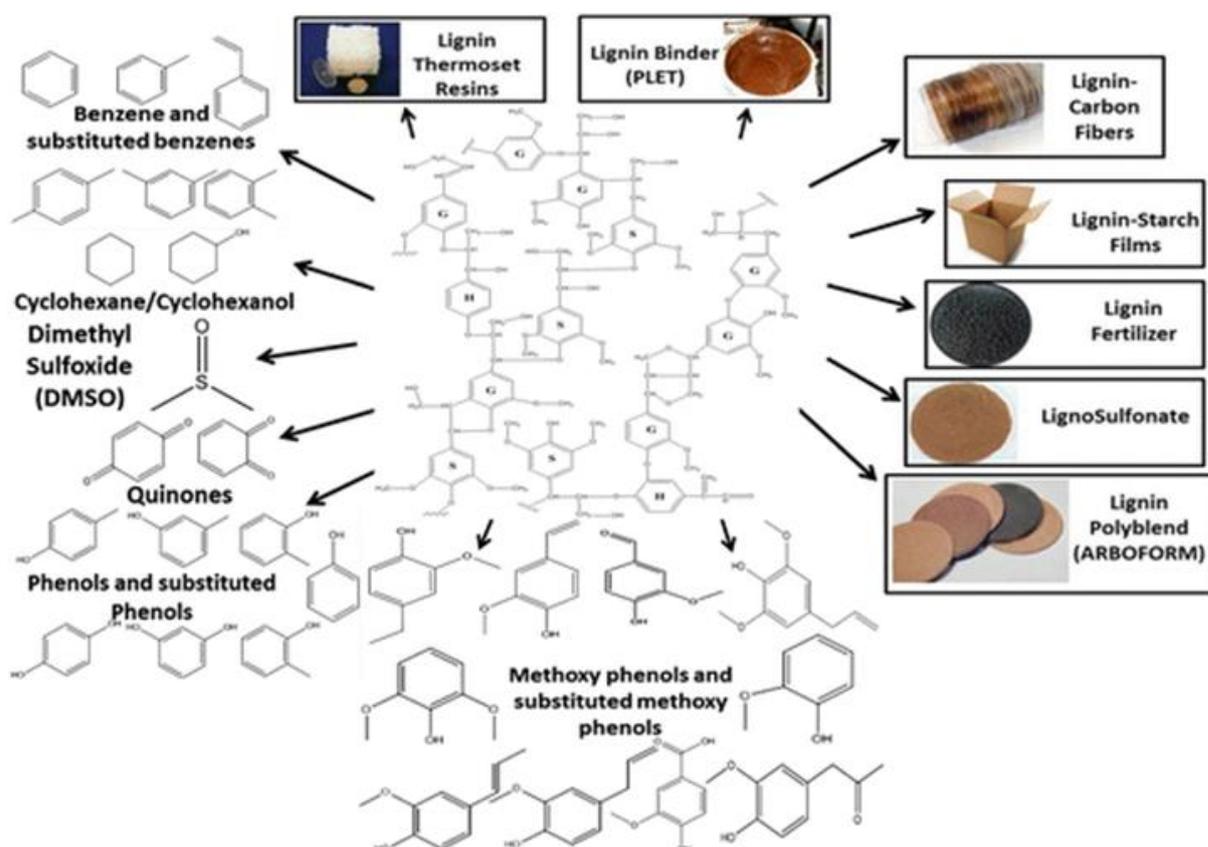
A lignina é o segundo polímero natural mais abundante em ecossistemas terrestres depois da celulose. A lignina polimérica pode ser convertida em formas aromáticas de baixo peso molecular e monoméricas, que servem como bloco de construção para sínteses químicas de produtos de alto valor. Por ser não-tóxica e versátil, existem várias rotas industriais potencialmente atraentes para a utilização mais eficaz e diversificada da lignina. As ligninas possuem, comprovadamente, uma série de benefícios para a saúde com propriedades anti-inflamatória, anti-carcinogênica, antimicrobiana, prebiótica e antioxidante<sup>27</sup>.



**Figura 19** - Fórmula molecular da lignina  
Fonte: Agrawal, A. et al., 2014.

<sup>27</sup> Mais informações em: <https://reginnovations.org/key-scientific-articles/lignin-untapped-biopolymers-in-biomass-conversion-technologies/>. Acesso em 2 novembro de 2018.

A estrutura básica da lignina (**Figura 19**) sugere que ela poderia desempenhar um papel vital principalmente na formação de materiais supramoleculares e produtos químicos aromáticos. Ela pode ser isolada por diferentes métodos de extração (enzimáticos, químicos e mecânicos), resultando em produtos intermediários como ligantes, fibras de carbono, dispersantes, fenóis e materiais plásticos.



**Figura 20** - Aplicações da lignina  
 Fonte: Tian, Xiaofei et al., 2016.

A lignina também pode ser processada para obter produtos finais como carvão ativado, combustível para motores, sorvente, surfactante, vanilina, dentre outros<sup>28</sup>.

### 3.4. Desafios e oportunidades

Os desafios de expansão e comercialização do E2G são muitos e vão desde questões de mudança e uso do solo, cultivo de biomassa com maior produtividade e conteúdo de fibras, passando pelo desenvolvimento de enzimas

<sup>28</sup> Mais informações em: <http://www.thescitech.com/admin/includes/abstractpdf/2014-10-0753be85c91339f.pdf> . Acesso em 2 novembro de 2018.

mais eficientes, disponibilidade de equipamentos com menor custo, desenvolvimento de políticas públicas específicas até, e não limitado a, maiores investimentos em P&D. Junto a cada desafio surge uma oportunidade, pois cada desafio superado - por se tratar de um setor muito promissor - é capaz de impulsionar benefícios ambientais, sociais e econômicos a nível local e global. A seguir, são apresentados desafios e oportunidades relativos a sustentabilidade, fontes de recursos biológicos e renováveis, tecnologia, cadeia de suprimento e custos de produção.

Nos últimos anos o etanol vem enfrentando dificuldades para ampliar sua participação como fonte de energia em escala global, por questões inerentes ao próprio mercado, sobretudo em função da queda dos preços dos combustíveis derivados do petróleo e dos subsídios a eles alocados. Ao mesmo tempo, a indústria ainda enfrenta temores ligados aos impactos e limitações da produção em larga escala de biocombustíveis. Entre os principais, o suposto dilema entre a produção de biocombustíveis e de alimentos ainda tem motivado discussões sobre a imposição de restrições ao uso de biocombustíveis produzidos a partir de matérias-primas alimentares, assim como à emergência da bioeconomia moderna.

### **3.4.1. Sustentabilidade**

Para que um produto de base biológica seja sustentável, uma análise completa deve ser feita, considerando aspectos de sustentabilidade ambiental, social e econômica. Além disso, devem ser usadas definições adequadas de sustentabilidade e uma boa conceituação da complexidade. Essa complexidade é revelada pelos 24 indicadores definidos pela GBEP e envolve a identificação de recursos, processos, partes interessadas, produtos e suas interações relevantes.

Nota-se cada vez mais que o alcance dos ODSs passará necessariamente pelo desenvolvimento da bioeconomia. Isto é, o desenvolvimento da bioeconomia de forma sustentável apoia o alcance de vários ODS. IINAS & IFEU (2018) mostram que o desenvolvimento da bioenergia moderna pode impulsionar o alcance de diversas metas dos ODSs. No entanto, muitas vezes a falta de informação e de

conhecimento sobre as relações harmoniosas entre bioenergia e ODSs pode levar a dogmas já superados, como é o caso da competição com alimentos.

### **3.4.2. Recursos biológicos**

O estabelecimento de uma bioeconomia sustentável baseada em biomassa lignocelulósica exigirá uma mudança fundamental na forma como os recursos biológicos são produzidos, processados e transportados para as usinas e biorrefinarias. Atualmente, a expansão na produção de recursos biológicos renováveis resulta de uma combinação de expansão de terras cultiváveis e aumento de produtividade. Para atender a crescente demanda do mercado de biocombustíveis de forma sustentável, o aumento da produtividade deve ser o foco.

Novas variedades de biomassa lignocelulósica que proporcionem altos ganhos de produtividade precisam ser desenvolvidas e ir para o mercado. Variedades com alto rendimento já estão sendo testadas para serem lançadas no mercado, como a cana-energia e o *Miscanthus*. Além disso, melhores técnicas e máquinas para coletar, carregar e transportar a matéria-prima até a usina ou biorrefinaria também são essenciais para superar os altos custos da etapa agrícola da cadeia de suprimentos do setor.

Agroecologia, conservação e recuperação de solos, consorciação agrosilvopastoril, fixação de nitrogênio e carbono, controle biológico de pragas, são oportunidades reais da economia baseada em recursos biológicos renováveis. A produção de recursos biológicos de forma sustentável com correto uso do solo, baseado em ciência, tecnologia e inovação é capaz de resgatar a resiliência de ecossistemas degradados. O desenvolvimento de culturas, maquinário e sistemas de transportes mais eficientes adequados às necessidades e às condições climáticas locais será fator essencial para o sucesso da bioeconomia moderna e sustentável, além de melhorar a competitividade no mercado internacional.

### **3.4.3. Tecnologia**

O desafio tecnológico para produção de E2G começa com o pré-tratamento da biomassa. Pois é através da etapa de pré-tratamento, onde ocorre um processo em que a estrutura lignocelulósica é rompida, que a fração hemicelulósica é separada dos açúcares, que por sua vez tornam-se mais acessíveis para as etapas seguintes do processo de produção do E2G. Outro desafio na produção de bioetanol de segunda geração é a decomposição eficiente de celulose em monômeros de açúcar (hidrólise). Devido ao caráter recalcitrante da celulose, é necessário o pré-tratamento da matéria-prima e uma etapa de hidrólise adaptada para obter monômeros de açúcar fermentáveis.

Atualmente, essas etapas são custosas e intensivas em energia, o que ainda limita a viabilidade econômica do bioetanol de segunda geração. Nenhum dos métodos de pré-tratamento utilizados atualmente para desconstrução da biomassa é universalmente vantajoso em relação aos outros, e eles variam em seus resultados dependendo do tipo de matéria-prima, e configurações de processo a jusante, entre outros fatores.

Fatores como corrosão, abrasão e entupimento de canalizações são problemas muito encontrados nos equipamentos na etapa de pré-tratamento. A corrosão, um dos maiores desafios desta etapa, ocorre devido à presença de material particulado e sílica na matéria-prima colhida. Outro desafio a ser superado é com relação ao transporte de materiais, que com frequência, ainda não possuem equipamentos adequados ao transporte. Os equipamentos utilizados, adaptados ou não, apresentam entupimento de canalizações e válvulas, e travamento de roscas.

Mais pesquisas em soluções de engenharia são necessárias para tornar os processos de coleta e pré-tratamento da biomassa de baixo custo, menor intensidade energética e capazes de converter uma grande variedade de biomassa lignocelulósica, que contêm tanto açúcares celulósicos quanto hemicelulósicos, em combustíveis e produtos químicos.

O desenvolvimento de tecnologias que configurem um processo de produção mais interessante do ponto de vista financeiro, incluindo a melhoria da utilização da celulose e da hemicelulose, é o principal desafio para o futuro desenvolvimento de biocombustíveis de segunda geração.

De acordo com a Embrapa<sup>29</sup>, a fermentação dos açúcares redutores obtidos após a hidrólise dos materiais lignocelulósicos é um estágio crítico para atingir um processo técnico economicamente mais satisfatório. A hidrólise da hemicelulose, por exemplo, fornece pentoses (xilose e arabinose), carboidratos que não são diretamente fermentescíveis por leveduras industriais, sendo a biotransformação destas pentoses a etanol um dos desafios mais importantes a resolver no âmbito científico e tecnológico. Ainda da hemicelulose resultam hexoses tais como: glicose, manose e galactose, sendo necessário linhagens de levedura específicas para produção de etanol. A fermentação das pentoses a etanol continua sendo uma barreira tecnológica difícil de superar. Poucos micro-organismos possuem a capacidade de fermentar as pentoses a etanol.

Dada a importância do tema para a Embrapa, existem linhas de pesquisa específicas em andamento. São elas:

- Procedimentos de seleção e melhoramento de leveduras que fermentam naturalmente as pentoses a etanol;
- Desenvolvimento de linhagens recombinantes de *Sacharomyces cerevisiae*;
- Seleção de bactérias termofílicas; e
- Seleção de bactérias mesofílicas.

#### **3.4.4. Custo de produção**

Os Custos de produção do etanol 2G atualmente ainda estão maiores que a produção do etanol convencional, isso acontece devido ao preço das enzimas utilizadas no processo de hidrólise. Essas enzimas possuem custos elevados, e

---

<sup>29</sup>

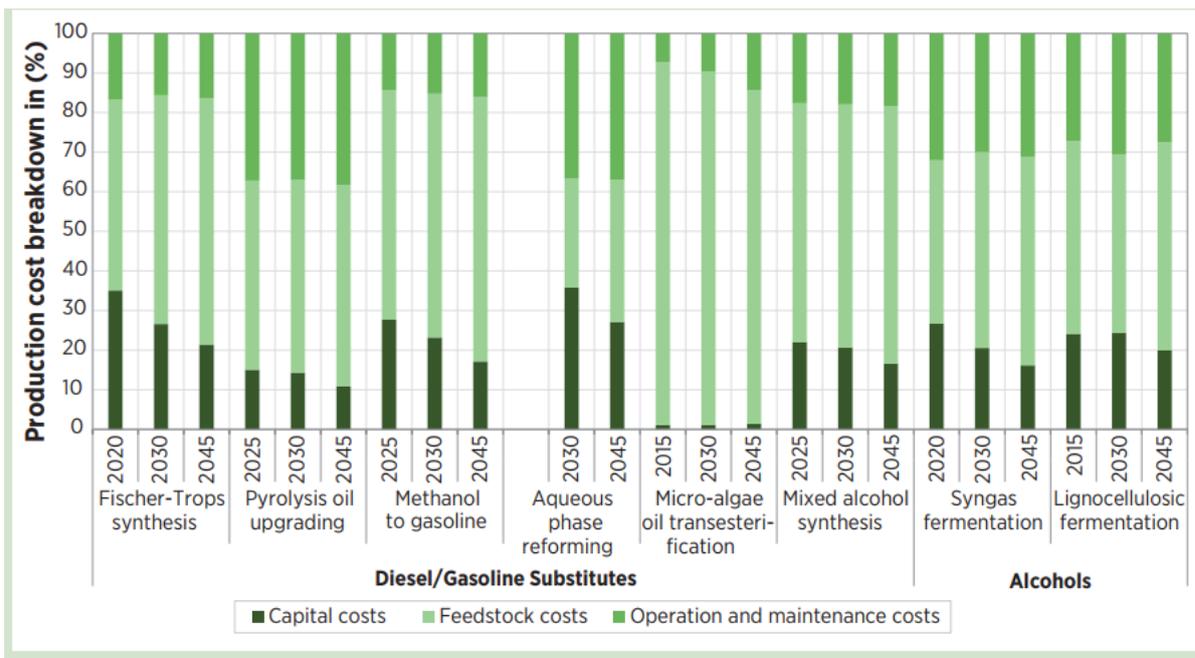
atualmente o mercado enzimático é dominado por três grandes empresas estrangeiras a dinamarquesa Novozymes, a holandesa DSM e a americana DuPont, estudos mostram que as enzimas são responsáveis por cerca de 20% a 40% do custo total de um litro de etanol de segunda geração. Entretanto as pesquisas atuais apontam que a tendência é que ocorra a redução dos preços, principalmente pelo avanço tecnológico e pela redução do custo da enzima que hoje é o maior custo dentro dos insumos utilizados, com isso os preços devem se tornar igual ou inferior ao custo de produção do etanol de primeira geração. Investidores e empresas continuam estudando formas de baratear a produção do biocombustível, inclusive com estudo de fungos que liberam enzimas que poderiam ser utilizadas na produção do E2G, trazendo economia para essa etapa do processo.<sup>30</sup>

Estudos apontam que a adoção da tecnologia de segunda geração tem a capacidade de elevar a produção do combustível limpo em até 50% com a mesma área plantada (SCOPE, 2015), minimizando a necessidade de ampliação das áreas agrícolas para produção de matéria-prima. Com a evolução tecnológica, os custos de produção do E2G serão gradativamente reduzidos, permitindo que seja competitivo mesmo com valor do barril de petróleo próximo de US\$ 40<sup>31</sup>.

---

<sup>30</sup> Mais informações em :<https://www.unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2017/11/06/grupo-consegue-dobrar-volume-de-enzimas-para-producao-de-bioetanol-de-2a>. Acesso em 4 dezembro de 2018.

<sup>31</sup> Mais informações e: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/4283/1/BS41-De%20promessa%20a%20realidade%20como%20o%20etanol%20celul%C3%B3sico%20pode%20revolucionar%20a%20ind%C3%BAstria%20da%20cana-de-a%C3%A7%C3%ACar.pdf> . Acesso em 4 novembro de 2018.



**Figura 21** - Declining capital-cost shares in advanced biofuels production

Nota: Todos os dados foram convertidos de gigajoules para litros com base em valores mais baixos de aquecimento. O custo de produção é dado em USD por litro.

Fonte: Elaboração própria.

A composição de custos ainda é um dos principais desafios para a comercialização. A participação no custo da matéria-prima é de 40% a 70% dos custos totais de produção. Esse percentual pode aumentar com o tempo, à medida que os custos de capital diminuem e o desenvolvimento tecnológico torna a conversão mais barata e mais eficiente. Estabelecer cadeias de suprimento de matérias-primas com processos de corte, carregamento e transporte (CCT) mais eficientes, portanto, é crucial para o sucesso dos biocombustíveis avançados.

O projeto SUCRE (Sugarcane Renewable Electricity) desenvolvido pelo CNPEM/CTBE e financiado pelo *Global Environmental Fund* (GEF) têm realizado um bom trabalho na identificação de melhores práticas de CCT que podem servir para todo o setor de bioenergia e, de forma mais ampla, até ao setor da bioeconomia como um todo. O projeto tem como objetivo principal aumentar significativamente a produção de eletricidade com baixa emissão de gases de efeito estufa na indústria de cana-de-açúcar, por meio do uso da palha produzida durante a colheita.

## 4. MERCADOS

Com a introdução do etanol de 2ª geração (E2G), que após longo período de pesquisa e desenvolvimento finalmente atingiu a escala de plantas industriais, espera-se ampliação do consumo mundial de etanol, haja vista a diversidade de matéria-prima e o maior nível de aceitação do E2G entre diversos países. Esse reconhecimento se deve, sobretudo, à capacidade superior do E2G em evitar emissões de CO<sub>2</sub> em comparação com os biocombustíveis de primeira geração e à utilização de resíduos agrícolas como fonte de matéria-prima. Do ponto de vista da oferta, é esperada a entrada de novos países produtores e exportadores no mercado, na medida em que qualquer país com resíduos agrícolas ou florestais têm potencial de produzir o E2G, o que deve contribuir para a criação de um mercado global.

### 4.1. Marcos regulatórios

O mercado de biocombustíveis tem sido impulsionado por uma série de marcos regulatórios no mundo todo. Os mandatos de mistura são um dos mecanismos mais usados pelos países. No quadro a seguir são mostrados os mandatos de misturas que estão vigentes até o ano de 2016 por país.

**Tabela 4** - Mandatos globais de mistura de biocombustíveis.

País	Mandato
África do Sul	E5
Angola	E10
Argentina	E10 e B10
Austrália	Estado: Em Nova Gales do Sul E6 e B2; E2 em Queensland.
Bélgica	E4 e B4
Brasil	E27.5 e B10
Canadá	Nacional: E5 e B2 Provincial : E5 e B2 em Alberta, E5 e B4 na Colúmbia Britânica, E8.5 e B2 em Manitoba, E5 e B3 em Ontario, E7.5 e B2 Saskatchewan.

	Oferece E85 em alguns postos.
Colômbia	E8
Coreia do Sul	B2.5 e B3 de 2018
China	E10 em nove províncias
Costa Rica	E7 e B20
Equador	B5
Estados Unidos	<p>Nacional: O padrão 2 de Combustíveis Renováveis (RFS2) requer que 136 bilhões de litros de combustível renovável sejam misturados anualmente no combustível de transporte até 2020. O RFS para 2013 foi reduzido em 49,21 bilhões de litros (13 bilhões de galões)</p> <p>Estado: E10 no Havaí; E2 e B2 na Louisiana; B5 em Massachusetts; E20 e B10 em Minnesota; E10 em missouri e Montana; B5 no Novo México, E10 e B5 no Oregon, B2 um ano depois de 200 milhões de galões e B20 um ano depois de 400 milhões de galões na Pensilvânia; E2 e B2; aumentando para B5 180 dias após a matéria-prima em estado, e a capacidade de moagem de sementes oleaginosas pode atender a exigência de 3% em Washington</p>
Etiópia	E10
Filipinas	E10 e B5
França	E5
Guatemala	E5
Índia	E5
Indonésia	E3 e B5
Itália	Mistura de biocombustíveis avançados de 0,6% até 2018; 1% até 2022.
Jamaica	E10
Malásia	B5
Moçambique	E10 em 2012-2015; E15 em 2016-2020; E20 para 2021
Noruega	B3.5
Panamá	E7 e E10 de abril 2017
Paraguai	E25 e B1
Peru	E7.8 e B2
Sudão	E5
Tailândia	E5 e B5

Turquia	E2
Ucrânia	E5; E7 de 2017
Uruguai	E5 e B5
Vietnã	E5
Zimbábue	E5, ara se aumentado para E10 e E15 (sem previsão de entrada)

Fonte: UNCTAD, 2016.

De acordo com a IEA, em 2010, apenas cerca de 30 países tinham mandatos para biocombustíveis em vigor. Em 2017 este número tinha triplicado sob a influência de políticas internacionais para descarbonizar o transporte, melhorar a segurança do fornecimento de energia e apoiar as indústrias agrícolas estratégicas. Ainda, a maioria dos mandatos requer níveis relativamente baixos de mistura de biocombustível (por exemplo, <10% em volume ou energia), com raras exceções do Brasil (27% de etanol) e da Indonésia (20% de biodiesel). Os Estados Unidos, o Brasil e os países europeus introduziram quadros políticos para exigir o consumo de biocombustíveis, bem como medidas de governança para garantir que sejam cumpridas.

Brasil e China estão em processo de implementação de políticas que devem aumentar significativamente o consumo de biocombustíveis. O Brasil já possui política de mistura de bioetanol na gasolina de 27% e uso extensivo de etanol hidratado (E100), não misturado, em veículos flex. Outros países, como Canadá, França e Suécia, também já possuem veículos flex utilizando a mistura E85. No Brasil, a mais recente política desenhada para fortalecer a economia da produção de biocombustíveis, impulsionando o investimento em novas capacidades e saídas de plantas antigas e ineficientes, é o programa RenovaBio. Já a China irá ampliar seu mandato de 10% de mistura de etanol para todo o país, o que irá resultar num aumento expressivo da demanda.

Assim, outros mecanismos de mercado, para além dos mandatos de misturas também devem compor o ambiente de apoio e fomento aos biocombustíveis avançados. A **Tabela 5** mostra políticas que estão sendo adotadas por

importantes economias do mundo com impacto positivo no mercado de biocombustíveis.

**Tabela 5** - Desenvolvimentos recentes nas políticas e mercados de biocombustíveis para o setor de transporte.

Setor	Região	Política	Impacto na previsão
Transporte	China	Ambição para lançar 10% de misturas de etanol em todo o país até 2020.	
	Brasil	Programa RenovaBio: firmado em lei e previsto para começar em 2020.	
	Índia	Nova política nacional de biocombustíveis promulgada para ampliar a gama de matérias-primas.	
	União Européia	Acordo preliminar para a Diretiva de Energia Renovável (RED) pós-2020 com meta de transporte de 14%.	
	Argentina	Direitos antidumping levantados sobre as exportações de biodiesel para a UE, mas impostas para os EUA.	
	Reino Unido	Uk Transporte Renovável: obrigação de combustível, meta de longo prazo para 2032.	

Fonte: IEA, 2018. Adaptado pelo autor.

A Índia aprovou uma nova política nacional de biocombustíveis em 2018 que delineia várias medidas para apoiar produção avançada de biocombustível, incluindo incentivos fiscais adicionais, um preço de compra biocombustíveis convencionais e apoio ao investimento de US \$ 77 milhões em seis anos. A Índia já possui duas instalações de biocombustíveis avançados em escala de demonstração, e seu quadro político apoia a ambição das empresas nacionais de comercialização de petróleo em encomendar 12 refinarias avançadas de biocombustível (IEA, 2018).

A União Europeia inicia, a partir de 2020, uma mudança na sua política de apoio aos biocombustíveis, enfraquecendo o apoio aos biocombustíveis convencionais e reforçando a necessidade de se estabelecer as condições ideais para desenvolver os mercados de biocombustíveis avançados. O acordo provisório para a REDII, cobrindo o período de 2020-30, tem como alvo 14% de participação das energias renováveis no consumo final de energia do setor de transportes em 2030. Sob o acordo provisório, o uso de novos biocombustíveis avançados deve

se expandir para atender a demanda de energia final do transporte de 0,2% em 2022, 1% em 2025 e 3,5% em 2030<sup>32</sup>. Nos Estados Unidos, o suporte a políticas é fornecido pelo RFS2<sup>33</sup>, que define os volumes anuais de conformidade para categorias dedicadas de biocombustíveis celulósicos produzidos a partir de culturas não alimentares, incluindo etanol de segunda geração.

Diversos países grandes consumidores de energia e de combustíveis ainda não possuem metas e mandatos nacionais de mistura de biocombustíveis. Para que o mercado de biocombustíveis continue crescendo, os mecanismos regulatórios e de cooperação precisam ser intensificados e aprimorados.

A medida que esses mandatos sejam instituídos, será demandado um esforço notável na expansão da produção de biocombustíveis em muitos países. As tecnologias mais modernas - desde o uso de biomassa adequada, plantio e colheita eficientes, até os processos de produção de biocombustíveis, principalmente, via rotas avançadas - deverão estar disponíveis e acessíveis para que a oferta sustentável dos biocombustíveis seja garantida.

Uma análise do potencial de comércio futuro indicam que, até 2030, Europa Ocidental, Índia, China e Japão devem se tornar grandes importadores de bioenergia, enquanto Canadá, América do Sul, África Central e Federação Russa podem se tornar grandes exportadores (IEA, 2018).

## **4.2. RenovaBio**

O programa RenovaBio é uma Política Nacional de Biocombustíveis lançada no Brasil em dezembro de 2016, desenvolvida pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e diversos colaboradores de todas as esferas da sociedade, e tem como fundamento a previsibilidade e a sustentabilidade ambiental, econômica e social. O governo sancionou a lei que cria a RenovaBio para incentivar a produção de biocombustíveis e, assim, conseguir cumprir os compromissos estabelecidos na COP21 no Acordo de Paris, além de dar previsibilidade ao mercado.

---

<sup>32</sup> Mais informações em: <https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2018/11/13/european-parliament-approves-redii/>. Acesso em 5 novembro de 2018.

<sup>33</sup> Mais informações em: <https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/renewable-fuel-standard-rfs2-final-rule>. Acesso em 8 dezembro de 2018.

O programa não têm previsão de possuir um sub-alvo dedicado para biocombustíveis avançados. No entanto, as maiores reduções nas emissões de GEE de biocombustíveis avançados em comparação com os biocombustíveis convencionais significa obtenção de mais créditos de descarbonização (denominados certificados CBIO) para um determinado volume de combustível no âmbito do programa. Isso pode fazer com que a produção adicional de etanol celulósico em instalações de etanol de cana-de-açúcar sejam mais atraentes financeiramente<sup>34</sup>.

A Política possui valores e eixos estratégicos. Entre os valores dessa política estão: competitividade, credibilidade, diálogo, eficiência, previsibilidade e sustentabilidade. Já entre os eixos estratégicos são quatro os principais definidos: papel dos biocombustíveis na matriz energética, regras de comercialização, equilíbrio econômico, financeiro e socioambiental e, por fim, novos biocombustíveis .

Na prática a RenovaBio proporciona ganhos de eficiência energética e incentiva a redução de emissão de gases causadores do efeito estufa em toda a cadeia de produção e consumo. Segundo o MME , essa política possui três objetivos principais:

- Fornecer uma importante contribuição para o cumprimento dos compromissos assumidos pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris;
- Promover a adequada expansão dos biocombustíveis na matriz energética, com ênfase na regularidade do abastecimento de combustíveis; e
- Assegurar previsibilidade para o mercado de combustíveis, induzindo ganhos de eficiência energética e de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa na produção, comercialização e uso de biocombustíveis.

---

<sup>34</sup> Mais informações em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/programas/renovabio/principal> . Acesso em 9 dezembro de 2018.

### **4.3. Mecanismos de apoio**

Enquanto a bioenergia sustentável é peça chave para a descarbonização profunda da economia em diversos cenários, os mecanismos de regulação e financeiros são peça chave para promover a ampla difusão da mesma. A experiência de países como EUA e Brasil, mostra quão importante são o contexto regulatório e os investimentos públicos para viabilizar tanto a demanda quanto a oferta da bioenergia, principalmente, através de tecnologias modernas e avançadas.

A compreensão de questões associadas à bioenergia precisa ser incorporada nas políticas, regulamentos e sistemas de certificação que definem boas práticas e que são complementadas por uma sistema de execução adequado que garanta o uso das melhores práticas de fato. É provável que os esquemas de certificação sejam importantes para projetos de larga escala, especialmente onde a bioenergia matérias-primas ou produtos são comercializados internacionalmente. Projetos de menor escala, no entanto, podem ser complementados com base nas boas práticas dos sistemas pois os custos de certificação pode ser proibitivos.

Uma governança robusta é necessária para garantir que tais políticas e regulamentos sejam cumpridos. Quando mecanismos adequados de monitoramento e controle são implementados pelos formuladores de políticas, a bioenergia pode crescer e avançar com a confiança de que ela produzirá resultados benéficos. Esses mecanismos devem incluir desde o produtor da biomassa, passando pelos processos das biorrefinarias até a entrega do produto para o consumidor final. Essa rota inclui, por exemplo, a certificação de terceiros nas cadeias de fornecimento de combustível de biomassa para garantir que sejam sustentáveis e abrangentes.

Enfim, uma análise adicional de produção regional, especificação e padrões de uso, bem como possíveis barreiras ao comércio, serão importantes para facilitar a elaboração de mecanismos de apoio e a evolução do mercado.

## 5. INICIATIVAS DE COLABORAÇÃO INTERNACIONAL

Em 2018, o mundo conta com diversas iniciativas que apoiam o desenvolvimento do mercado de biocombustíveis, promovendo o uso e o desenvolvimento sustentável da bioenergia. A seguir, são examinados com mais detalhes alguns desses programas.

### 5.1. GBEP

A *Global Bioenergy Partnership* (GBEP) é uma iniciativa intergovernamental que reúne mais de 70 membros, da sociedade civil, do governo e do setor privado, fundada em 2006 com o intuito de apoiar "a implantação de biomassa e biocombustíveis, particularmente em países em desenvolvimento onde o uso de biomassa é predominante"<sup>35</sup>.

Os formuladores de políticas devem garantir que estruturas adequadas sejam estabelecidas para fornecer bioenergia sustentável. O primeiro passo para garantir as melhores práticas é entender os critérios usados para avaliar a sustentabilidade. Sendo assim, o GBEP produziu em 2011 um relatório de indicadores de sustentabilidade da bioenergia. Este relatório é um recurso valioso para ajudar os países a avaliar e desenvolver a produção sustentável e o uso de bioenergia. Os indicadores do GBEP são reconhecidos entre as partes interessadas como representando as principais questões que precisam ser consideradas na construção de políticas e regulamentos para apoiar a implantação sustentável da bioenergia.

**Tabela 6** - Indicadores de Sustentabilidade GBEP.

<b>Meio Ambiente</b>	<b>Social</b>	<b>Econômico</b>
<b>1.</b> Ciclo de vida das emissões de GEE.	<b>9.</b> Alocação e posse de terras para nova produção de bioenergia	<b>17.</b> Produtividade
<b>2.</b> Qualidade do solo	<b>10.</b> Preço e oferta da cesta básicas nacional de alimentos	<b>18.</b> Balanço energético líquido

<sup>35</sup> Mais informações em:

[http://www.globalbioenergy.org/fileadmin/user\\_upload/gbep/docs/ENGLISH\\_Background\\_note\\_GBEP\\_Setember\\_2016\\_FINAL.pdf](http://www.globalbioenergy.org/fileadmin/user_upload/gbep/docs/ENGLISH_Background_note_GBEP_Setember_2016_FINAL.pdf). Acesso em 13 de dezembro de 2018.

3. Níveis de colheita de recursos madeireiros	11. Mudança na renda	19. Valor bruto adicionado
4. Emissões de poluentes não GEE, incluindo gases tóxicos	12. Empregos no setor de bioenergia	20. Mudança no consumo de combustíveis fósseis e uso tradicional de biomassa
5. Uso da água e eficiência	13. Mudança no tempo não remunerado gasto por mulheres e crianças coletando biomassa	21. Treinamento e requalificação da força de trabalho
6. Qualidade da água	14. Bioenergia usada para expandir o acesso a serviços modernos de energia	22. Diversidade de energia
7. Diversidade biológica na paisagem	15. Mudança na mortalidade e na carga de doenças atribuíveis à fumaça interna	23. Infraestrutura e logística para distribuição da bioenergia
8. Uso da terra e mudanças no uso da terra relacionadas à produção de matéria-prima da bioenergia	16. Incidência de lesões, doenças e fatalidades no trabalho	24. Capacidade e flexibilidade do uso de bioenergia

Fonte: IEA 2017a. Adaptado pelo autor.

Desde 2006, a GBEP recebeu novos mandatos do G7<sup>36</sup> e, desde 2013, também o reconhecimento e apoio do G20<sup>37</sup>. Na última reunião realizada em dezembro de 2018, o Grupo de Atividades 8, sobre biocombustíveis líquidos avançados, foi formalmente estabelecido sob a liderança dos EUA, dentro de uma perspectiva de uma ampla bioeconomia moderna, confirmando a expectativa da transição da economia baseada em recursos fósseis para aquela baseada em recursos biológicos renováveis.

## 5.2. Plataforma para o Biofuturo (Biofuture Platform – BFP)

A Plataforma para o Biofuturo (BFP) foi lançada em 2016 na 22ª Conferência do Clima das Nações Unidas, realizada em Marrakesh. Trata-se de uma iniciativa orientada para a ação e liderada por países, com o objetivo de promover o diálogo e a colaboração entre governos, organizações, academia e setor privado,

<sup>36</sup> “O **Grupo dos Sete (G7)** é um grupo internacional composto por: [Alemanha](#), [Canadá](#), [Estados Unidos](#), [França](#), [Itália](#), [Japão](#) e [Reino Unido](#).” Mais informações em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/G7>. Acesso em 5 de dezembro de 2018.

<sup>37</sup> “**G20 (abreviatura para Grupo dos 20)** é um grupo formado pelos ministros de finanças e chefes dos [bancos centrais](#) das [19 maiores economias do mundo](#) mais a [União Europeia](#).” Mais informações em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/G20>. Acesso em 5 de dezembro de 2018.

empenhados em acelerar o desenvolvimento e difundir soluções modernas da bioeconomia.

A Plataforma visa apoiar ações globais no combate às mudanças climáticas, fomentar soluções em transporte de baixo carbono e a bioeconomia, reforçando a importância e a necessidade de atenção a essas áreas para a transição para uma economia de baixo carbono, como ocorre com outras fontes de energias renováveis tais a solar e a eólica. Ações como essas podem ajudar os países a aprimorar e alcançar suas metas de Contribuição Nacionalmente Determinada (NDCs), bem como contribuir para a implementação dos ODS.

Em parceria com o CGEE desde a sua gênese BFP realizou, em 2017, uma consulta estruturada com todos os países membros da BFP para coletar informações sobre o estado da arte dos biocombustíveis avançados e bioprodutos. O Survey também explorou metas para biocombustíveis e bioprodutos para o horizonte 2030. O panorama analítico prospectivo dos biocombustíveis e bioprodutos, realizado neste estudo, utiliza dados deste Survey. A seção 0 deste relatório trata especificamente sobre esta análise.

Em 10 de dezembro de 2018, em Katowice, Polônia, foi realizado durante a UNFCCC COP24 um evento, intitulado "Ampliando a bioeconomia sustentável: um novo capítulo para a Plataforma para o Biofuturo", onde oficializou-se a transferência da função de Facilitador da iniciativa para a IEA. No mesmo evento foi lançado o relatório "Criando o Biofuturo", que aponta as principais barreiras ao crescimento da bioeconomia e formas de superá-las. O Survey realizado pelo CGEE contribuiu para a elaboração do recém-lançado estudo.

A nova configuração da Plataforma para o Biofuturo está registrada no Documento de Governança ("Biofuture Governance Framework") aprovado pelos membros da iniciativa. Com a nova governança o Brasil passa ocupar a presidência ("chair") da iniciativa e a IEA, como já citado, assume o papel de facilitador ("facilitator")

### **5.3. Missão Inovação (Mission Innovation – MI) - Desafio Inovação em Biocombustíveis Sustentáveis (SBIC)**

A Missão Inovação (MI) é uma iniciativa global com o objetivo de promover a aceleração drástica de inovação em energia limpa, da qual fazem parte 23 países. A Mission Innovation foi anunciada em 30 de novembro de 2015, na COP 21 em Paris. Como parte dessa iniciativa, os países participantes comprometeram-se a dobrar seus investimentos de pesquisa e desenvolvimento de energia limpa pelo governo ao longo de cinco anos (2015-2020), buscando também incentivar um maior nível de investimentos do setor privado em tecnologias de energia limpa.

A Mission Innovation possui sete desafios de inovação, que foram definidos através de um processo colaborativo entre os membros participantes. O comprometimento com qualquer um dos desafios é completamente voluntário e é desenvolvido a partir de uma aliança com os membros do MI que estejam interessados.

O Desafio Inovação em Biocombustíveis Sustentáveis (SBIC) é um dos desafios definidos no âmbito da MI. Ele se apoia nos trabalhos individuais e em colaboração dos países envolvidos e de instituições internacionais, como a Agência Internacional de Energia (IEA), a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA) e a Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD). Este desafio é coliderado pelo Brasil e atuando em conjunto com a Plataforma Biofuturo, cujos objetivos são bastante complementares e tem agido de forma colaborada. Nesse sentido, destaca-se que alguns países, tais México e Noruega, que não fazem parte da BFP, se agregam ao esforço coletivo por meio do SBIC.<sup>38</sup>

A Índia que participa de todos os sete desafios da MI e co-lidera três deles, anunciou um prêmio da ordem de U\$ 10 milhões para o Desafio Inovação em Biocombustíveis Sustentáveis (Innovation Challenge #4). Esta ação apoiará atividades, de pesquisadores indianos em parceria com pesquisadores de outros

---

<sup>38</sup> Mais informações em: <http://mission-innovation.net/our-work/innovation-challenges/sustainable-biofuels-challenge/>. Acesso em 5 de dezembro de 2018.

países, que abordem questões de desenvolvimento de biocombustíveis avançados. Colaborações bilaterais e multilaterais entre cientistas indianos e dos países membros da MI são requisitos para a aceitação dos projetos.

#### **5.4. Low-Carbon Technology Partnerships initiative (LCTPi) e Below50**

A *Low-Carbon Technology Partnerships initiative* (LCTPi) é uma rede de parceria tecnológica de baixo carbono, lançada pelo Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (*World Business Council for Sustainable Development* - WBCSD) com o apoio do *Sustainable Development Solutions Network* (SDSN) e da Agência Internacional de Energia (IEA), que tem como foco principal a aceleração do desenvolvimento e difusão de tecnologias de baixo carbono<sup>39</sup>.

Após anos de pesquisa e desenvolvimento, novas tecnologias de produção de combustível estão começando a ser implantadas em novas instalações de produção em todo o mundo, mas há um potencial considerável para acelerar e expandir essa implantação. No âmbito da LCTPi, foi criado o grupo Combustíveis de transporte de baixo carbono (*low carbono transport fuels* - LCTF), servindo empresas de todo o espectro de tecnologia e cadeias de valor que estão colaborando para ampliar as tecnologias de baixo carbono para ajudar a atender à demanda global de energia de transporte de uma maneira sensível ao clima.

Seus objetivos específicos compreendem:

- Apresentar combustíveis alternativos que possam reduzir emissões e ao mesmo tempo, ajudar a atender a crescente demanda por transporte global;
- Assegurar que a produção de combustíveis de baixo carbono seja feita de maneira sustentável, com baixo impacto nos ecossistemas;

---

<sup>39</sup> Mais informações em: <https://lctpi.wbcscd.org/portfolio-item/low-carbon-transport-fuels/> . Acesso em 8 novembro de 2018.

- Identificar e ativar políticas nacionais e internacionais apropriadas para apoiar o crescimento sustentável do novo setor;
- Demonstrar novas parcerias e modelos que atrairão novos investimentos; e
- Fornecer oportunidades de projetos escalonáveis para execução rápida por meio de iniciativas de parceria público-privada.

Em resposta aos desafios apontados pela iniciativa Low Carbon Technology Partnerships initiative (LCTPi), a marca *Below50* foi lançada em 2016 visando criar demanda e mercado para combustíveis sustentáveis que apresentam uma redução de pelo menos 50% nas emissões de GEE (b50) quando comparado com os combustíveis fósseis convencionais<sup>40</sup>, reforçando os objetivos do LCTF/LCTPi na vertente empresarial.

A campanha reúne empresas e organizações comprometidas com o crescimento do mercado global dos combustíveis b50 e possui estratégias de cooperação internacional em toda a cadeia de valor para combustíveis sustentáveis, de engajamento de investidores e de análises das barreiras legais e financeiras para promover os combustíveis b50.

As empresas interessadas em participar da ação podem se conectar aos “below50 hubs”. Cada hub atua com soluções específicas para a realidade local. Atualmente existem 4 hubs, um na Austrália liderado pela *Queensland Renewable Fuels Association*, um na Europa liderado pelo próprio WBCSD, um nos Estados Unidos da América liderado pela *Biotechnology Innovation Organization (BIO)* e um no Brasil liderado pelo Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS).

## **5.5. World Bioenergy Association – WBA**

A WBA é uma organização global que se dedica a dar apoio e representar a ampla gama de atores no setor de bioenergia. Ela tem como objetivo promover o uso de bioenergia sustentável que engloba biomassa, biogás e biocombustíveis.

---

<sup>40</sup> Mais informações em: <https://www.wbcscd.org/Programs/Energy-Circular-Economy/Climate-Energy/Transforming-Heavy-Transport/below50>. Acesso em 10 outubro de 2018.

Os membros que participam dessa organizam são: organizações de bioenergia, instituições, empresas e indivíduos.

A WBA foi fundada em 2008 em Estocolmo, Suécia como uma organização não-governamental (ONG) sem fins lucrativos, e desde então tem atuado no setor de bioenergia com variadas questões a ele relacionadas: certificações, critérios de sustentabilidade, promoção da bioenergia e debates sobre o impacto da bioenergia no setor de alimentos, no uso da terra e no abastecimento de água.

Desde de 2009 a WBA tenho sido um membro da Aliança Internacional para Energias Renováveis<sup>41</sup> (REN Alliance), e a WBA também está representada pelo comitê de direção do REN21<sup>42</sup>. A missão da WBA é “Promover a crescente utilização da bioenergia globalmente de maneira eficiente e sustentável e apoiar o ambiente de negócios das empresas de bioenergia”<sup>43</sup>.

## **5.6. IEA Bioenergy Task**

A IEA *Bioenergy Task* é uma atividade dentro da IEA, configurada dentro de um Programa de Colaboração em Tecnologia (*Technology Collaboration Program*). Estes são órgãos independentes que operam em uma estrutura fornecida pela IEA. Existem 42 Programas de Colaboração em Tecnologia atualmente ativos, dentre eles a IEA *Bioenergy*.

O trabalho da IEA *Bioenergy* é estruturado em várias Tarefas (*Tasks*), que têm objetivos, orçamentos e prazos bem definidos. A colaboração, que anteriormente se concentrou em Pesquisa, Desenvolvimento e Demonstração, agora está enfatizando cada vez mais a Implantação em larga escala e em todo o mundo.

---

<sup>41</sup> A Aliança REN foi formada em 2004 durante a primeira Conferência Internacional de Energia Renovável em Bonn, na Alemanha. A REN-Alliance reúne cinco organizações industriais renováveis para promover o uso de tecnologias de energia renovável em todo o mundo: a *International Hydropower Association*, a *International Geothermal Association*, a *International Solar Energy Society*, a *World Bioenergy Association* e a *World Wind Energy Association*. Mais informações em: <<https://renalliance.wordpress.com/>>. Acesso em 9 dezembro de 2018.

<sup>42</sup> A REN21 é uma rede global de políticas de energia renovável colaborativa que conecta uma ampla gama de atores-chave. O objetivo da REN21 é facilitar a troca de conhecimento, o desenvolvimento de políticas e a ação conjunta para uma rápida transição global para a energia renovável. Mais informações em: <<http://www.ren21.net/>>. Acesso em 9 dezembro de 2018.

<sup>43</sup> Mais informações em: <<https://worldbioenergy.org/>>. Acesso em 8 novembro de 2018.

Cada país participante paga uma modesta contribuição financeira para as exigências administrativas, compartilha os custos de gerenciamento das Tarefas da iniciativa e fornece contribuições em espécie para financiar a participação do pessoal nacional nas mesmas.

Cada Tarefa é liderada por um dos países participantes (Agente Operacional) com esforço técnico coordenado por um Líder de Tarefa. O trabalho é dirigido pelo Comitê Executivo. Para o período 2016-2018, existem 10 Tarefas. Todas as Tarefas têm uma duração comum de três anos.

A IEA Bioenergy está empenhada em promover seus programas de trabalho nos países participantes e em incentivar o crescente envolvimento de parceiros industriais. Todos os países da OCDE podem se inscrever. Além disso, o Conselho Diretor do IEA decidiu que os Programas de Colaboração em Tecnologia também podem ser abertos a países não-membros, como é o caso do Brasil que atualmente participa das *Tasks* 37 e 39.

As tarefas em andamento até o final do ano de 2018 da IEA Bioenergy Task são:

- 32 Biomass Combustion and Co-firing
- 33 Gasification of Biomass and Waste;
- 34 Direct Thermochemical Liquefaction;
- 36 Integrating Energy Recovery into Solid Waste Management Systems;
- 37 Energy from Biogas;
- 38 Climate Change Effects of Biomass and Bioenergy Systems;
- 39 Commercialising Conventional and Advanced Liquid Biofuels from Biomass;
- 40 Sustainable biomass markets and international bioenergy trade to support the biobased economy;
- 42 Biorefining in a future BioEconomy ;

- 43 Biomass Feedstocks for Energy Markets;
- ITP Inter-Task Projects; e
- SP Special Projects.

As tarefas que já foram concluídas são:

- 29 Socio-Economic Drivers in Implementing Bioenergy Projects;
- 30 Short Rotation Crops for Bioenergy Systems;
- 31 Biomass Production for Energy from Sustainable Forestry;
- 35 Techno-economic Assessments for Bioenergy Applications;
- 41 Project 3 – Joint project with the Advanced Motor Fuels Implementing Agreement;

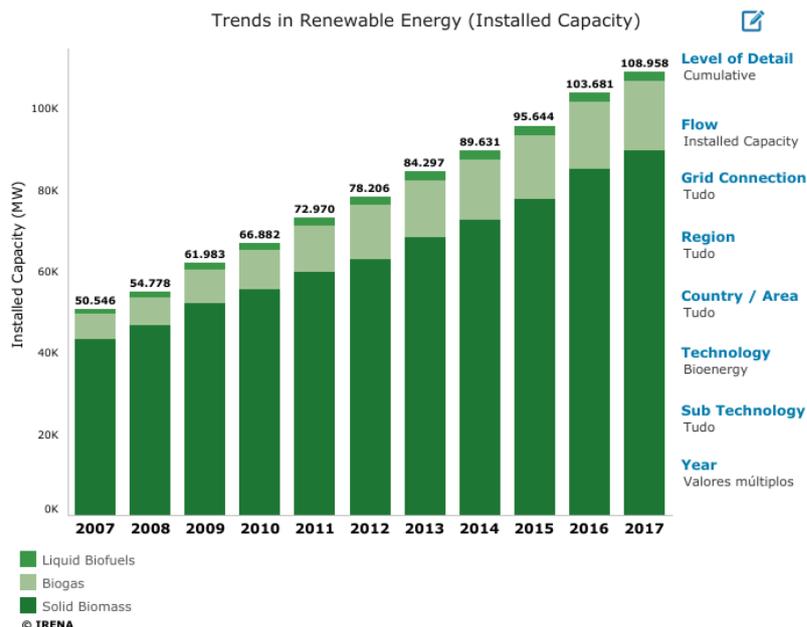
## **5.7. Agência Internacional de Energia Renovável – IRENA**

A Agência Internacional de Energia Renovável (*International Renewable Energy Agency - IRENA*) é uma organização intergovernamental que apoia os países em sua transição para um futuro energético sustentável. Por meio de uma plataforma, um centro de excelência e um repositório de política, tecnologia, recursos e finanças promove a cooperação internacional e o conhecimento sobre energias renováveis<sup>44</sup>.

A IRENA não possuiu nenhum grupo de trabalho com foco em bioenergia, mas possui diversas publicações relevantes na área de bioenergia.

---

<sup>44</sup> Mais informações em: <https://www.irena.org/bioenergy>. Acesso em 12 de dezembro de 2018.



**Figura 22** - Capacidade instalação em MW ano a ano da bioenergia no mundo.  
 Fonte: IRENA

Em sua plataforma também estão acessíveis dados e gráficos que informam, por exemplo, a capacidade instalada cumulativa em MW, ano a ano, subdividido entre biocombustíveis líquidos, sólidos e biogás (**Figura 22**).

## 6. PANORAMA ANALÍTICO PROSPECTIVO

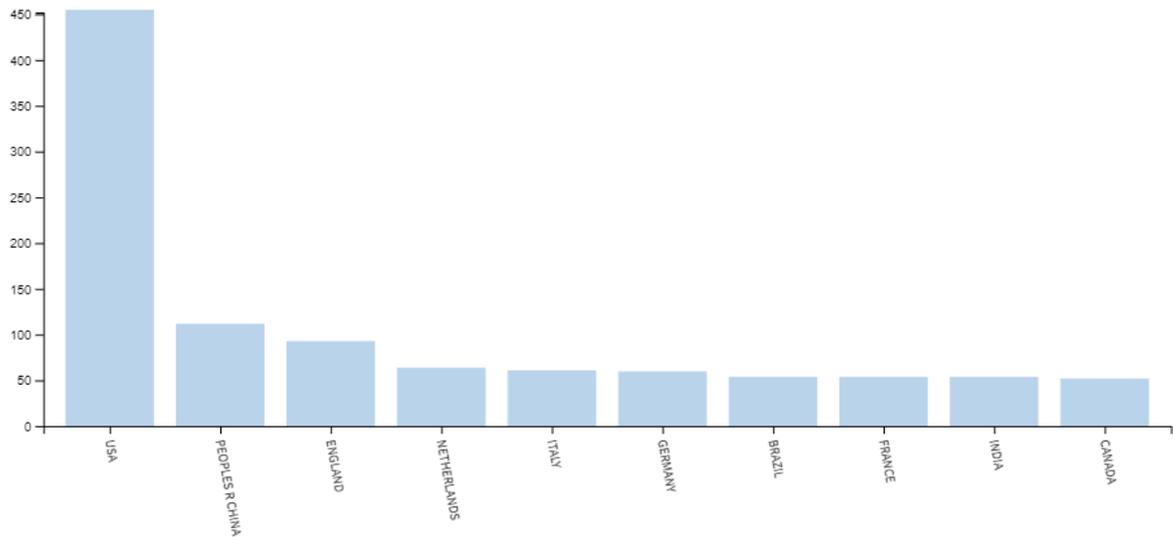
Analisar a produção científica mundial na área de biocombustíveis avançados, identificar áreas relevantes de pesquisa e entender a dinâmica de cooperação entre os países e organismos ajudam a compreender para onde e como este setor tem caminhado.

### 6.1. Mapeamento de competências

Para o escopo deste trabalho, foram levantados dados de quanto se está produzindo e quais são os países mais ativos na produção científica, elaborado mapa de coautoria e similaridade semântica para identificar os temas mais relevantes, bem como mapeadas e construídas redes de colaboração entre países. Os dados para construção dos mapas e figuras foram extraídos da base da *Web of Science* a partir de outubro de 2018. A pesquisa considerou os dados históricos de todos os anos disponíveis na base.

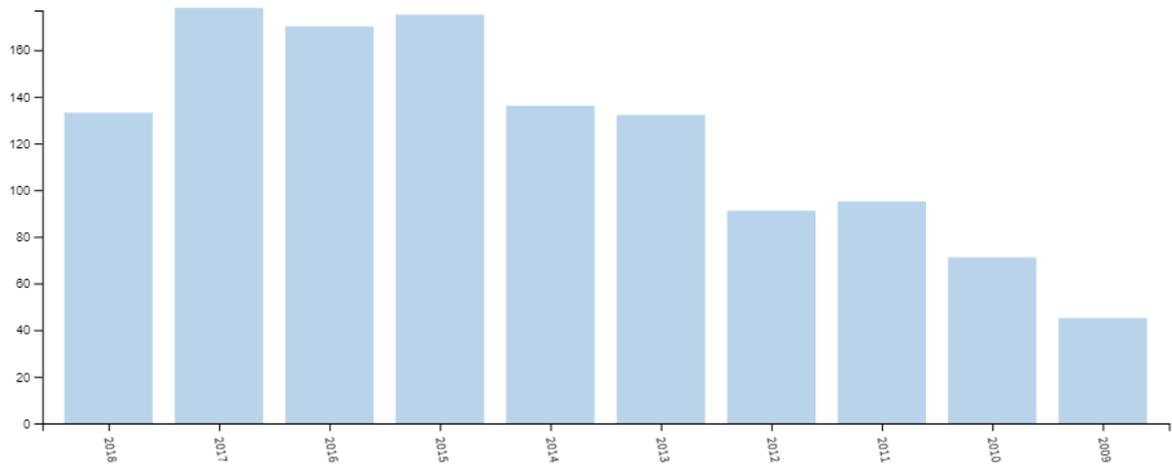
#### 6.1.1. *Biocombustíveis avançados*

A expressão de busca “*advanced biofuel*” OR “*advanced biofuels*” OR “*second generation biofuel*” OR “*second-generation biofuels*” foi pesquisada na base de dados da *Web of Science* em novembro de 2018. A busca pela produção científica de registros em inglês na base contendo essa expressão retornou um total de 1.249 documentos registrados na base. Os EUA são, com bastante folga, os maiores produtores de conteúdo científico sobre o tema. Em segundo lugar, com quase 10% do total de publicações na área está a China, e em terceiro lugar o Reino Unido, com pouco mais de 7% do total de publicações. O Brasil situa-se em sétimo entre os dez países mais ativos no tema. Dentre os dez países mais atuantes (**Figura 23**), apenas a Alemanha não integra a *Biofuture Platform*.



**Figura 23** - Produção científica contendo as expressões de busca “advanced biofuel” OR “advanced biofuels” OR “second generation biofuel\*” OR “second-generation biofuels”.  
 Fonte : web of science 2018.

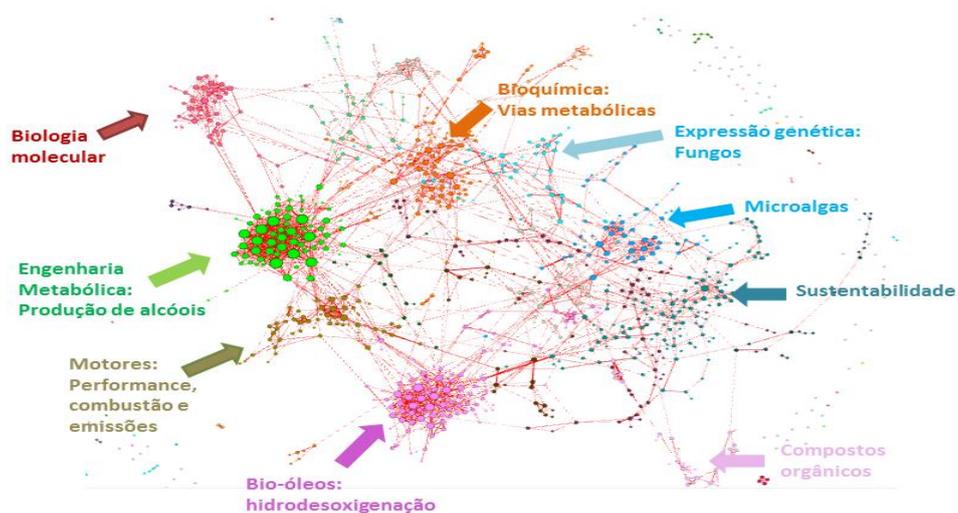
De 2009 a 2015 a produção científica anual em inglês apresentou aumento linear, saindo de 44 registros para 174 neste período. No entanto, observa-se uma tendência de estagnação da produção científica a partir de 2015, coincidindo temporalmente com a multiplicação de unidades piloto de segunda geração nas rotas bioquímicas e termoquímicas, seguida do comissionamento das primeiras unidades em escala comercial, em particular de etanol celulósico. Esse novo estágio demanda menos ciência e mais inovação tecnológica, para superar obstáculos de engenharia de processos detectados quando do escalonamento industrial, necessitando investimentos mais do tipo *venture capital*, tanto a partir de mecanismos de governo quanto a partir de um maior engajamento de investidores privados.



**Figura 24** - Publicação científica anual para as expressões de busca “advanced biofuel” OR “advanced biofuels” OR “second generation biofuel\*” OR “second-generation biofuels”.  
Fonte: web of science 2018.

### 6.1.1.1. Clusters temáticos

Utilizando a ferramenta *Insight Net* desenvolvida pelo CGEE, a partir dos mesmos dados explorados no item anterior, foi construída uma rede de clusters de similaridade semântica da produção científica (**Figura 25**), visando identificar as áreas potencialmente mais relevantes de pesquisa em biocombustíveis avançados. Cada círculo representa um documento científico e as linhas estabelecem a similaridade semântica entre os trabalhos científicos.



**Figura 25** - Rede de similaridade semântica da produção científica em biocombustíveis avançados.  
Fonte: Elaboração própria.

A partir deste mapa de clusters e similaridade semântica pode-se notar a importância da bioquímica, da engenharia metabólica, do estudo dos compostos orgânicos, de fungos e de bactérias, para a produção de biocombustíveis avançados. Essas são principais áreas de conhecimento cujo domínio tem embasado o progresso da CTI para desenvolvimento de biocombustíveis de segunda geração.

### 6.1.1.2. *Redes de colaboração*

Utilizando o programa VosViewer com os dados da base Web of Science, foi gerada a Figura 26, que representa a rede de colaboração em biocombustíveis avançados entre EUA e outros países. Foram mapeados ao todo 452 artigos científicos em cooperação com outros países. A partir do exame das conexões dessa rede pode-se notar que os EUA cooperam no tema com países de todos os continentes, com exceção da África. A espessura do link entre cada país indica maior ou menor grau de colaboração. Portanto, depreende-se que o país com o qual os EUA possuem maior número de produção científica conjunta é a China, segundo colocado no ranque de produção científica na matéria.

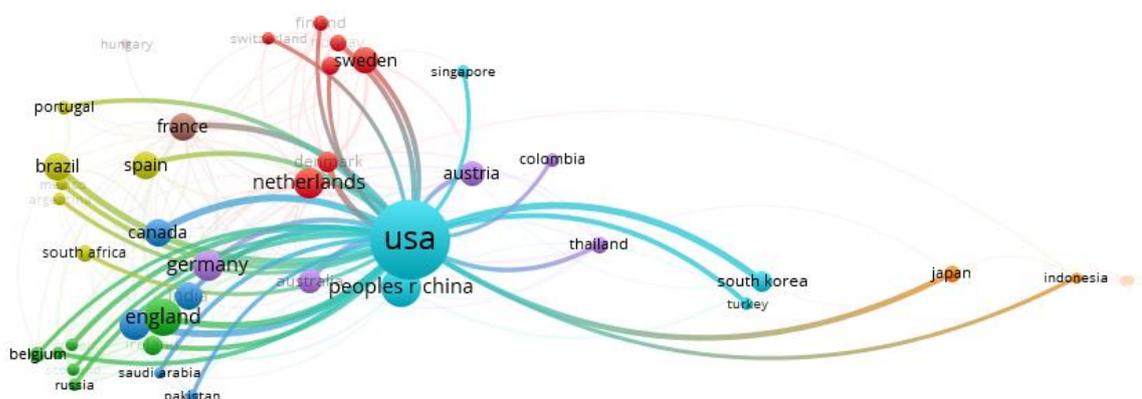
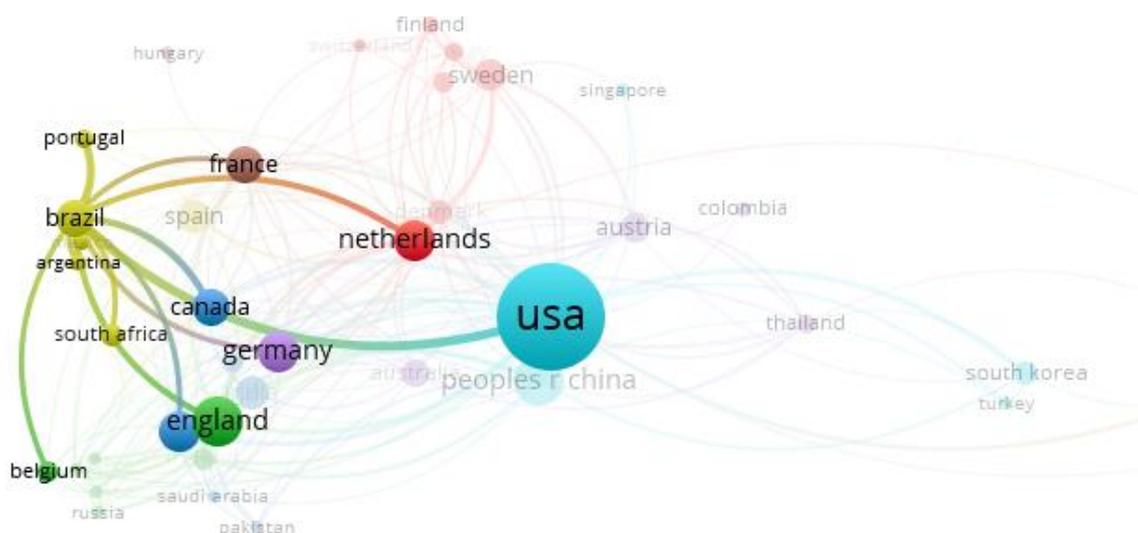


Figura 26 - Rede de colaboração em biocombustíveis avançados dos EUA com outros países.  
Fonte: Elaboração própria com a ferramenta VosViewer.

O Brasil possui um número muito inferior de produção científica conjunta com outros países, em inglês, na área de biocombustíveis avançados (assim como de produção total) (**Figura 27**). Foram produzidos 51 artigos científicos em cooperação com outros países, quase dez vezes menos que os EUA. Não há registros de artigos em conjunto com países vizinhos da América Latina, como Argentina ou Colômbia, o que demonstra uma baixa articulação na pesquisa científica entre países latino-americanos, e ao mesmo tempo representa uma tremenda oportunidade para o país assumir um maior protagonismo regional, e exercer a função de fortalecer a cooperação entre países da região no tema, como vem ocorrendo na articulação política no âmbito da BFP.

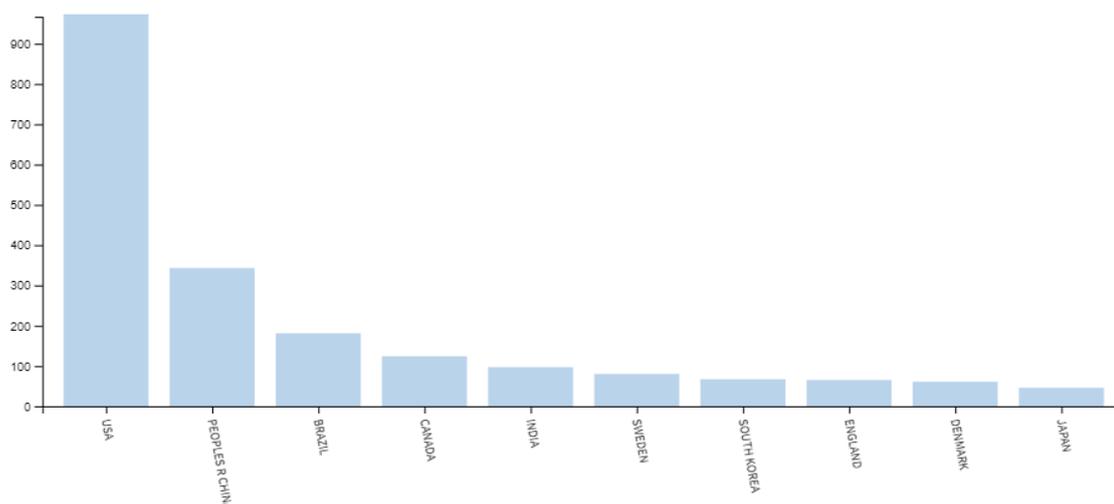


**Figura 27** - Rede de colaboração em biocombustíveis avançados do Brasil com outros países.  
Fonte: Elaboração própria com a ferramenta VosViver.

Ressalta-se que a quase totalidade da produção científica, tanto brasileira quanto norte-americana, é realizada de forma colaborativa entre autores de dois ou mais países, mostrando a importância da cooperação internacional para solução dos desafios científicos em relação aos biocombustíveis avançados, em particular no estágio pré-competitivos de P&D. O papel das iniciativas internacionais, destacado no item 5, mostra-se assim essencial para o progresso dos biocombustíveis de próximas gerações.

### 6.1.2.E2G - Etanol lignocelulósico

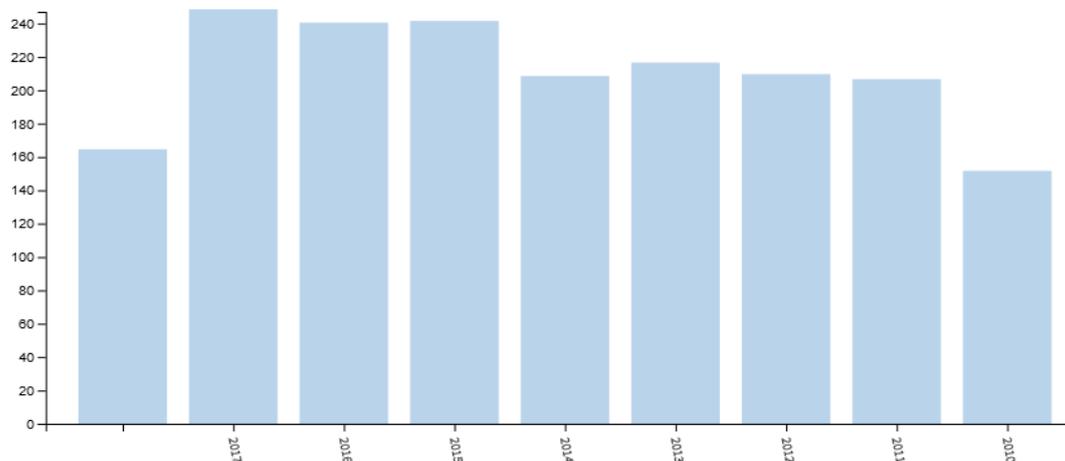
A expressão de busca “*cellulosic ethanol*” OR “*lignocellulosic ethanol*” foi pesquisada na base de dados da *Web of Science* também a partir outubro de 2018. A busca pela produção científica contendo essa expressão retornou um total de 2.147 documentos, muito superior às expressões relacionadas à biocombustíveis avançados e de segunda geração, o que demonstra a relevância do etanol de segunda geração (E2G) dentre os biocombustíveis avançados para a comunidade acadêmica e certamente também para governos e empresas. Os EUA continuam sendo, com bastante folga, os maiores produtores de conteúdo científico sobre o tema. Em segundo lugar, com pouco mais de 15% do total de publicações na área, está a China, e em terceiro lugar o Brasil, com 8% do total de publicações. Entre os dez países mais ativos aparecem Suécia, Coreia do Sul, Dinamarca e Japão, ausentes no ranking dos dez primeiros em biocombustíveis avançados ou de segunda geração. Dentre os dez, apenas Coreia do Sul e Japão não participam da BFP.



**Figura 28** - Produção científica contendo as expressões “*cellulosic ethanol*” OR “*lignocellulosic ethanol*”.  
Fonte : *Web of Science* 2018

Em 2010 o número de registros na plataforma *Web of Science* foi de 150, enquanto que em 2011 a produção científica total foi de 205. Em 2014, a produção foi menor do que no ano anterior, atingindo um total de 207. Os números voltam a crescer em 2015, mas se mantêm no mesmo patamar até 2017, quando a produção científica anual foi de 247 documentos entre artigos,

revisões, capítulos de livros, entre outros. O aumento no período foi bastante tímido, saindo de 150 para 247 registros. Mais uma vez a passagem bancada – piloto – comercial pode explicar essa desaceleração da pesquisa científica em prol dos desafios advindos do escalonamento industrial.

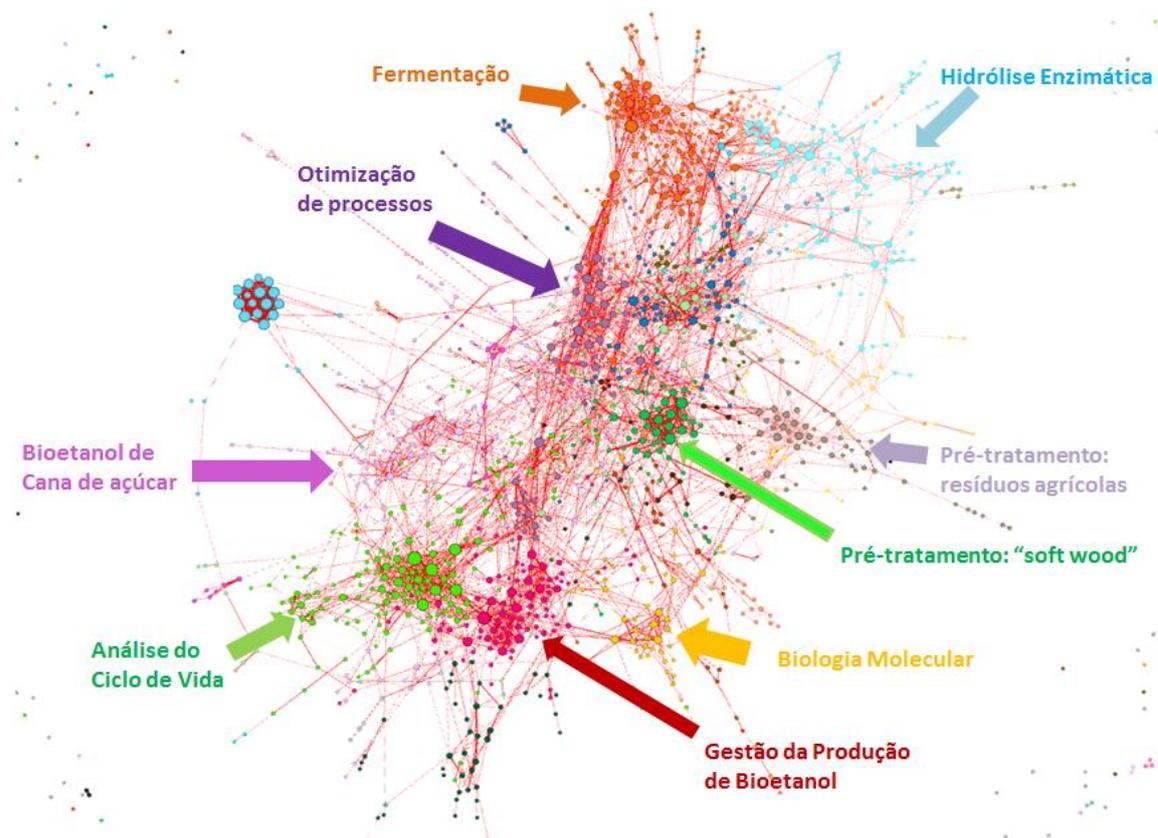


**Figura 29** - Publicação científica anual para as expressões de busca as expressões de busca “cellulosic ethanol” OR “lignocellulosic ethanol”.

Fonte : *Web of Science* 2018

### **6.1.3. Clusters Temáticos**

Utilizando mais uma vez a ferramenta *Insight Net* do CGEE, a partir dos mesmos dados utilizados para as análises do item anterior, foi construída a rede de similaridade semântica da produção científica em etanol celulósico. Cada círculo representa um documento científico. As linhas determinam a similaridade semântica entre os trabalhos científicos.



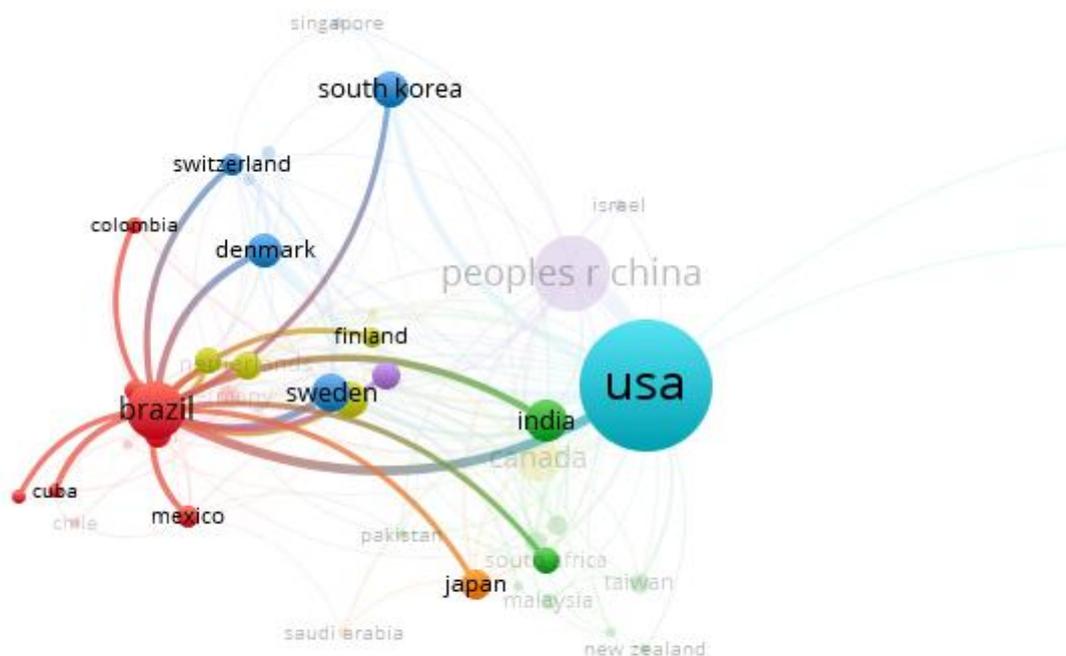
**Figura 30** - Rede de similaridade semântica da produção científica.  
 Fonte: Elaboração própria.

A partir deste mapa de similaridade semântica destacam-se as áreas das principais etapas da produção do E2G: pré-tratamento, hidrólise e fermentação. Além disso, fica claro a interrelação entre as diversas áreas do conhecimento, sendo enzimas, fungos e bactérias (microorganismos) tópicos que aparecem em todas as etapas de produção do biocombustível. A interdisciplinaridade é essencial para lidar com os desafios científicos e tecnológicos da produção de biocombustíveis avançados. Os investimentos em PDI precisam ser continuados e aprimorados, principalmente com foco no desenvolvimento de processos bioquímicos, com vistas à emergência da bioeconomia industrial moderna.

### 6.1.3.1. *Redes de colaboração*

Utilizando o programa VosViewer com os dados da base Web of Science, foi gerada a **Figura 31**, que representa a rede de colaboração entre EUA e outros países. Foram mapeados ao todo 956 artigos científicos em cooperação com outros países. A partir dessa rede pode-se notar, pela espessura das arestas que





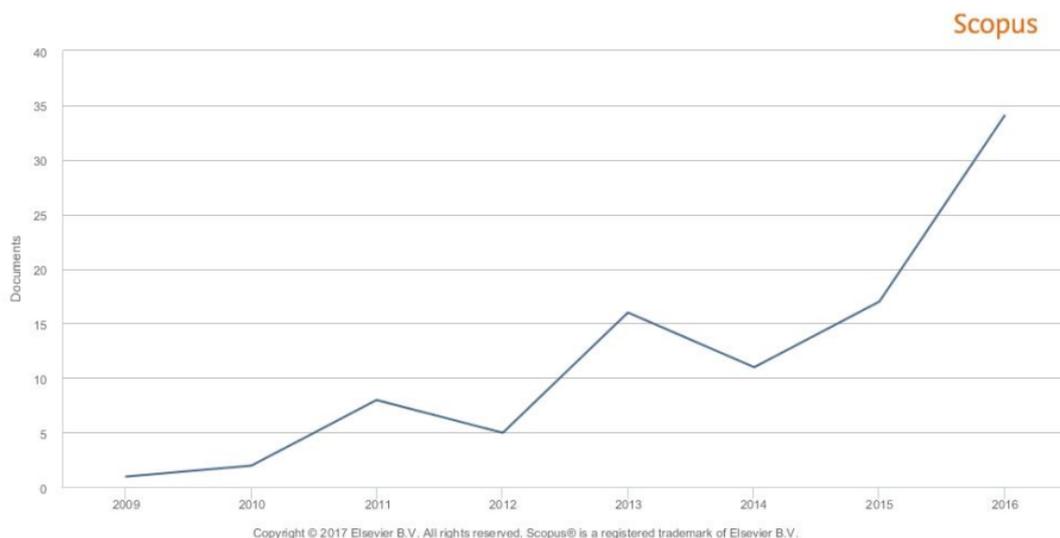
**Figura 32** - Rede de colaboração de etanol (ligno)celulósico do Brasil com outros países.  
 Fonte: Elaboração própria com a ferramenta VosViewer.

#### **6.1.4. Bioprodutos**

No que diz respeito a bioprodutos, para fins deste trabalho, foi empregada a recente pesquisa efetuada pelo CGEE (CGEE, 2017) explorando a base Scopus, no que tange a produção científica mundial, e a Plataforma Lattes, para a fins de revelação de clusters e redes de similaridade semântica que apontam as áreas de P&D mais relevantes no caso brasileiro.

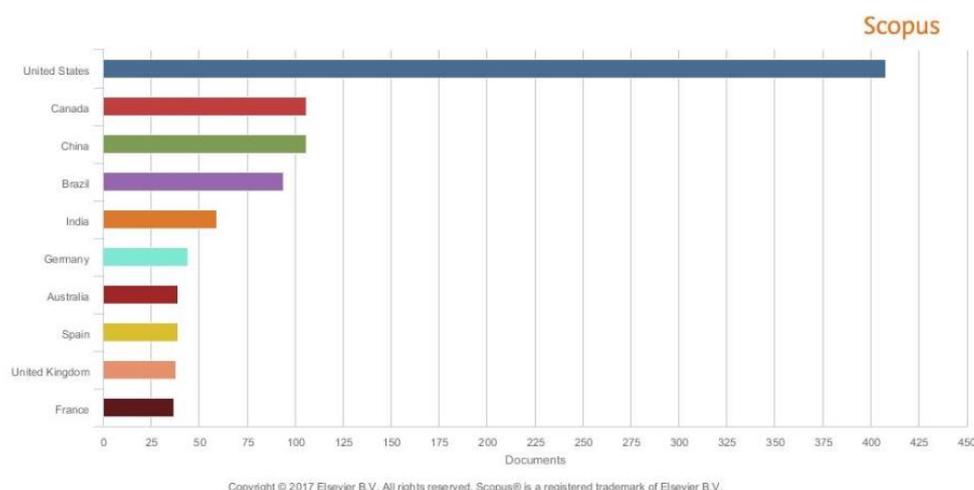
##### **6.1.4.1. Produção científica**

O levantamento realizado na base Scopus mostra um crescimento linear da produção científica em bioprodutos entre 2009 e 2015, que se acelera em 2016, podendo denotar uma migração do esforço de P&D em biocombustíveis avançados para bioquímicos e outros bioprodutos com atividades ainda concentradas nos aspectos científicos, para aprimorar sua maturidade tecnológica. O aumento da produção científica mundial evidencia a emergência dos bioprodutos como área de interesse crescente, na sequência das expectativas suscitadas pelos biocombustíveis avançados.



**Figura 33** - Produção científica em bioprodutos - artigos por ano  
 Fonte: Elaboração própria.

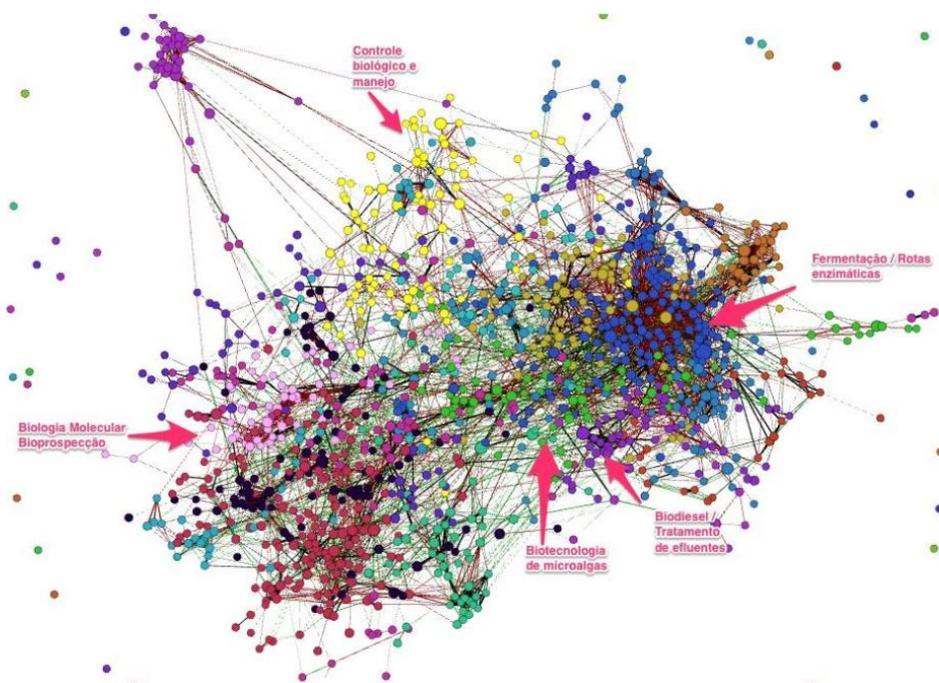
Ainda nesse caso os Estados Unidos se mantém na liderança da produção científica, com cerca de 400 documentos repertoriados, um número quatro vezes maior que os em torno de 100 de cada um dos seus seguidores mais próximos: Canadá, China e Brasil. Mais uma vez, a produção científica em bioprodutos entre 2009 e 2016 foi dominada por países hoje membros da BFP. Com efeito, entre os dez países mais ativos em produção científica no tema, apenas Alemanha, Austrália e Espanha não são membros da BFP.



**Figura 34** - Produção científica em bioprodutos por país  
 Fonte: Elaboração própria.

#### 6.1.4.2. Clusters Temáticos

Uma busca pelo termo bioprodutos na Plataforma Lattes revelou mais de 2.000 pesquisadores atuando na área, dos quais mais de 1.300 possuem título de doutor. Diferentemente das redes de biocombustíveis avançados e de etanol celulósico, onde os clusters são mais evidentes, na de bioprodutos os clusters temáticos se apresentam mais difusos, indicando um menor grau de maturidade estrutural e organizacional da área, em comparação com as de E2 e de biocombustíveis avançados.



**Figura 35** - Rede de similaridade semântica em bioprodutos

Fonte: Elaboração própria.

Analisando a figura pode-se inferir que as pesquisas em biocombustíveis geraram um bom legado para as atividades científicas em bioprodutos, onde pode ser observada a relação nos *clusters* “biodiesel/tratamento de efluentes” e “fermentação/rotas enzimáticas”. Além disso, nota-se a existência de grupos operando em controle biológico e biologia molecular, além de biotecnologia de microalgas, que são fundamentais para o desenvolvimento das bases da biotecnologia industrial, fundamental para a produção de bioprodutos.

## **6.2. Análise de objetivos nacionais selecionados**

Em 2017 o CGEE estreitou a parceria com a *Biofuture Platform* com o objetivo de elaborar uma consulta estruturada sobre biocombustíveis e bioprodutos. Em meados de 2018, vinte e dois países mais a União Européia responderam ao questionário da consulta, cujas perguntas foram elaboradas de forma colaborativa com os parceiros da BFP e do SBIC/MI. Nesta seção são apresentadas alguns achados de interesse para este trabalho, com as respectivas análises prospectivas.

### **6.2.1. Panorama atual e futuro**

Todos os países participantes da consulta declararam possuir metas ou políticas climáticas, seja por meio de leis nacionais ou compromissos internacionais tais as NDCs. Quase todos possuem metas específicas relacionadas a biocombustíveis, frequentemente também através de suas NDCs. Assim, as estratégias nacionais são impactadas pelas agendas internacionais relacionadas ao clima, o que revela um cenário oportuno para o desenvolvimento do mercado global de biocombustíveis e bioprodutos, uma vez que estes serão essenciais para a descarbonização das economias.

Nacionalmente, esses mercados estão em fase de estruturação, como mostra o progresso da publicação de estatísticas sobre a produção, tanto de biocombustíveis como de bioprodutos, procedimento necessário para que cada país possa monitorar avanços e retrocessos nesse campo, e agir para o atingimento de metas estabelecidas. Dos países consultados no *survey*, doze declararam já dispor de estatísticas de produção de biocombustíveis, enquanto que sobre bioprodutos esse tipo de publicação já se encontra disponível em cinco países. Isso apesar da dificuldade em realizar o monitoramento de uma produção por natureza dispersa, e que só recentemente vem se modernizando e ganhando relevância a nível nacional em grande parte dos países. Nesse aspecto, os fóruns de cooperação internacional podem contribuir sobremaneira para superar os desafios enfrentados pelos países para levantar, processar e apresentar

estatísticas nessa área, necessárias para entender e planejar a dinâmica de desenvolvimento da nova bioeconomia.

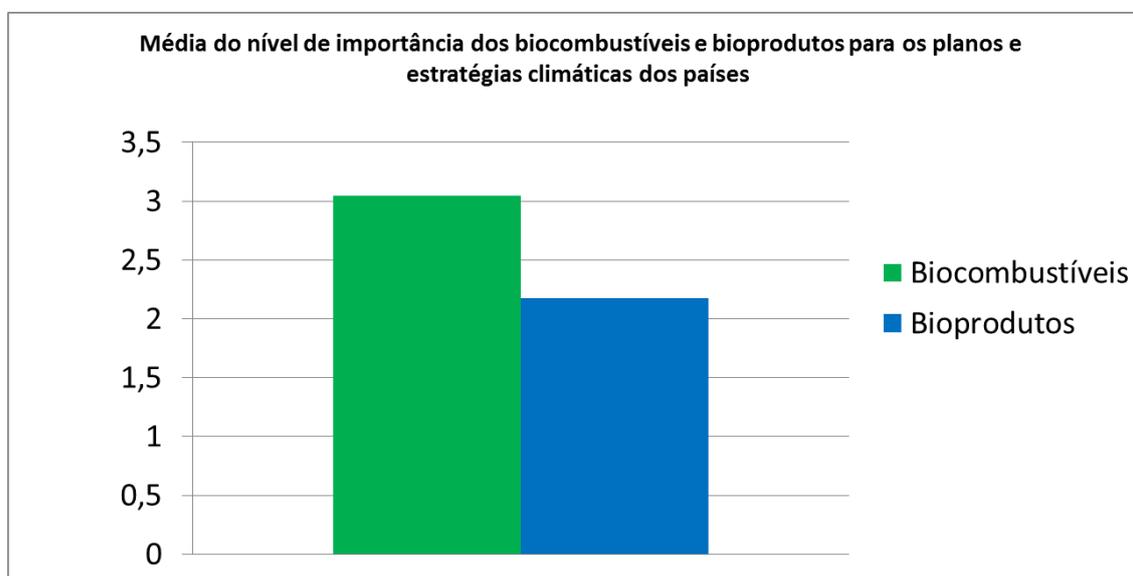
**Tabela 7** - Publicação de estatísticas sobre a produção de biocombustíveis e bioprodutos.

País	Bioprodutos		Biocombustíveis	
	Sim	Não	Sim	Não
Argentina	x		x	
Brasil	x		x	
Canadá		x	x	
China	x			x
Dinamarca				
Egito				
EUA	x		x	
Filipinas	x			x
Finlândia	x			x
França	x			x
Holanda		x	x	
Índia	x		x	
Indonésia		x	x	
Itália		x	x	
Marrocos				
México	x			x
Moçambique		x	x	
Noruega	x			x
Paraguai	x		x	
Reino Unido	x			x
Suécia				
União Européia			x	
Uruguai	x		x	
<b>Total</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>7</b>

Fonte: Elaboração própria.

Mais de 70% dos países respondentes atribuíram tanto aos biocombustíveis como aos bioprodutos um papel relevante, importante ou muito importante, para suas estratégias e planos climáticos nacionais, com destaque para uma maior percepção de importância dos biocombustíveis. Dos participantes do *survey*, apenas quatro países declararam que os bioprodutos são irrelevantes para suas estratégias e planos climáticos nacionais. A consciência do interesse das diversas possibilidades de produção integrada de biocombustíveis e bioprodutos em biorrefinarias avançadas, agregando valor à cadeia produtiva e melhorando os níveis de emissão de GEE do ciclo de vida dos produtos, é mais recente, e ainda se situa aquém da dos biocombustíveis em termos de nível de importância. Com

efeito, a bioeconomia industrial moderna ainda está em estágio embrionário, principiando com os biocombustíveis e evoluindo para a produção integrada de bioprodutos à medida que a difusão de informação se processa. Mas a percepção da maioria dos países é positiva com relação aos bioprodutos, confirmando seu potencial futuro.



**Figura 36** – Média de importância dos biocombustíveis e bioprodutos para os planos climáticos e projeções estratégicas dos países do *survey* (1 - irrelevante; 2 - relevante; 3 - importante; 4 - muito importante).  
Fonte: Elaboração própria.

Países como o Brasil, que já possuem uma forte e bem estruturada atividade agroindustrial e de biocombustíveis, podem, diante de políticas e investimentos corretos, ser um importante ator desse mercado. A importância da bioeconomia e dos bioprodutos para o futuro da economia nacional vem sendo reconhecida pelo governo, setor produtivo e acadêmico do país. A ENCTI 2016-2022 tem um capítulo dedicado a biomas e bioeconomia, que prevê a elaboração de um “Plano Nacional de CT&I para Bioeconomia” para ser lançado ainda em 2018, apoiando-se em estudo estratégico em bioeconomia desenvolvido pelo CGEE.

As tecnologias empregadas nas biorrefinarias variam consideravelmente entre países, particularmente, desenvolvidos e em desenvolvimento. Mas independente do estágio tecnológico, nos locais onde as cadeias de produção de biocombustíveis se estabelecem, os resíduos dos processos de produção constituem subprodutos ou coprodutos disponíveis localmente, que podem ser transformados e aproveitados como bioprodutos de maior valor agregado, sem a

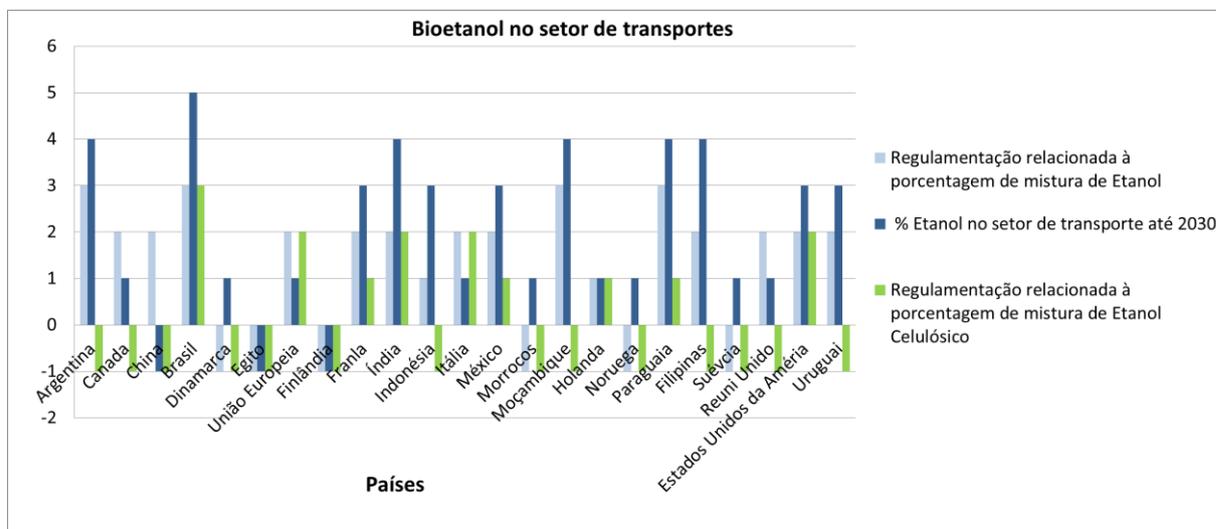
necessidade de se criar e estruturar novos sistemas de plantio e transporte de biomassa até as usinas.

#### 6.2.1.1. *Biocombustíveis: mercado atual e metas específicas para 2030*

As políticas de mistura compulsória de biocombustíveis nos combustíveis fósseis se mostram muito eficazes na criação de mercados, integrando a categoria de incentivos classificada como de *demand-pull*. No caso dos biocombustíveis, pela forte concorrência que eles sofrem com baixos preços dos combustíveis fósseis e com subsídios frequentes a eles alocados, elas são fundamentais para viabilizar novos mercados para produtos que possuem vantagens sociais e ambientais tais como mitigação de gases de efeito estufa, melhoria da qualidade do ar e da saúde da população, mas ainda dependem de escala de produção e comercialização para poder competir com produtos já estabelecidos no mercado. O exemplo brasileiro nesse caso é eloquente, pois tanto o etanol quanto o biodiesel têm hoje preços comparáveis com os da gasolina e do diesel comercializados no país. Mas foram precisos respectivamente 20 anos e 10 anos para que o etanol e o biodiesel atingissem esse estágio. No caso do etanol, o mercado anual movimentava valores superiores a todo subsídio concedido ao longo de 20 anos para seu estabelecimento.

Hoje em dia existem vários níveis de misturas de combustíveis renováveis-fósseis praticados nos diferentes países. No Brasil, toda gasolina comercializada contém 27,5% de etanol (anidro) e todos os cerca de 25 mil postos de serviço do país dispõem também de etanol (hidratado) puro (E100) para uso em veículos *flexfuel* (90% da frota comercializada anualmente). Assim, cerca de 40% do mercado atual de combustível para veículos leves é atendido com etanol. No caso do diesel, a mistura mandatória é de 10% (B10). Em outros países os regimes variam: na França por exemplo, existem as misturas E5 e E10 em todas as estações de serviço, e E85 para os carros *flexfuel* em muitas delas. A mistura E85 também é encontrada em outros países, tais Canadá, Estados Unidos, Suécia.

Com vistas a analisar a perspectiva de expansão do mercado de biocombustíveis avançados, foram plotados no gráfico mostrado na **figura 37** dados sobre os mandatos atuais de mistura bioetanol - gasolina existentes em cada país, considerando o nível de mistura dominante em cada caso, e as metas específicas para etanol convencional e celulósico para 2030 nesses mesmos países.



**Figura 37** - Regulamentação específica relacionada à porcentagem de mistura.  
Fonte: Elaboração própria.

Nota: Considerar os seguintes valores para regulamentação específica relacionada à porcentagem de mistura: 1 = < 5%; 2 = 5% a 10%; 3 = 11% a 30%; 4 = 31% a 50%; 5 = > 50%; negativo = não respondeu; e para metas para 2030 de etanol e etanol celulósico: 1 = não tem; 2 = < 5%; 3 = 5% a 10%; 4 = 11% a 30%; 5 = 31% a 50%; 6 = > 50%; negativo = não respondeu.

A partir das respostas obtidas no *survey* - onde onze países declararam metas para porcentagem de etanol no setor de transporte no horizonte de 2030 maiores que a regulamentação atual - nota-se uma tendência de expansão do mercado de etanol, confirmando as projeções feitas pela IEA apresentadas neste estudo. A tendência se verifica também para as metas de inserção de E2G. O que representa um desafio, considerando as dificuldades de ultrapassar o estágio de *first-of-a-kind* das unidades comerciais existentes de etanol celulósico, mas ao mesmo tempo um estímulo para os produtores de E2G, pela oportunidade de expansão exponencial da demanda por um biocombustível perfeitamente compatível com a frota de veículos e a com infraestrutura de distribuição existentes, considerando ainda as vantagens em termos de acesso a matérias primas e eficiência agroindustrial.

O Brasil vai manter seu protagonismo na área de biocombustíveis, com metas ambiciosas para 2030, inclusive no que diz respeito etanol celulósico, e a adoção de políticas inovadoras voltadas para expansão da demanda, como o RenovaBio. Além de uma participação ativa em iniciativas internacionais, tais que BFP, SBIC/MI, GBEP, IEA Bioenergy, IRENA, entre outras, o que ratifica o potencial do setor, influenciando e inspirando outros países a adotar mecanismos de incentivo tipo *technology-push*, para o desenvolvimento de biocombustíveis de segunda geração, e *demand-pull*, de estímulo à expansão do mercado de biocombustíveis avançados.

Mesmo que, num horizonte 2100, o mundo opere majoritariamente com tecnologias de hidrogênio e eletrificação no setor de transporte, como parece ser a aposta europeia, os biocombustíveis podem continuar assegurando uma parte das necessidades energéticas do setor (Figura 2). A eletrificação veicular vem crescendo rapidamente nos países desenvolvidos e na China - o que vai exigir uma aceleração da transição fóssil – renovável da matriz de geração de eletricidade -, para poder proporcionar redução efetiva de emissões de GEE, mas a perspectiva para o curto e médio prazo é de que a transição passará necessariamente pelos biocombustíveis durante algumas décadas, pois a necessidade de descarbonização é urgente. A inserção dos biocombustíveis no setor de transportes, em particular para os países em desenvolvimento, é fundamental para realizar a transição para uma economia de baixo carbono, dados os desafios tecnológicos e de infraestrutura que a eletrificação requer. Com efeito, apesar dos biocombustíveis de segunda geração, inclusive o etanol celulósico, ainda não estarem em estágio pleno de comercialização, e a perspectiva de sua produção ainda estar restrita a alguns países, a maturidade tecnológica dos carros elétricos, e a complexidade de implantação da infraestrutura necessária à eletrificação veicular, constituem desafios certamente de maior magnitude, particularmente para os países em desenvolvimento.

Os achados da consulta indicam que muitos países consideram os biocombustíveis importantes para suas políticas e planos climáticos. Metade dos países possuem metas para inserção de mais de 5% de etanol no setor de transportes no horizonte 2030 e oito países e a União Europeia indicaram metas

para etanol celulósico nesse horizonte. A China não respondeu a essa questão, mas atribui nível 4 - muito importante - aos biocombustíveis nos planos e estratégias climáticos do país, sem que metas quantitativas ainda tenham sido formuladas.

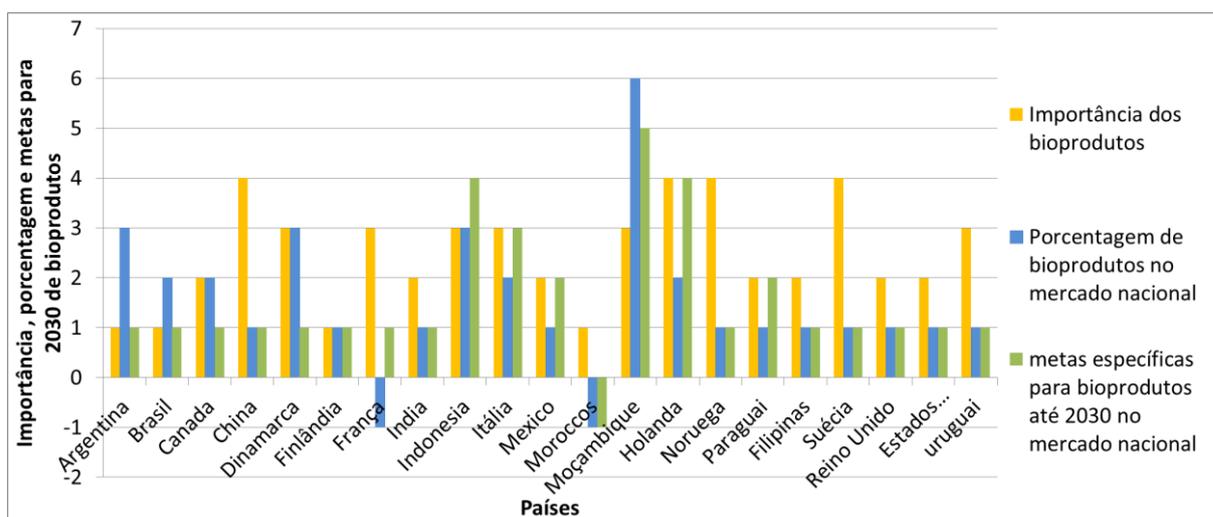
A maioria dos países com compromissos mais ousados para a inserção de biocombustíveis no setor de transportes em 2030 são países em desenvolvimento, latino-americanos (Argentina, Brasil, México, Paraguai, e Uruguai), e asiáticos (Índia, Indonésia e Filipinas), que apontam para um cenário de forte inserção de etanol no setor de transporte em 2030. Em relação à inclusão de etanol celulósico, Brasil e Índia são os países em desenvolvimento mais ambiciosos. Essa ambição se confirma no protagonismo exercido pelo Brasil na Plataforma para o Biofuturo, e pela Índia no desafio #4 - Inovação em Biocombustíveis Sustentáveis - da Missão Inovação (SBIC/MI). Percebe-se claramente um desequilíbrio de esforços entre países em desenvolvimento e países desenvolvidos.

Dentre os países desenvolvidos e a União Europeia, que dispõem de maior capacidade técnica e econômica de transformar rapidamente o setor de transporte nacional, apenas Estados Unidos e França revelaram maiores ambições para o incremento da participação de etanol em 2030, e EUA, Itália e União Europeia no que diz respeito ao celulósico. Nesse aspecto, é importante reforçar o papel da *Biofuture Platform*, e das demais iniciativas de cooperação internacional. O compartilhamento de boas práticas entre países é fundamental, tanto no que diz respeito aos desafios de sustentabilidade, quanto com relação à formulação de políticas em países que não possuem metas claras para um horizonte de médio a longo prazo.

#### 6.2.1.2. *Bioprodutos: mercado atual e metas específicas para 2030*

Com vistas a analisar a expectativa de expansão do mercado de bioprodutos foram plotados no gráfico mostrado na **figura 38** os dados sobre a importância atribuída pelos respondentes aos bioprodutos, a porcentagem de bioprodutos no

mercado atual de cada país, e as metas específicas para bioprodutos nos mercados nacionais até 2030. Como era de se esperar, a consciência a respeito da importância e da participação de bioprodutos modernos nos mercados é menor que em biocombustíveis. Poucos países declararam metas para 2030 superiores à participação atual dos bioprodutos nos respectivos mercados nacionais. Dentre os que deram destaque à grande importância deles nas suas estratégias climáticas, apenas a Holanda demonstrou maior ambição em termos de expansão do mercado.



**Figura 38** - Importância dos bioprodutos<sup>45</sup>  
 Fonte: Elaboração própria.

Apenas quatro países consideram os bioprodutos irrelevantes em suas estratégias e planos climáticos, dentre eles, inexplicavelmente, encontra-se o Brasil. Pode-se questionar a interpretação dada pelos respondentes a cada quesito, em termos de produtos tradicionais versus modernos (e.g. Moçambique), metas explícitas versus expectativas, etc., para explicar certas aparentes contradições entre os três resultados aqui examinados. Ainda assim, aqueles que consideram os bioprodutos relevantes (2), importantes (3) ou muito importantes (4) para suas estratégias e planos climáticos possuem em sua maioria metas muito tímidas para a inserção de bioprodutos na sua economia em 2030,

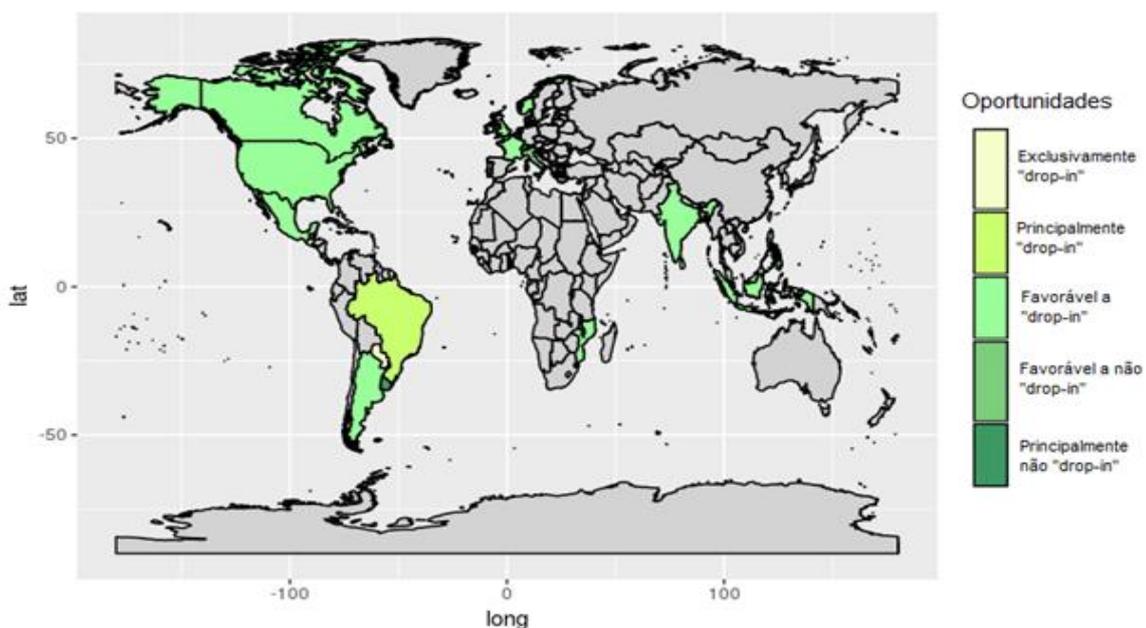
<sup>45</sup> Importância dos bioprodutos (1 - irrelevante; 4 - muito importante; negativo - não respondeu), porcentagem de bioprodutos no mercado atual (1 - não tem; 2 - < 5%; 3 - 5% a 10%; 4 - 11% a 30%; 5 - 31% a 50%; 6 - > 50%; negativo - não respondeu) e metas específicas para bioprodutos até 2030 no mercado nacional (1 - não tem; 2 - < 5%; 3 - 5% a 10%; 4 - 11% a 30%; 5 - 31% a 50%; 6 - > 50%; negativo - não respondeu) por país

independentemente da sua parte de mercado atual. Exceção para Holanda, Indonésia, Itália, México, e Paraguai, que declararam metas para 2030 superiores às partes atuais de participação de bioprodutos nos mercados nacionais.

A BFP, SBIC/MI e o incremento da valorização da biomassa em biorefinarias modernas vão contribuir para dirimir inconsistências e consolidar a nova bioeconomia.

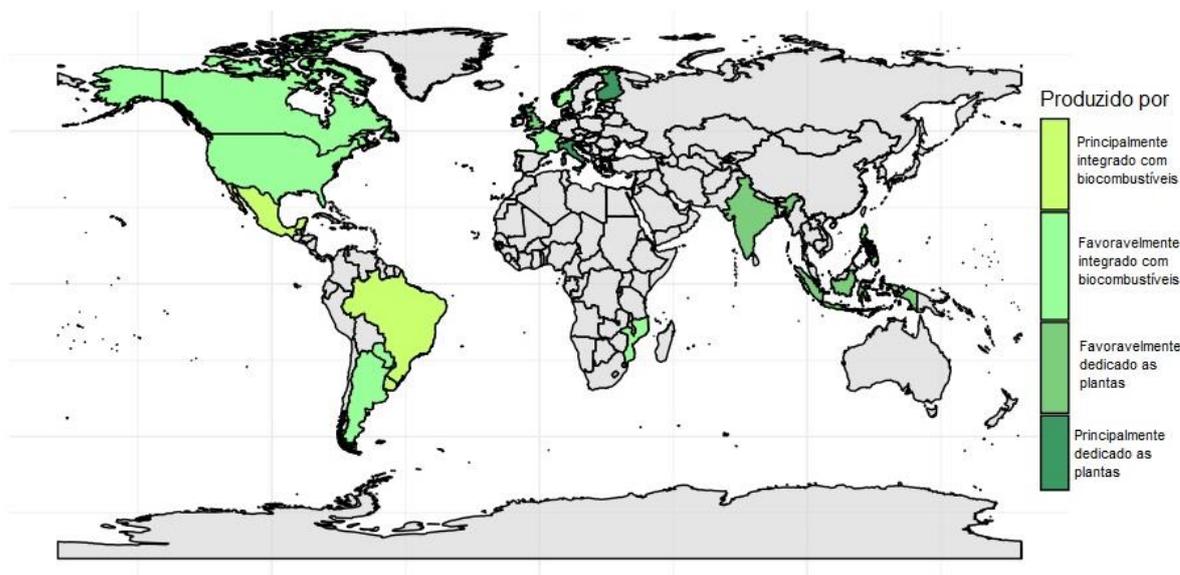
A partir dos dados extraídos do *survey* também são obtidas informações sobre quais seriam as oportunidades mais promissoras para desenvolvimento dos bioprodutos em cada país (**Figura 39**). Os bioprodutos podem ser finais ou intermediários; *drop in* (idênticos aos de base fóssil) ou não *drop in* (diferentes, mas servindo ao mesmo propósito dos de base fóssil). Como substitutos perfeitos do ponto de vista de toda a cadeia a jusante, os *drop in* têm sua adoção facilitada.

Do total de países respondentes, 22% declararam oportunidades exclusivamente para produtos *drop in*, 48% uma tendência dos seus mercados a favorecer produtos “drop in”, 13% uma tendência mais favorável a produtos não “drop in” e 9% majoritariamente produtos não “drop in”. Essa tendência favorável a produtos “drop in” era de se esperar, visto que eles possuem características físico-químicas idênticas aos seus substitutos, eliminando eventual necessidade de adaptação de máquinas e equipamentos que processam ou utilizam esses produtos.



**Figura 39** - Oportunidades mais promissoras para os bioprodutos.  
Fonte: Elaboração própria.

Também foram analisadas Informações sobre quais seriam as formas de produção de bioprodutos (Figura 40). Dos países participantes, 35% declararam que a forma de produção tende a ser integrada com biocombustíveis, 13% majoritariamente integrada aos biocombustíveis, 17% com tendência da produção ser à plantas dedicadas, 13% majoritariamente em plantas dedicadas, 22% não responderam, e nenhum declarou que os bioprodutos em seu país são exclusivamente desenvolvidos e produzidos em plantas dedicadas. Esse dado ressalta, novamente, o forte potencial de produção integrada de biocombustíveis e bioprodutos. Portanto, países que já possuem uma indústria de biocombustíveis bem desenvolvida, como Brasil e EUA, possuem vantagens comparativas consideráveis.



**Figura 40** - Formas de produção de bioprodutos.  
Fonte: Elaboração própria.

Pode-se inferir que as oportunidades nessa área são muitas, mas que os desafios são consideráveis, assim como as lacunas em termos informacionais, para instruir a tomada de decisão. Ainda existe um longo caminho a ser trilhado para que a importância dos bioprodutos seja incorporada nas estratégias e planos climáticos dos países e na transição para uma economia de baixo carbono.

O relatório Panorama da Bioeconomia no Brasil e Identificação de Áreas Estratégicas (CGEE, 2017a) exhibe as redes de pesquisadores e temas pesquisados em bioprodutos no Brasil, fornecendo informações preciosas para seu aprimoramento, e apontando políticas públicas necessárias para fomentar mais ciência, tecnologia e inovação nessa área. O trabalho mostra também que a produção científica brasileira entre 2009 e 2016, de 100 artigos relacionados à bioprodutos, tende a crescer ano a ano. A pesquisa científica brasileira despertou para esse tema, portador de futuro, e que merece ser promovido e fomentado com mais intensidade e com visão estratégica.

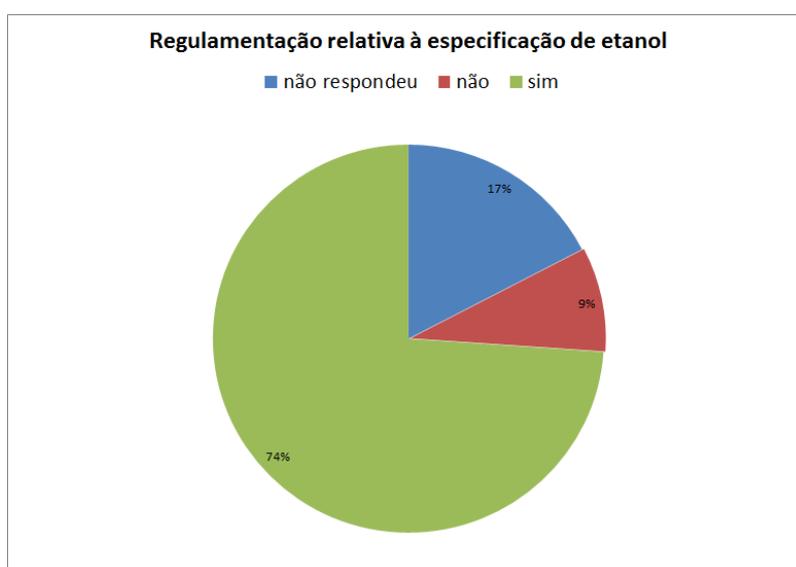
Os benefícios sociais, ambientais e econômicos dos bioprodutos, sua aderência com os compromissos globais expressos no Acordo de Paris sobre o Clima e nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 pactuada nas Nações Unidas, conduzem a um aumento da conscientização dos países com relação à importância da bioeconomia. Este eixo de conscientização e capacitação em biocombustíveis e bioprodutos avançados é justamente o campo de atuação da Plataforma para o Biofuturo, visando acelerar a transição para uma bioeconomia global moderna, de baixo carbono e sustentável.

### **6.2.2. Mecanismos de apoio**

Examinar os mecanismos de apoio desenhados por cada país para encorajar e apoiar o desenvolvimento e a implantação de tecnologias avançadas de biocombustíveis e bioprodutos em seus mercados nacionais é essencial para entender a diversidade, a maturidade e as necessidades locais, assim como a importância acordada pelos países ao tema. A seguir serão analisados dados sobre alguns instrumentos de políticas públicas referentes a especificações dos biocombustíveis, sua sustentabilidade, mercado para biocombustíveis, e investimentos, reportados pelos países e União Europeia.

### 6.2.2.1. Regulamentação relativa à especificação de biocombustíveis

A especificação de biocombustíveis é muito importante para garantir a qualidade dos produtos, protegendo o interesse dos consumidores. A especificação de cada país pode variar de acordo com os requisitos do mercado. Ela garante o funcionamento adequado de motores e equipamentos que operam com biocombustíveis, pois estes são fabricados e testados com combustíveis padronizados e seu desempenho só é garantido com o uso de combustíveis com características que atendam à especificação correta.



**Figura 41** - Regulamentação relativa à especificação de etanol.  
Fonte: Elaboração própria.

Dos países participantes da consulta, 74% declararam possuir regulamentação para a especificação de etanol, enquanto 9% declaram não possuir, e 17% não responderam (**Figura 41**). A regulamentação para etanol celulósico é a mesma que para o etanol convencional, uma vez que a característica físico-química do biocombustível não é alterada por ser de geração diferente, o que muda é a fonte de biomassa usada e a tecnologia de produção.

Mais uma vez, vale ressaltar que países que já possuem especificações para biocombustíveis podem compartilhar sua experiência com países que ainda não possuem. A cooperação entre países facilitaria muito o processo de construção

de regulamentação relativa à especificação de biocombustíveis. Essa cooperação pode ser promovida no âmbito da Plataforma para o Biofuturo, em parceria com outras iniciativas, conectando agências de regulamentação e instituições dos países com o objetivo de trocarem informações técnicas e experiências locais relevantes com relação a especificação de biocombustíveis.

#### 6.2.2.2. *Regulamentação relativa à sustentabilidade*

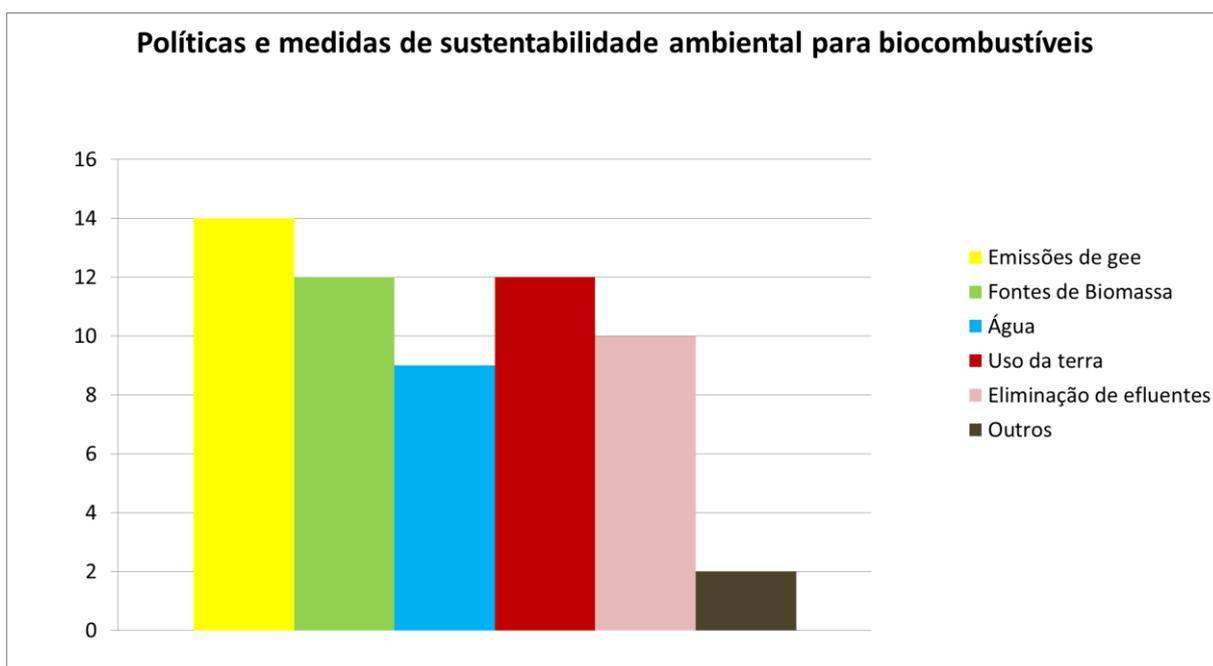
A referência maior em termos de sustentabilidade provém dos trabalhos no âmbito da GBEP (ver item 5.1 acima) desenvolvidos de forma participativa por um número expressivo de países e organizações. Nesse âmbito foram estabelecido critérios e definidos, de forma equilibrada, 24 indicadores de sustentabilidade relativos à produção e uso de bioenergia, sendo oito ambientais, oito sociais e oito econômicos. O relatório da GBEP é um instrumento valioso para auxiliar os países na avaliação e no desenvolvimento da produção e do uso sustentável dos biocombustíveis. Seus indicadores cobrem equitativamente as três dimensões do desenvolvimento sustentável (ambiental, social e econômica) e são reconhecidos entre as partes interessadas como representando as principais questões que precisam ser consideradas na construção de políticas e regulamentos para apoiar o progresso da bioenergia.

Em termos de sustentabilidade ambiental, são considerados os aspectos essenciais para resiliência da produção, a saber: ciclo de vida das emissões de gases de efeito estufa, qualidade dos solos, nível de exploração de recursos madeireiros, emissões de gases poluidores e tóxicos que não de efeito estufa, uso da água e sua eficiência, qualidade da água, diversidade biológica e paisagem, uso da terra e mudança no uso da terra relativa à produção de matéria-prima para bioenergia.

A consideração do conjunto de indicadores ambientais, sociais e econômicos quando do planejamento setorial, tanto nos países desenvolvidos quanto em desenvolvimento, potencializa as implicações (efeitos, impactos) positivas e minimiza as negativas. Nesse sentido, deve-se apreciar questões tais que: inclusão social, segurança alimentar, hídrica e energética, emprego decente,

renda, atividade econômica local, zoneamento agroecológico (ecológico-econômico), tecnologias de preservação de solos e recuperação de áreas degradadas, agricultura de precisão e controle biológico de pragas, plantio direto na palha, fixação de carbono e nitrogênio, aliança lavoura-pecuária-floresta (consórcio agro-silvo pastoril), manejo florestal e reflorestamento, valorização dos recursos da biodiversidade, remuneração por serviços ambientais, resiliência dos ecossistemas, entre outras.

Os dados levantados na consulta junto aos países da BFP e do SBIC/MI sobre a existência de políticas e medidas de sustentabilidade ambiental relativa aos biocombustíveis mostram que quatorze deles possuem políticas específicas relativas à emissões de gases de efeito estufa, e doze relativas às fontes de biomassa e uso da terra. Esse resultado confirma a preocupação dos países com as questões de mudanças climáticas, segurança alimentar e conservação da biodiversidade, além de água e poluição (**Figura 42**), relacionadas aos biocombustíveis.



**Figura 42** - Políticas e medidas relativas a sustentabilidade ambiental dos biocombustíveis.  
Fonte: Elaboração própria.

Alguns países possuem políticas de sustentabilidade para todas as áreas consultadas e também detectou-se uma coerência entre a importância atribuída

aos biocombustíveis para seus planos climáticos e o quadro político e regulatório, evidenciando a preocupação desses países com a sustentabilidade ambiental dos biocombustíveis.

Esses dados mostram o importante papel tanto da GBEP quanto da BFP em trazer para os fóruns de discussões a necessidade de se garantir a sustentabilidade ambiental do setor. Diálogos estratégicos, para fomentar colaboração entre países que já possuem políticas ou regulamentações consolidadas para sustentabilidade, em determinadas áreas, e aqueles que ainda não possuem, podem contribuir para que todos os países disponham de um quadro legal e regulatório completo e consolidado, conectando o conjunto de necessidades e capacidades de cada país. De fato, sem sustentabilidade ambiental não há como promover um setor que depende de recursos biológicos.

No que diz respeito à matéria-prima para produção de biocombustíveis, as posições dos países são mais divergentes, pois seis países produtores adotam zoneamento agroecológico para culturas energéticas e outros nove, produtores e consumidores, utilizam certificação dos produtos. Apenas três países, Filipinas, França e Uruguai aplicam os dois parâmetros (**Tabela 8**).

**Tabela 8** - Regulamentação para a produção de matéria- prima para biocombustíveis

País	Zoneamento agroecológico		Certificação		Outros	
	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM
ARGENTINA	X		X		X	
BRASIL		X	X		X	
CANADA	X		X		X	
CHINA	X		X		X	
DINAMARCA				X		
EGITO						
UNIÃO EUROPEIA				X		
FINLÂNDIA	X		X		X	
FRANÇA		X		X	X	
ÍNDIA		X	X			X
INDONÉSIA				X		X
ITALIA				X		
MEXICO	X		X		X	
MOROCCOS						
MOÇAMBIQUE		X				
HOLANDA				X		
NORUEGA	X			X		
PARAGUAI	X		X		X	
FILIPINAS		X		X		
SUECIA						
REINO UNIDO						
ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA	X		X		X	
URUGUAI		X		X		
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>2</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

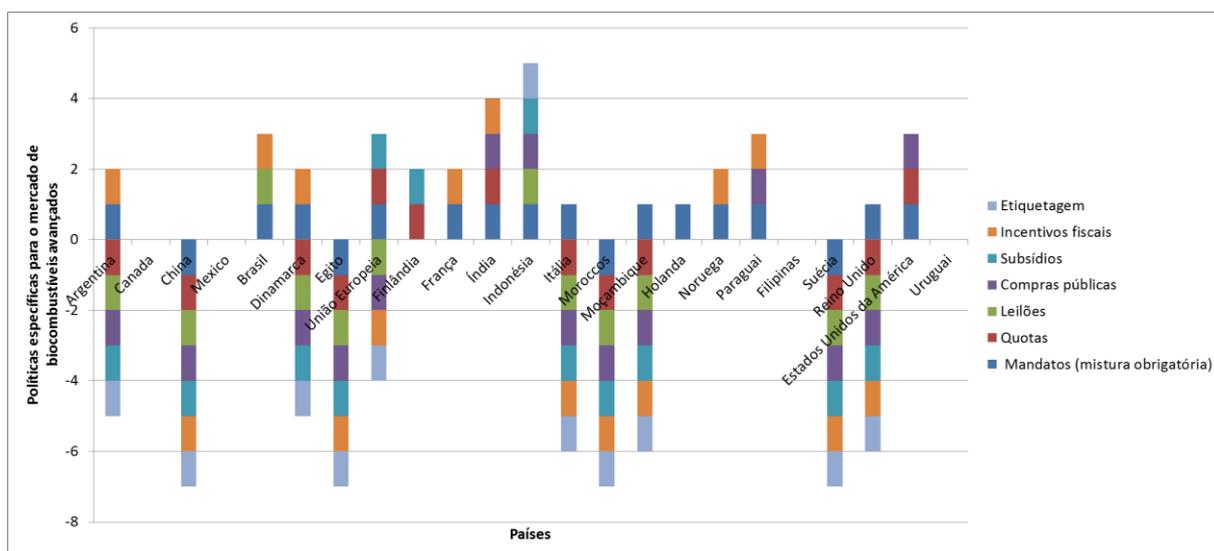
Essas ferramentas concernem o início da cadeia de suprimentos do setor, permitindo acompanhar melhor a inserção dos biocombustíveis no conjunto do setor agrícola do país e proporcionam redução de riscos e ganhos de produtividade. Ações de cooperação em capacitação (*capacity building*) em zoneamento agroecológico e certificação de matéria-prima para produção de biocombustíveis e bioprodutos podem contribuir para extensão de práticas dessa natureza.

### 6.2.2.3. Medidas para garantia de mercado

A consulta feita aos responsáveis dos países e UA se referiu a sete tópicos relacionados a políticas específicas (do tipo *demand-pull*) para garantia de mercado, para biocombustíveis e bioprodutos avançados: etiquetagem, incentivos

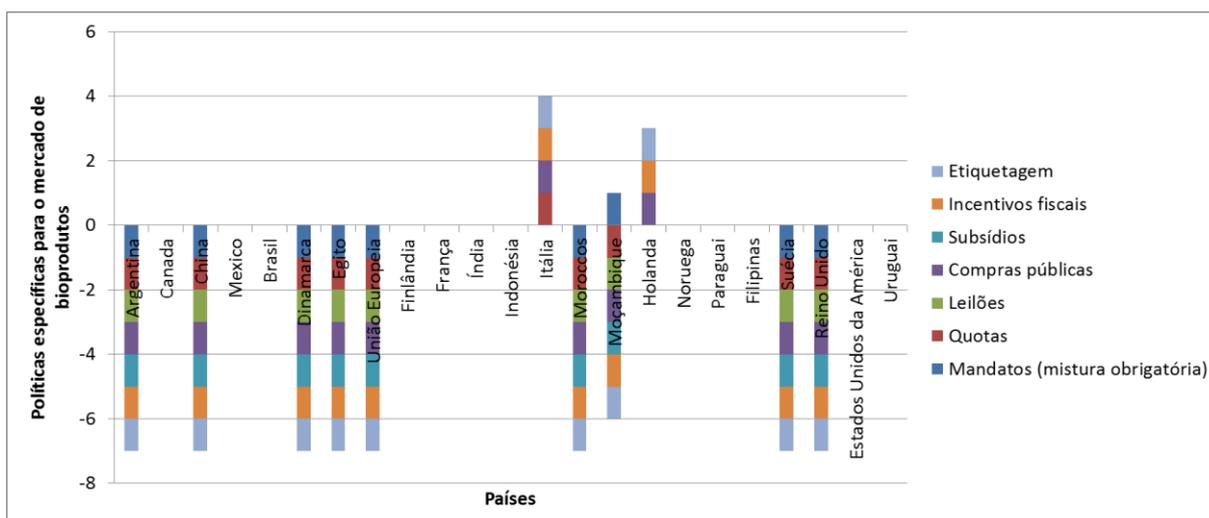
fiscais, subsídios, compras públicas, leilões, quotas e mandatos, que é o mais difundido (ver item 4.1).

Com relação às políticas e medidas voltadas para assegurar uma demanda atrativa para os biocombustíveis (**Figura 43**), 65% dos países declararam possuir um ou mais dentre os sete tipos propostos no questionário, enquanto apenas 17% declararam não adotar nenhum deles.



**Figura 43** - políticas específicas para garantia de mercado em biocombustíveis avançados (positivo - possui; negativo - não possui; zero - não respondeu)  
 Fonte: Elaboração própria.

Já para bioprodutos (**Figura 44**) em estágio de comercialização muito aquém dos biocombustíveis, apenas dois países europeus, Holanda e Itália, declararam possuir políticas específicas – etiquetagem, incentivos fiscais e compras públicas, acrescidas de quotas no caso da Itália, para assegurar a demanda por bioprodutos avançados. Já 40% declaram não possuir nenhuma política específica para o setor e mais da metade dos consultados não respondeu a esta questão.



**Figura 44** - Políticas específicas para garantia de mercado em bioprodutos avançados (positivo - possui; negativo - não possui; zero - não respondeu).  
Fonte: Elaboração própria.

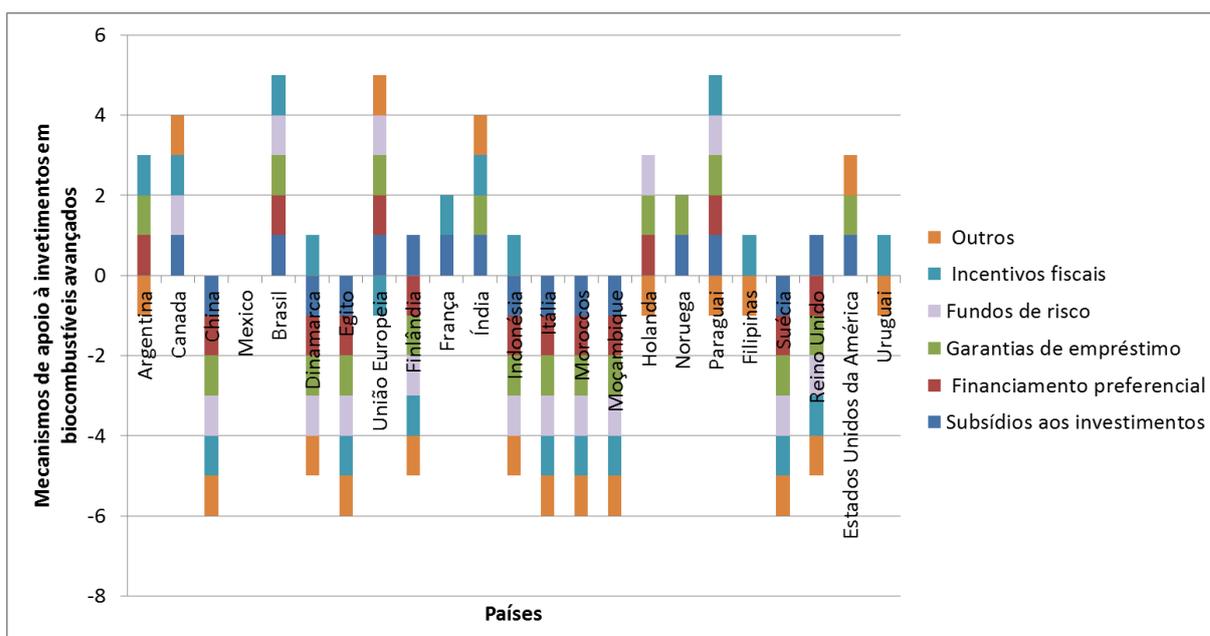
Os resultados mostram um cenário crescentemente favorável à ampliação do uso dos biocombustíveis de segunda geração, garantindo uma expansão do mercado para que a curva de aprendizagem possa atuar, proporcionando redução de custos e aumento da competitividade dos biocombustíveis avançados. É de se esperar que, com a intensificação das iniciativas de cooperação internacional, um círculo virtuoso se instaure, conduzindo a maioria dos países a implementar uma gama diversificada de políticas específicas de garantia de mercado, para consolidação dos biocombustíveis avançados no mercado global de combustíveis.

Essa dinâmica precisa ser transposta para os bioprodutos. É urgente a informação e a capacitação nessa área, para despertar os tomadores de decisão públicos e privados sobre o potencial dos bioprodutos para alavancar o desenvolvimento (descentralizado) e dar início à transição fóssil – renovável, com a prevalência da bioeconomia e da economia circular sobre o modelo atual baseado em insumos provenientes de fontes fósseis (carvão, petróleo e gás natural). Nesse sentido, é importante entender quais dados ou que tipo de informação são necessários para que políticas adequadas à realidade local possam ser formuladas e implantadas. Ressalta-se mais uma vez a importância da cooperação internacional nesse campo.

### 6.2.2.4. Mecanismos de apoio à investimentos

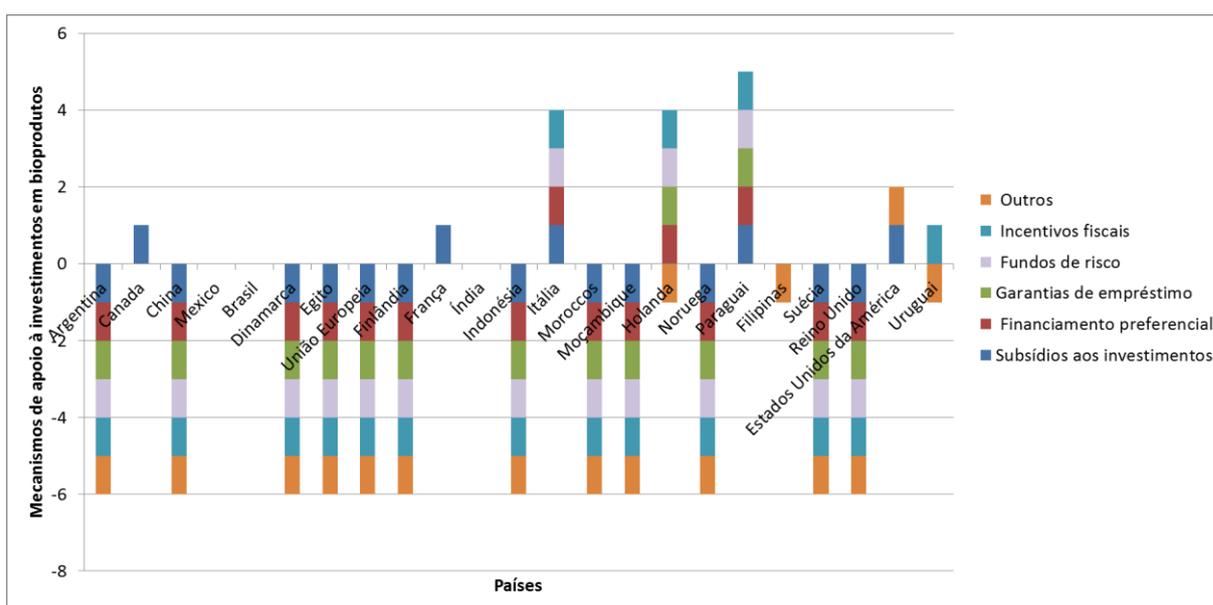
Os mecanismos de apoio (do tipo *technology push*) para incentivar investimentos em instalações avançadas de produção de biocombustíveis e bioprodutos sugeridos no *survey* realizado são de cinco tipos: incentivos fiscais, fundos de risco, garantias de empréstimo, financiamento preferencial, subsídios aos investimentos. Dentro de uma perspectiva de transição energética, onde a inovação precisa atuar em um espaço tecnológico ocupado por produtos dominantes, os mecanismos de apoio a investimentos são essenciais para mitigar riscos, superar subsídios, explícitos ou implícitos, concedidos aos combustíveis e insumos de origem fóssil, valorizar externalidades positivas, compensar desequilíbrios de mercado, e assim engajar empreendedores e investidores.

Na área de biocombustíveis (Figura 45), oito países utilizam entre três e cinco dos mecanismos citados de apoio ao investimento em unidades avançadas de produção, outros oito empregam um ou dois desses instrumentos, e apenas seis países declararam não possuir nenhum tipo de mecanismo de apoio financeiro para promoção dos investimentos.



**Figura 45** - Mecanismos de apoio para promover investimentos em produção de biocombustíveis avançados (positivo - possui; negativo - não possui; zero - não respondeu)  
 Fonte: Elaboração própria.

Com relação aos bioprodutos ( figura 46 ), pouquíssimos países, Holanda e Itália em particular, já adotam instrumentos dessa natureza. A grande maioria declarou não utilizar nenhum incentivo a investimentos, em apoio à implantação de unidades avançadas de produção de bioprodutos. Esse cenário demonstra a necessidade dos países se mobilizarem em apoio à emergência de um setor inovador em estágio inicial de desenvolvimento, com vistas a mitigar os riscos de investimentos e atrair o engajamento de empreendedores e investidores. Importante ressaltar a necessidade de se exigir requisitos de sustentabilidade ambiental quando da implementação de mecanismos de apoio à investimentos.



**Figura 46** - Mecanismos de apoio para promover investimentos em produção de bioprodutos (positivo - possui; negativo - não possui; zero - não respondeu).  
Fonte: Elaboração própria.

As iniciativas multilaterais, tais a *Mission Innovation* e *Biofuture Platform* têm dado grande importância ao engajamento de empreendedores e investidores, aproximando-se de arranjos empresariais, tais o *below50* do WBCSD, a *Breakthrough Energy Venture* (BEV), anunciada pela *Breakthrough Energy Coalition* (BEC), *Green Bonds*, dentre outros. Além disso, fundos multilaterais como o Fundo Verde para o Clima (GCF) da Convenção do Clima, e recursos de bancos de desenvolvimento regionais (Coperação Andina de Fomento - CAF, Banco Interamericano de Desenvolvimento - BID) e nacionais (Banco Nacional de Desenvolvimento Social - BNDES) também precisam contribuir com investimentos

“pacientes e flexíveis” capazes de considerar as dimensões intrínsecas a uma estratégia de transição de modelo de desenvolvimento dessa magnitude.

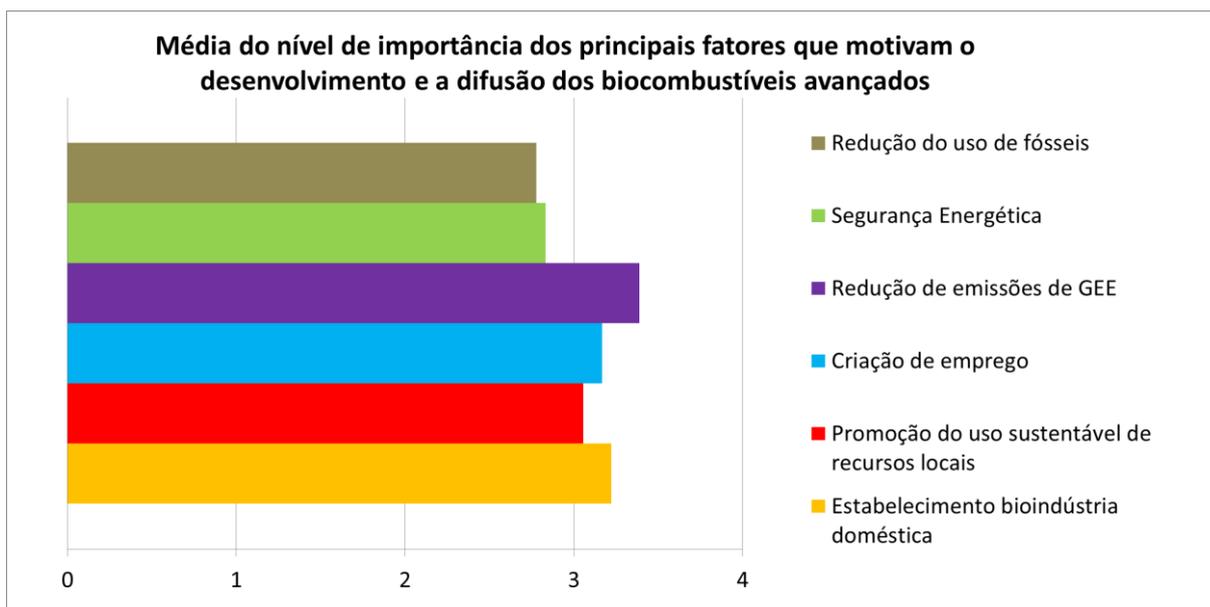
### **6.2.3. Motivações e desafios**

Neste capítulo, examina-se as principais motivações que têm conduzido os países a desenvolver suas competências em biocombustíveis e bioprodutos, assim como os principais desafios aos quais eles têm se confrontado nessa empreitada.

#### **6.2.3.1. Biocombustíveis**

O desenvolvimento e a difusão de biocombustíveis avançados proporcionam diversas oportunidades nas dimensões econômicas, sociais e ambientais. Mas a decisão de cada país em promover os biocombustíveis avançados é motivada por percepções específicas a cada situação. A partir dos dados coletados na consulta, pode-se inferir a percepção dos respondentes sobre o grau de importância dos seis fatores propostos no questionário (**Figura 47**): redução das emissões de GEE, redução do uso de combustíveis fósseis, segurança energética, criação de emprego, promoção do uso sustentável de recursos locais e estabelecimento de uma bioindústria doméstica.

A redução de emissões de GEE é considerada importante ou muito importante por 65% dos países. Ela vem seguida de aspectos ligados ao desenvolvimento industrial, emprego e valorização dos recursos naturais. As considerações energéticas de segurança e substituição de fontes fósseis são relevantes, mas secundárias comparadas com os demais fatores.



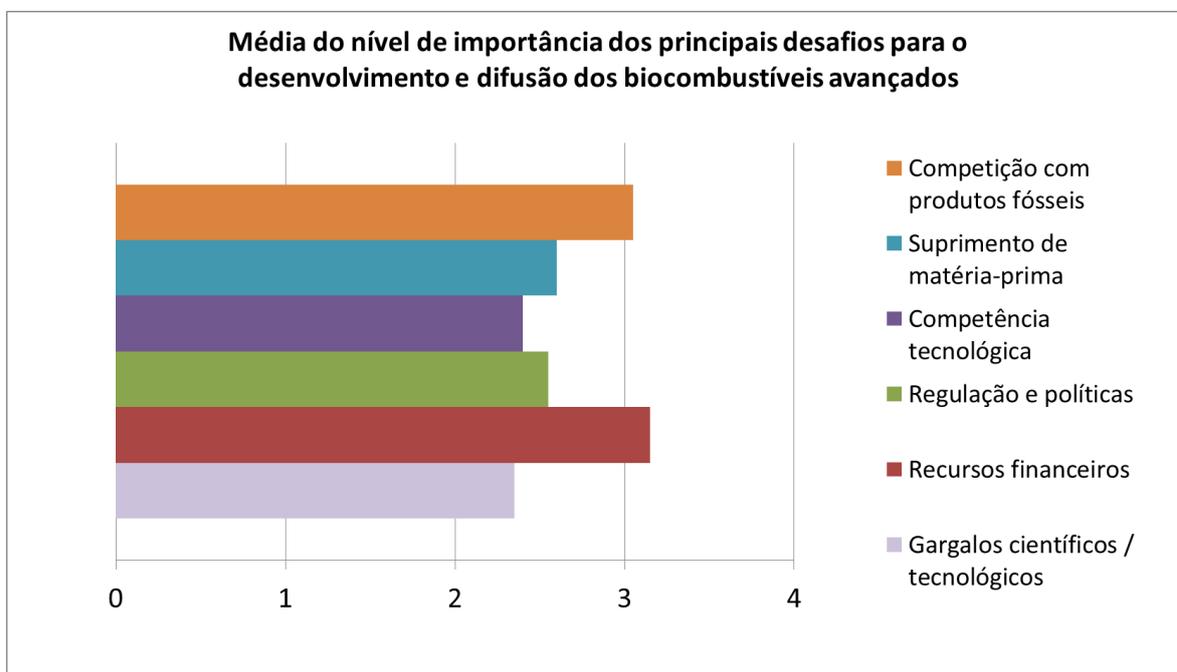
**Figura 47** - Média do nível de importância dos principais fatores que motivam o desenvolvimento e a difusão de biocombustíveis avançados (1 = irrelevante; 2 = relevante; 3 = importante e 4= muito importante).  
Fonte: Elaboração própria.

A partir dos resultados, pode-se inferir que o principal condutor de desenvolvimento e de difusão dos biocombustíveis avançados nos países é a mitigação de GEE. Este resultado mostra tanto a importância e a necessidade de mitigar as emissões de GEE para impedir mudanças climáticas severas, quanto a percepção que os países têm do papel dos biocombustíveis para alcançar as metas climáticas desenhadas a partir do Acordo de Paris e das NDCs. Detectou-se, também, que o desenvolvimento econômico e social - estabelecimento da bioindústria doméstica e criação de empregos - também é associado ao desenvolvimento do setor. Os resultados apontam para a emergência do setor de biocombustíveis avançados tendo como base os três pilares da sustentabilidade: social, ambiental e econômica.

Os países também foram questionados sobre o nível de importância dos principais desafios enfrentados para o desenvolvimento e implantação dos biocombustíveis avançados, dentre os seguintes: competição com produtos fósseis, suprimento de matéria-prima, competência tecnológica, gargalos científicos, recursos financeiros e quadro político e regulatório.

A disponibilidade de recursos financeiros é considerada importante ou muito importante por 65% dos países, assim como a competição com os produtos

fósseis também é destacada nessas duas categorias. Em seguida aparecem as dificuldades de suprimento de matéria-prima e aspectos regulatórios e políticos. As questões científicas e tecnológicas são consideradas relevantes, mas de menor importância comparadas às demais.



**Figura 48** - Média do nível de importância dos principais desafios para o desenvolvimento e difusão dos biocombustíveis avançados (1 = irrelevante; 2 = relevante; 3 = importante e 4 = muito importante).  
Fonte: Elaboração própria.

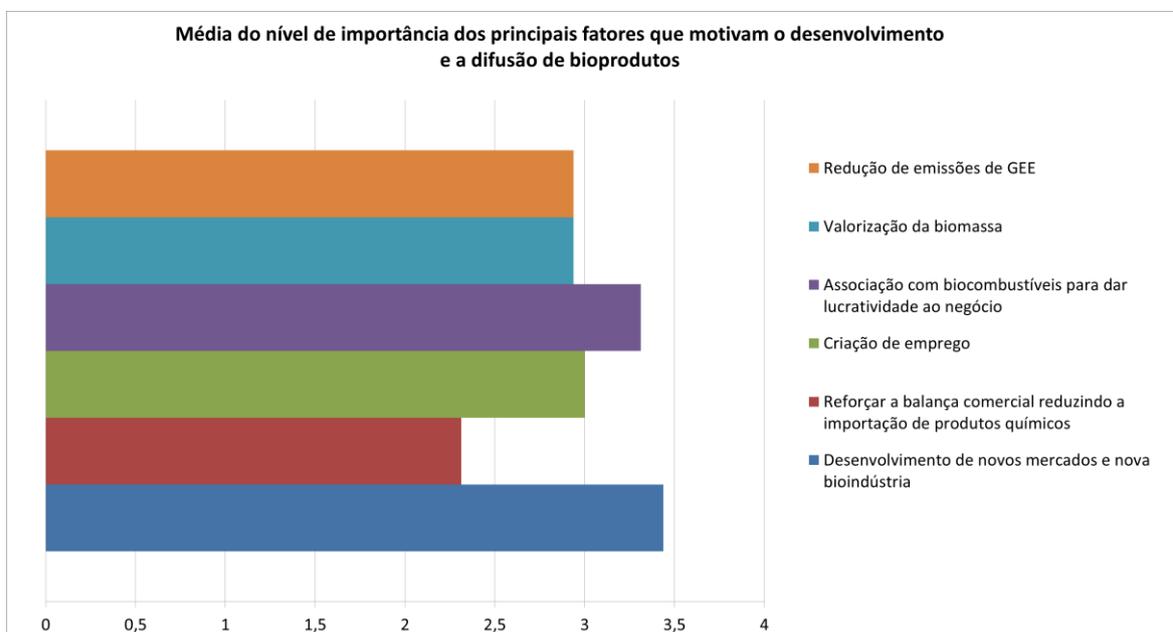
Nota-se que o principal desafio para o desenvolvimento e implantação dos biocombustíveis avançados, tanto nos países desenvolvidos quanto em desenvolvimento, é a disponibilidade de recursos financeiros. Numa indústria emergente e que depende de inovações, sabe-se que os riscos de investimentos são altos, levando à escassez de capital. Dessa forma, a disponibilidade de recursos para o setor constitui um fator limitante para o seu pleno desenvolvimento, necessitando ser equacionada.

### 6.2.3.2. *Bioprodutos*

As motivações para promover o desenvolvimento de bioprodutos avançados variam de um país para outro e vão determinar como os países devem desenhar suas estratégias e planos de desenvolvimento. A partir dos dados coletados o

survey realizado, foram identificadas a importância acordada a cada um dos seis fatores propostos aos respondentes (**Figura 49**): redução de emissão de GEE, implantação de indústrias biotecnológicas, associação com biocombustíveis e agregação de valor, redução da importação de químicos, valorização da biomassa e criação de empregos.

O estabelecimento de indústrias biotecnológicas é percebida como importante ou muito importante por 70% dos países, juntamente com a oportunidade de associar com a indústria de biocombustíveis, agregando valor ao negócio. A criação de empregos e a valorização dos recursos locais de biomassa vêm de par com a redução de emissões de GEE, e a redução da importação de químicos, mesmo sendo considerada relevante, tem menor importância que os demais fatores sugeridos no questionário.



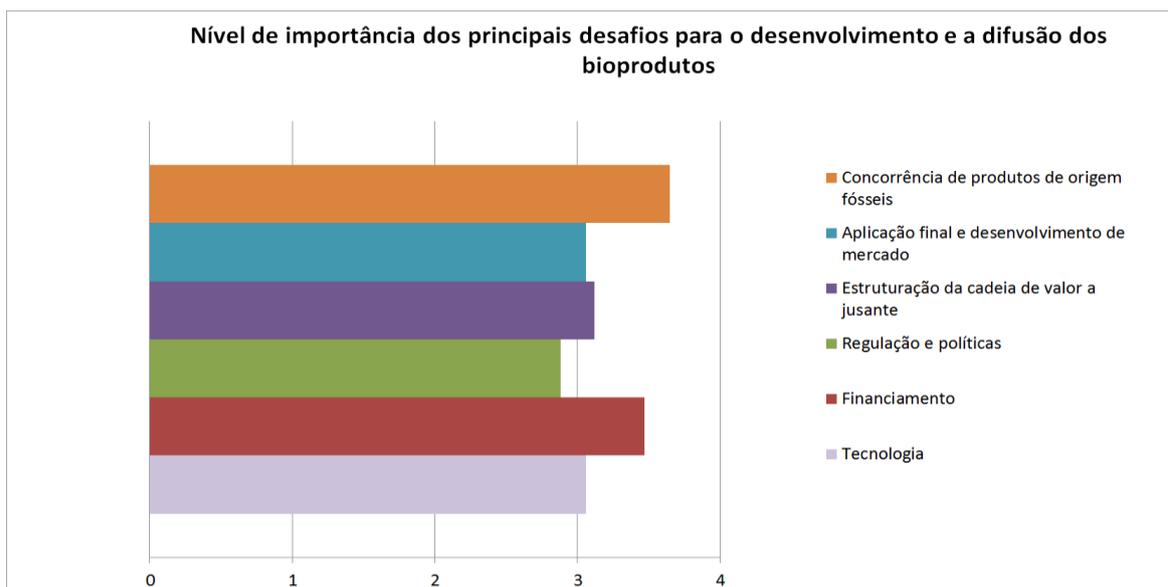
**Figura 49** - Média do nível de importância dos principais fatores que motivam o desenvolvimento e a difusão de bioprodutos (1 = irrelevante; 2 = relevante; 3 = importante e 4= muito importante).  
Fonte: Elaboração própria.

A partir dos resultados, pode-se inferir que no caso de bioprodutos avançados a motivação principal é de caráter industrial, na perspectiva de contar com uma indústria biotecnológica moderna (biorefinarias avançadas) com base em insumos renováveis, conjugadas à agroindústria dos biocombustíveis, associando produtos de maior valor agregado, com ganhos de escala, escopo e competitividade. Entender como a bioindústria deve ser fomentada e estabelecida em cada país é

central, pois as condições socioeconômicas e culturais variam muito, de um continente a outro, e em função de se tratar de países desenvolvidos ou em desenvolvimento.

O nível de importância dos principais desafios para o estabelecimento da produção de bioprodutos avançados nos países também foi objeto de consulta. Nesse caso, foi solicitada a atribuição do grau de importância para os seguintes desafios: competição com produtos fósseis, desenvolvimento de mercado, estruturação da cadeia de valor a jusante, tecnologia, financiamento e quadro político e regulatório.

Como para os biocombustíveis, a competição com produtos fósseis e o financiamento são considerados importante ou muito importante por 65% dos países, enquanto que os demais fatores estão todos avaliados como importantes, com uma ligeira distinção para os aspectos industriais (cadeia de valor, mercado e tecnologias) e um pouco menos para as questões legais e regulatórias, em se tratando de novos produtos, em geral com maior valor agregado.



**Figura 50** - Média do nível de importância dos principais desafios na produção de bioprodutos (1 = irrelevante; 2 = relevante; 3 = importante e 4= muito importante).  
Fonte: Elaboração própria.

No caso de bioprodutos, a competição com produtos de origem fóssil, frequentemente subsidiados de modo explícito e implícito, elaborados em refinarias e polos petroquímicos de grande escala e estabelecidos a décadas, é

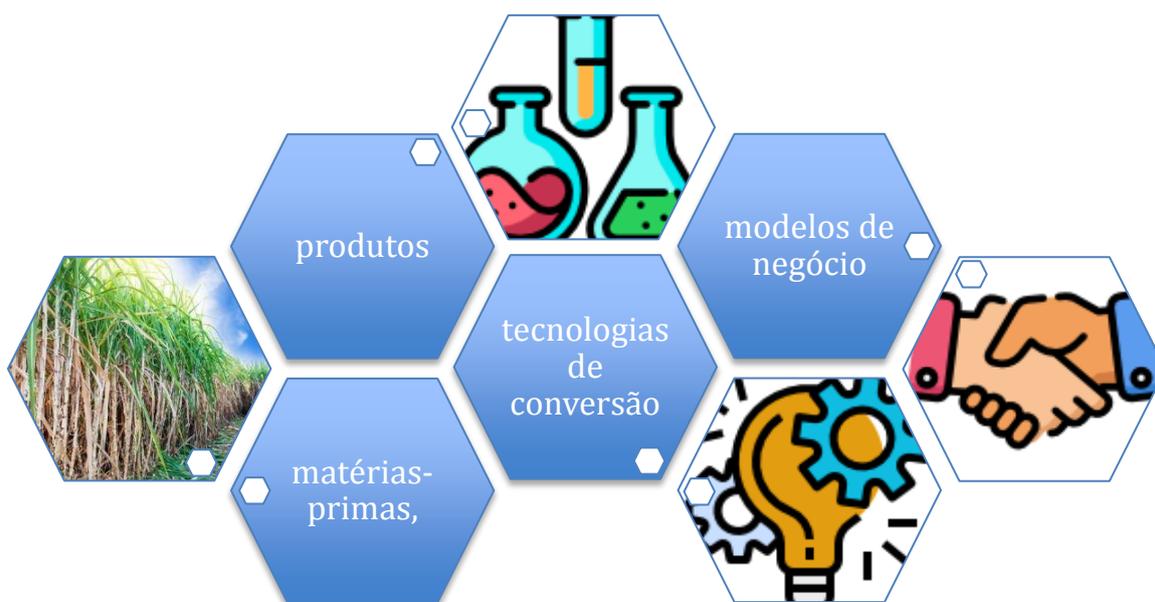
considerada ligeiramente mais desafiante que a disponibilidade de recursos financeiros. Esses porém também são muito importantes, pois trata-se de constituir cadeias de suprimento completas, assim como indústrias de base biotecnológicas e biorrefinarias inovadoras, onde os riscos de investimentos são elevados. Novos meios de financiamento, capazes de atrair empreendedores e investidores para criar a bioeconomia moderna, precisam ver o dia e ser mobilizados em prol dos bioprodutos avançados.

## 7. ACHADOS E RECOMENDAÇÕES

Os achados deste panorama analítico prospectivo corroboram as conclusões de diversos estudos relevantes recentes, de que as metas mundiais de redução de gases de efeito estufa não podem ser atingidas sem um aumento extraordinário da utilização de biocombustíveis e bioprodutos. O relatório *Creating the Biofuture: A Report on the State of the Low Carbon Bioeconomy*, lançado pela *Biofuture Platform* na COP 24 em Katowice na Polônia em dezembro de 2019, ressalta - em consonância com modelos e cenários da Agência Internacional de Energia (IEA), da Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA) e do Painel Intergovernamental sobre Clima Mudança (IPCC) - que a difusão dos biocombustíveis e bioprodutos tem um papel central na transição para uma economia de baixo carbono, em conjunto com outros esforços complementares de mitigação das emissões de GEE em todos os setores econômicos.

A economia baseada em matérias-primas biológicas renováveis (*biobased economy*), ou bioeconomia, é um setor em estruturação, isto é, suas atividades agroindustriais, inclusive biorrefinarias, ainda estão sendo definidas e otimizadas. Diante da análise efetuada neste trabalho, os biocombustíveis e os bioprodutos avançados detêm as características de produtos derivados de uma indústria emergente, que requer progressos constantes nas esferas técnico-científica, econômica e política, além de vultosos investimentos para consolidar sua cadeia produtiva.

A partir do panorama atual foram identificadas quatro variáveis-chave cuja evolução, ou co-evolução, estão na base desse processo de consolidação: matérias-primas, tecnologias de conversão, produtos e modelos de negócios. O processo de estruturação dessa indústria baseada em recursos naturais renováveis se fará pela evolução de cada uma dessas variáveis e de suas inter-relações.



**Figura 51** - Variáveis chave para a estruturação da bioeconomia.  
Fonte: Elaboração própria.

A dimensão produtos é um espaço de importância e atratividade crescentes na estruturação da bioeconomia. A dinâmica inicial voltada para biocombustíveis orientou-se num primeiro momento para a produção principalmente de etanol e biodiesel de primeira geração. Em seguida de segunda, devido a exigências de conservação e sustentação dos recursos naturais, e sobretudo à necessidade de mudança de patamar em termos de escala de produção. Isso para poder atender a mercados globais imensos, na perspectiva de substituição a termo das fontes fósseis de energia (petróleo, carvão e gás natural) e de materiais (produtos petroquímicos e carboquímicos), por fontes renováveis (biomassa, sob o estado sólido, líquido e gasoso).

Com o avanço da ciência e da (bio)tecnologia, as possibilidades de coprodução de biocombustíveis e bioprodutos numa mesma unidade, as biorrefinarias (às vezes integradas a polos petroquímicos), aumentam muito e começaram a despertar o interesse de governos, academia e setor produtivo. Com efeito, inúmeros bioprodutos encontram-se em desenvolvimento ou em início de comercialização. Uma extensa lista dos mais relevantes foi publicada recentemente pela *IEA Bioenergy Bioenergy Task 42* (IEA, 2018b).

A produção e o aprovisionamento de matéria-prima, seu processamento e o escoamento dos bioprodutos para o mercado, reúnem numerosos atores da cadeia de suprimento, tornando as relações e interações mais complexas. Outras variáveis passam a ter influência na estruturação da bioindústria, tais licenças de instalação, operação e comercialização de bioprodutos, em unidades inicialmente dedicadas exclusivamente à produção e comercialização de bioenergia (além dos produtos habituais – alimentares e outros – da bioeconomia tradicional).

A estratégia de desenvolvimento da bioeconomia moderna, considerando as quatro variáveis chave supracitadas, já dispõe de ferramentas para auxiliar os tomadores de decisão, tais como encaminhamentos elencados no documento *How2Guide for Bioenergy*, elaborado a partir de uma cooperação entre IEA e a FAO, lançada no início de 2017, que fornece orientações sobre a preparação de planos nacionais e regionais de bioenergia (IEA e FAO, 2017).

No entanto, diversos desafios precisam ser enfrentados para que, de fato, a bioeconomia moderna seja um dos pilares da transição econômica de baixo carbono e ao mesmo tempo impulse os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. O relatório *Creating the Biofuture* da BFP aponta quatro grandes desafios, entendidos como centrais para a expansão do setor:

- Garantir o suprimento suficiente, confiável e a preços acessíveis de biomassa sustentável para uso na produção de biocombustíveis e outros bioprodutos. As necessidades vão desde a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação em biotecnologias e engenharia genética, passando por soluções inovadoras na etapa de corte, coleta e transporte (CCT), assim como de novos modelos de negócios e integração da cadeia de suprimento.
- Criar de um ambiente mais competitivo para biocombustíveis e bioprodutos, em relação a produtos baseados em fontes fósseis. É preciso fazer face aos subsídios explícitos e implícitos de que estes beneficiam, à maturidade e à escala adquiridas como produtos dominantes, dispendo de uma cadeia de suprimentos bem desenvolvida.

- Desenvolver e implantar arcabouços políticos-regulatórios favoráveis, tais o Programa RenovaBio brasileiro, em fase de implantação, capazes de coordenar efetivamente os desafios de mitigação de emissões de GEE, sustentabilidade socioeconômica e ambiental, e sinergia com a produção de alimentos. São essenciais para o setor um ambiente regulatório e uma governança que garantam concomitantemente: (i) as necessidades competitivas da economia agrícola e do sistema agroalimentar; (ii) um fornecimento de energia seguro e limpo; e (iii) a proteção do ambiente natural.
- Superar a percepção dos investidores de que o mercado de bioprodutos e biocombustíveis avançados ainda é um mercado de alto risco. Ações conjugadas de instituições financeiras de promoção do desenvolvimento, nacionais e multilaterais, e de fundos de investimento privados adequados ao conceito de transição de modelo de desenvolvimento (GCF e BEV, entre outros) possibilitaria a disponibilização de recursos financeiros vitais para a pesquisa, o desenvolvimento e a implantação, que por sua vez são essenciais para arremeter a produção em escala comercial.

A UNCTAD (2015) confirma, no relatório “*Second Generation Biofuels Markets: State of Play, Trade and Developing Country Perspectives*” (), a extrema relevância da formulação de políticas públicas capazes de dar suporte às ações da iniciativa privada. O relatório propõe:

- I. Criar marcos regulatórios para a bioenergia avançada;
- II. Promover a cooperação entre as organizações nacionais e empresas estrangeiras, a fim de facilitar a transferência de tecnologia;
- III. Prover flexibilidade para os agentes de mercado que operam biorrefinarias para atuarem em outros segmentos, incluindo materiais, alimentação e energia; e
- IV. Incentivar o diálogo técnico entre as diferentes regiões de produção de combustíveis avançados, a fim de garantir padrões compatíveis para as matérias-primas e o comércio de produtos.

A partir do panorama analítico prospectivo aqui realizado, mais algumas recomendações podem ser formuladas:

- Levantar e analisar dados de investimentos públicos e privados realizados nas áreas de biocombustíveis e bioprodutos avançados, a fim de subsidiar uma estratégia capaz de elevar e aprimorar os investimentos em PDI em temas fundamentais para a concretização da bioeconomia;
- Mapear competências científicas, tecnológicas e industriais nos principais domínios da bioeconomia moderna, a fim de analisar capacidades e necessidades locais, e contribuir para a implantação de sistemas de inovação tecnológica (SIT) regionais da bioeconomia, a exemplo da experiência do SIT brasileiro da cana-de-açúcar (LANCKRIET,2019);
- Conectar agências e instituições de regulamentação dos diferentes países, com o objetivo de trocar informações técnicas e experiências locais relevantes, com relação à especificação de biocombustíveis;
- Mapear e analisar mecanismos de apoio, financeiros e de cooperação, existentes e específicos para a bioeconomia moderna, a fim de identificar casos de sucesso, lacunas, e formas de aprimoramento, com foco em políticas para garantia de mercado, em incentivos aos investimentos pelo setor privado, na regulamentação da produção de matéria-prima para abastecer a bioeconomia e em políticas de sustentabilidade socioeconômica e ambiental;
- Capacitar os governos no desenvolvimento e implantação desses mecanismos de apoio, em especial no que concerne a investimentos na área de biocombustíveis e bioprodutos avançados, capazes de atrair empreendedores e investidores para o setor;
- Estudar os benefícios sociais, ambientais e econômicos do desenvolvimento da bioeconomia moderna, assim como levantar e analisar os recursos necessários para o estabelecimento de indústrias de base biotecnológica;
- Ressaltar o futuro papel-chave da bioeconomia na promoção do desenvolvimento sustentável de cada país ou região, e desenhar propostas de estruturas de governança e indicadores para implantar estratégias industriais ambiciosas em bioeconomia.

A transição para uma economia de baixo carbono baseada em recursos biológicos renováveis é urgente e emergente. As oportunidades desta nova bioeconomia podem impulsionar o desenvolvimento sustentável dos países. Aproveitá-las o quanto antes é um fator decisivo para o posicionamento estratégico mundial dentro da perspectiva de uma economia sustentável baseada em ciência, tecnologia e inovação. Portanto, a partir dos achados e recomendações aqui apresentados, pretende-se contribuir para a formulação de estratégias nacionais que permitam o desenvolvimento e a difusão da bioeconomia moderna.

## REFERÊNCIAS

AGRAWAL, Akriti; KAUSHIK, Nirmala; BISWAS, Soumitra. **Derivatives and applications of lignin - An insight**. The SciTech Journal, v. 1, n. 7, p. 30-36, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. **Biocombustíveis**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/>> Acesso em: 5 novembro 2018.

\_\_\_\_\_. **RenovaBio**. Disponível em : <<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/renovabio>> Acesso em: 25 de novembro de 2018.

AZADI, Pooya; OLIVER R. **Liquid fuels, hydrogen and chemicals from lignin: A critical review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 21: 506–523.

BARROS, Talita Delgrossi. **Etanol lignocelulósico**. Agência Embrapa de informação tecnológica. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000g63ym1ge02wx5ok0o71pxtm0b852y.html>>. Acesso em: 20 de novembro de 2018.

BIOENERGY AND FOOD SECURITY CRITERIA AND INDICATORS – BEFSCI. **Website**. Disponível em: <[https://openei.org/wiki/Bioenergy\\_and\\_Food\\_Security\\_Criteria\\_and\\_Indicators\\_\(BEFSCI\)\\_Website](https://openei.org/wiki/Bioenergy_and_Food_Security_Criteria_and_Indicators_(BEFSCI)_Website)>. Acesso em: 17 de outubro de 2018.

BIOFUEL.ORG.UK. **Third Generation Biofuels**. Disponível em: <<http://biofuel.org.uk/third-generation-biofuels.html>>. Acesso em: 5 de novembro de 2018.

BIOFUELS DIGEST. **European Parliament approves REDII**. Disponível em: <<https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2018/11/13/european-parliament-approves-redii/>>. Acesso em: 25 de novembro de 2018.

BIOMASS CONVERSION AND BIOREFINERY, 2013, Volume 3, Issue 3, pp 255-269.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E COMUNICAÇÃO - MCTIC. **Bioeconomia**. Disponível em: <<https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/Bioeconomia/Bioeconomia.html>> Acesso em: 10 de outubro de 2018.

\_\_\_\_\_. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **RenovaBio**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/programas/renovabio/principal>> Acesso em: 25 de novembro de 2018.

CLIMATE ACTION TRACKER - CAT. Disponível em: <<https://climateactiontracker.org/>> Acesso em: 10 de outubro de 2018.

CELENTE, Viviane. **Grupo consegue dobrar volume de enzimas para a produção de bioetanol de 2ª geração**. Jornal da Unicamp, São Paulo, 06 de novembro de 2017. Disponível em: <<https://www.unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2017/11/06/grupo-consegue-dobrar-volume-de-enzimas-para-producao-de-bioetanol-de-2a>>. Acesso em: 22 de novembro de 2018.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Second-generation sugarcane bioenergy & biochemicals** – Advanced low-carbon fuels for transport and industry. Brasília: CGEE, 2017. 124p. Disponível em: <<https://www.cgee.org.br/estudoscgee>>. (2017<sup>a</sup>)

\_\_\_\_\_. **Panorama da Bioeconomia no Brasil e Identificação das Áreas Estratégicas**. Relatório Final. Brasília: CGEE, 2017. 128p. (2017b). (No Prelo).

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION - EIA. **Biofuels Ethanol and Biodiesel explained**. Disponível em: <[https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=biofuel\\_home](https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=biofuel_home)> Acesso em: 5 de novembro de 2018.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **Renewable Fuel Standard (RFS2): Final Rule**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/renewable-fuel-standard-rfs2-final-rule>> Acesso em: 21 de novembro de 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **RenovaBio**. Disponível em : <NP, RenovaBio. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/renovabio>> Acesso em: 25 de novembro de 2018.

EUROPEAN COMMISSION - DIRECTORATE-GENERAL ENERGY - EC-DGE.  
**From the Sugar Platform to biofuels and biochemicals.** Final report for the E4Tech, RE-CORD (Consorzio per la Ricerca e la Dimostrazione sulle Energie Rinnovabili), Wageningen: University and Research Center, ENER/C2/423- 2012/SI2.673791. v. 2.1., Apr. 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. **FAO Support to Decision-Making for Sustainable Bioenergy.** Disponível em: <<http://www.fao.org/bioenergy/28392-0a61de8f511d0a4d08b2137bc929214a7.pdf>> Acesso em: 15 de outubro de 2018.

FRITSCHÉ, U, et al. (2017a). **Linkages between the Sustainable Development Goals (SDGs) and the GBEP Sustainability Indicators for Bioenergy (GSI).** Technical Paper for the GBEP Task Force on Sustainability. INAS & IFEU, 2018.

FULTON, Lewis M. et al. **The need for biofuels as part of a low carbon energy future.** Biofuels, Bioproducts and Biorefining, v. 9, n. 5, p. 476-483, 2015.

GEA. **A natureza oferece uma alternativa ecológica às matérias não renováveis.** Disponível em: <<https://www.gea.com/pt/technology-talks/nanocellulose.jsp>> Acesso em: 15 de novembro de 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Technology Roadmap: Delivering Sustainable Bioenergy.** 2017. International Energy Agency and IEA Bioenergy TCP. Paris. Disponível em : [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Technology\\_Roadmap\\_Delivering\\_Sustainable\\_Bioenergy.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Technology_Roadmap_Delivering_Sustainable_Bioenergy.pdf) .

\_\_\_\_\_. Glossary. Disponível em: <<https://www.iea.org/about/glossary/s/>>. Acesso em: 30 de outubro de 2018.

\_\_\_\_\_. **Renewables 2018.** Disponível em: <<https://www.iea.org/renewables2018/power/>> Acesso em: 18 de outubro de 2018. (2018a).

\_\_\_\_\_. **Natural Fibers and Fiber-based Materials in Biorefineries.** Disponível em: <[http://task42.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/12/IEA-Bioenergy-Task42-Fibres-Report\\_FINAL\\_181214JW.pdf](http://task42.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/12/IEA-Bioenergy-Task42-Fibres-Report_FINAL_181214JW.pdf)>. Acesso em 18 de dezembro de 2019. IEA (2018b).

- JUNQUEIRA, Tassia L. et al. **Techno-economic analysis and climate change impacts of sugarcane biorefineries considering different time horizons**. *Biotechnology for biofuels*, v. 10, n. 1, p. 50, 2017.
- LANCKRIET, Edouard; POPPE, Marcelo. **O Sistema de Inovação Tecnológica da agro-energia da cana-de-açúcar no Brasil – da sua gênese à transição agroecológica atual**. *Parcerias Estratégicas* nº 46. Vol. 23. CGEE, Brasília: CGEE. (No Prelo).
- LOW CARBON TRANSPORT PARTNER INITIATIVE - LCTPI. **Fuels and the Climate Challenge**. Disponível em: <<https://lctpi.wbcso.org/portfolio-item/low-carbon-transport-fuels/>>. Acesso em : 30 de novembro de 2018.
- MILANEZ, Artur Yabe et al. **De promessa a realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar: uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública**. 2015.
- MISSION INNOVATION. **Sustainable Biofuels Innovation Challenge**. Disponível em: <<http://mission-innovation.net/our-work/innovation-challenges/sustainable-biofuels-challenge>> Acesso em: 30 e novembro de 2018.
- MOOD, Sohrab Haghghi et al. **Lignocellulosic biomass to bioethanol, a comprehensive review with a focus on pretreatment**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 27, p. 77-93, 2013.
- NASA. **Technology Readiness Level**. Disponível em: <[https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt\\_a\\_cordion1.html](https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt_a_cordion1.html)>. Acesso em: 11 de novembro de 2018.
- NELSON, D.L. e COX, M.M. Lenhinger. **Princípios de Bioquímica**. Trad. A.A. Simões e W.R.N Lodi. 3a ed. São Paulo: Sarvier, 2002.
- NISHIYAMA, Yoshiharu; LANGAN, Paul; CHANZY, Henri; LANGAN, Chanzy. **Crystal Structure and Hydrogen-Bonding System in Cellulose I $\beta$  from Synchrotron X-ray and Neutron Fiber Diffraction**. *J. Am. Chem. Soc.* 124 (31): 9074–82, 2002.
- PINHEIRO, Denise M. **A química dos alimentos**. Coleção Conversando sobre Ciência. Editora Edufal, 2005.

- PŁAZA, Grażyna A.; WANDZICH, Dorota. **Biorefineries - New Green Strategy For Development Of Smart And Innovative Industry**. Management Systems in Production Engineering, v. 23, n. 3, p. 150-155, 2016.
- RABONATO, Aline Cristina et al. **Determinação do teor de glicose em bagaço de cana-de-açúcar hidrolizado pelo processo de conversão enzimática**. Energia na Agricultura, v. 30, n. 1, p. 11-19, 2015.
- REN21. **Renewables**. Global Status Report, REN21 Secretariat, Paris, France. In: Tech. Rep. 2018.
- ROBAK, Katarzyna; BALCEREK, Maria. **Review of second generation bioethanol production from residual biomass**. Food technology and biotechnology, v. 56, n. 2, p. 174, 2018.
- SAITO, Tomonori et al. **Turning renewable resources into value-added polymer: development of lignin-based thermoplastic**. Green Chemistry, v. 14, n. 12, p. 3295-3303, 2012.
- STEFFEN, Will; GRINEVALD, Jacques; CRUTZEN, Paul; MCNEILL, John. **The Anthropocene: conceptual and historical perspectives**. Phil. Trans. R. Soc. A. 369. 843p, 2011.
- The EU has the privileges and obligations of membership but does not host/chair summits. It is represented by the Commission and Council Presidents. 967. **EU and the G8**. European Commission. Acesso em: 27 de novembro de 2018.
- TIAN, Xiaofei et al. **Properties, chemical characteristics and application of lignin and its derivatives**. In: Production of Biofuels and Chemicals from Lignin. Springer, Singapore, 2016. p. 3-33.
- UNITED NATIONS – UN. **World Population Prospects 2017**. Data Query. Disponível em: <<https://population.un.org/wpp/DataQuery/>> Acesso em: 12 de outubro de 2018.
- UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT - UNCTAD (2015). **Second generation biofuels markets: Statte of play, trade and developing country perspectives**. Disponível em: <[https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/ditcted2015d8\\_en.pdf](https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/ditcted2015d8_en.pdf)>. Acesso em 20 de dezembro de 2018.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT - WBCSD.  
**Bellow50.** Disponível em: <<https://www.wbcsd.org/Programs/Climate-and-Energy/Climate/Transforming-Heavy-Transport/below50>> Acesso em 30 de novembro de 2018.

WILMO E. Francisco Junior. Carboidratos: Estrutura, Propriedades e Funções; Química Nova na Escola; N° 29, agosto 2008.