



ABBI

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DE BIOINOVAÇÃO

Identificação das Oportunidades e o
**Potencial do Impacto
da Bioeconomia para a
Descarbonização do Brasil**

Organizadora: ABBI





ABBI

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DE BIOINOVAÇÃO

Identificação das Oportunidades e o

Potencial do Impacto da Bioeconomia para a Descarbonização do Brasil

Organizadora: ABBI

Alexandre Alonso Alves, DSc – Embrapa Agroenergia
Eduardo do Couto e Silva, PhD – LNBR/CNPEN
Gerd Brantes Angelkorte, MSc - CENERGIA/COPPE/UFRJ
Gustavo Alves Soares, MSc - SENAI/CETIQT
Maurício Antônio Lopes, PhD – Embrapa Agroenergia
Marianne Zanon Zotin, MSc - CENERGIA/COPPE/UFRJ
Mateus Chagas – LNBR/CNPEN
Mateus Lopes, PhD – Raízen Energia
Paulo Coutinho, DSc - SENAI/CETIQT
Thayse A. Dourado Hernandez, PhD – LNBR/CNPEN
Thiago Falda, PhD - ABBI
Victoria Santos, PhD - SENAI/CETIQT

Novembro de 2022



SUMÁRIO

RESUMO EXECUTIVO.....	7
CAPÍTULO I – Transição energética e bioeconomia como esforços complementares	11
I. As metas do acordo de Paris e o papel da transição energética.....	11
II. A necessidade do desenvolvimento da Bioeconomia e sua relação com a transição energética .	13
III. O papel da bioeconomia em cenários de transição energética no Brasil.....	14
CAPÍTULO II – Tecnologias-chave para a bioeconomia	17
I. Tecnologias-chave para a bioeconomia	17
CAPÍTULO III – Transição energética e bioeconomia no Brasil	21
I. Particularidades da transição para uma economia de baixo carbono no Brasil	21
II. A necessidade do avanço da bioeconomia no Brasil.....	23
CAPÍTULO IV – Uma avaliação preliminar do potencial da bioeconomia na transição para uma economia de baixo carbono	27
I. Metodologia do estudo	27
CONCLUSÕES.....	33
REFERÊNCIAS.....	37
ANEXO I – AS TRÊS ONDAS DAS PROTEÍNAS ALTERNATIVAS	41
ANEXO II - CONSTRUINDO CENÁRIOS	43
ANEXO III - MERCADOS DE CARBONO E ESTRATÉGIAS NACIONAIS DE DESENVOLVIMENTO DA BIOECONOMIA	47

RESUMO EXECUTIVO

A transição energética e a construção da bioeconomia são processos complementares que devem ser incentivados de forma conjunta. A bioeconomia oferece processos menos intensivos em energia, biocombustíveis com emissões negativas e biomateriais que armazenam carbono. A produção de bioenergia, essencial para a transição energética, tem forte interação com inovações nos setores da agricultura, da silvicultura e de gestão de resíduos, uma vez que se busca uma oferta sustentável de biomassa.

A bioeconomia é caracterizada por ter uma produção descentralizada, estabelecendo e consolidando novas cadeias produtivas. Ela difere radicalmente da atual indústria baseada em fontes fósseis, caracterizada por poucas grandes refinarias que operam em largas escalas e com tecnologias padronizadas. O regionalismo da bioeconomia é um atrativo de desenvolvimento econômico, uma vez que exige a difusão de biorrefinarias e, conseqüentemente, gera investimentos, empregos, conhecimentos e renda de forma descentralizada.

O Brasil precisa consolidar uma estratégia nacional de bioeconomia, visto que ela depende da interação entre diferentes setores econômicos. Estes setores devem ser apoiados por políticas públicas que fomentem uma oferta sustentável de biomassa e que incentivem a implementação de biorrefinarias, que dependem da produção conjunta de biocombustíveis e de bioprodutos de maior valor agregado, criando assim uma demanda que valorize os aspectos ambientais positivos da biomassa brasileira.

O estabelecimento de um mercado de carbono que incentive o uso dos bioprodutos é necessário para o fortalecimento da bioeconomia. Muitas das tecnologias e dos bioprodutos necessários para o avanço da bioeconomia ainda não são competitivos em relação aos seus substitutos fósseis e necessitam de políticas e regulações que valorizem os seus benefícios ambientais.

Políticas públicas e financiamento que permitam o compartilhamento de riscos da inovação são essenciais. A bioeconomia se baseia no avanço de tecnologias com diferentes graus de maturidade, que dependem de investimentos públicos e privados de longo prazo, compartilhamento de riscos e direcionamento para os setores-chave bioeconomia.

Este estudo avaliou algumas oportunidades de bioinovação, baseadas na mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e na geração de receita adicional decorrentes da bioeconomia, no contexto da transição energética no Brasil. Foram avaliadas bioinovações com alto

impacto econômico e de mitigação, e estimados os investimentos necessários e as potenciais receitas geradas. Para além das bioinovações avaliadas neste estudo, existem ainda muitas oportunidades relativas à biodiversidade brasileira a serem estudadas e cadeias produtivas a serem estabelecidas.

O estudo considera o papel da biotecnologia, sob a perspectiva dos múltiplos usos da biomassa - energia, alimento e materiais - no contexto de transição energética e necessidade de desenvolvimento de uma bioeconomia. Foram consideradas diferentes trajetórias para o Brasil até o horizonte de 2050: como ponto de partida, dois cenários previamente elaborados por Oliveira et al. (2021)¹, acrescidos de um terceiro cenário, proposto como ponto fundamental deste documento, a fim de evidenciar os efeitos de uma adoção mais intensificada da biotecnologia:

- **Cenário Políticas Correntes.** Desenvolvido por Oliveira et al. (2021), considera a manutenção das políticas correntes brasileiras e respeita a Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC – *Nationally Determined Contributions*) do país no âmbito do Acordo de Paris. Neste cenário as fontes fósseis representam 62% da oferta de energia primária em 2050 e o Brasil aumenta suas emissões anuais de GEE em mais de 20% no período entre 2010 e 2050.
- **Cenário Abaixo de 2°C.** Também desenvolvido por Oliveira et al. (2021), considera que a biomassa passa a ser a principal fonte de energia para a implementação de tecnologias de baixo carbono nos principais setores da economia brasileira para cumprimento do Acordo de Paris, visando limitar o aumento de temperatura terrestre “bem abaixo dos 2°C” até o final do século. Neste cenário a biomassa representa 76% da oferta interna de energia primária e, quando combinada com processos de captura e armazenamento de carbono (CCS), se apresenta como a única alternativa capaz de entregar emissões negativas de GEE, necessárias para atingir as metas de descarbonização com a urgência requerida.
- **Cenário Potencial da Bioeconomia.** Cenário primordial deste estudo, avalia como a bioeconomia e a transição energética podem se complementar, inserindo, a partir do cenário *Abaixo de 2°C*, tecnologias promissoras selecionadas por empresas da Associação Brasileira de Bioinovação (ABBI), do CENERGIA/UFRJ, do SENAI CETIQT, da Embrapa e do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (LNBR/CNPEN).

O cenário Potencial da Bioeconomia, agrupa as tecnologias selecionadas em três classes, conforme a **Tabela 1**.

¹ O estudo utiliza o modelo Brazilian Land-Use and Energy Systems (BLUES) que é um Modelo de Avaliação Integrada (IAM), muito utilizados nas avaliações e recomendações do IPCC, desenvolvido pelo laboratório Cenergia da COPPE/UFRJ para subsidiar tomadas de decisão em políticas energética, agropecuárias, ambientais e climática.

Tabela 1. Classes de tecnologias selecionadas para o cenário Potencial da Bioeconomia.

CLASSES DE TECNOLOGIAS	EXEMPLOS DE TECNOLOGIAS	DESCRIÇÃO
Soluções para intensificação sustentável da agricultura	Proteínas alternativas, soluções para confinamento de gado, fixação de carbono no solo, novas variedades de vegetais de alto rendimento por hectare, fixação biológica de nitrogênio e controle biológico	Otimização do uso do solo e produção de biomassa com baixa emissão de carbono ou até negativa
Soluções para a conversão de biomassa em produtos de base energética	BECCS, CCU, biogás e etanol de segunda geração (E2G)	Utilização de biomassa para produção de energia de baixa intensidade de carbono ou até com emissões de GEE negativas
Soluções para a conversão de biomassa em produtos de alto valor agregado	Bioquímicos, enzimas e biofertilizantes, biomateriais, bionafta, biocombustíveis avançados	Produção de bioprodutos de elevado valor agregado que substituam produtos de origem fóssil e possibilitem melhor economicidade das biorrefinarias

O Brasil passa a ser um relevante produtor de alguns bioquímicos de alto valor agregado – bioeteno, biopropeno, biobutadieno e bioBTX – com uma produção total de quase de 15 milhões de toneladas em 2050. Neste ano, a produção de biopolímeros passa a representar 53 % do total de polímeros produzido no país.

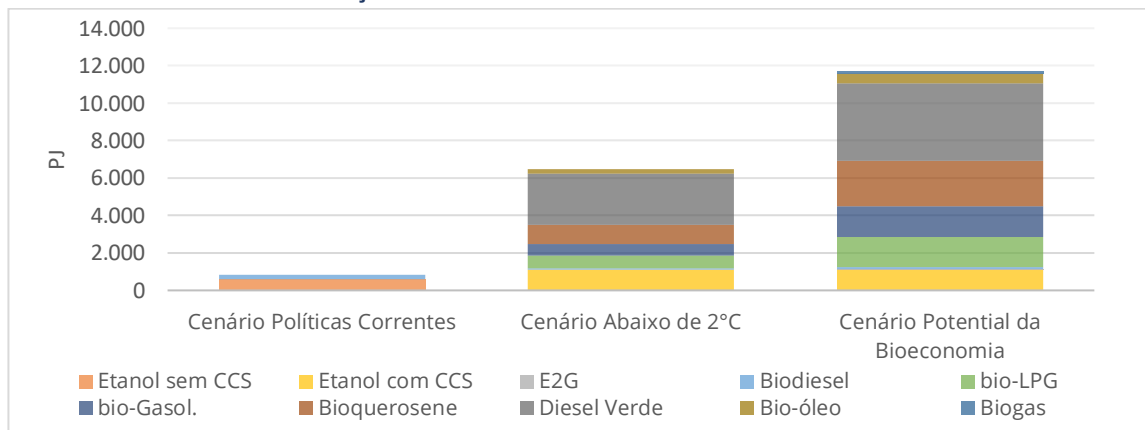
Os biocombustíveis atingem, em 2050, uma produção de 373 bilhões de litros – dos quais cerca de 89% são biocombustíveis avançados. Esta produção é 75% superior em relação à produção do cenário Abaixo de 2°C para o mesmo ano. O biogás, apesar de ter um papel importante no reaproveitamento dos resíduos e na viabilização das biorrefinarias, apresenta uma baixa penetração se comparado com outros biocombustíveis avançados. O **Gráfico 1** apresenta a comparação da produção dos biocombustíveis entre os diferentes cenários.

Cerca de 6,1 milhões de hectares de pastagens são substituídos por eucalipto e cana-de-açúcar para comportar a expansão sustentável da produção de biocombustíveis e bioquímicos. Para liberar esta área de pastagem, é necessário substituir 7% da produção de carne bovina por carne cultivada.

São produzidas cerca de 2 milhões de toneladas de carne cultivada, o que equivale a 13% da demanda brasileira de carne em 2050. A produção de carne cultivada em substituição à carne bovina tradicional é de aproximadamente 1 milhão de toneladas. Além disso, considera-se a expansão da

produção de carne nacional, adicionando mais 1 milhão de toneladas de carne cultivada destinadas para a exportação.

Gráfico 1 - Produção de biocombustíveis nos diferentes cenários em 2050



O Brasil passa a exportar 8,2 milhões de toneladas de bioquímicos e 159 bilhões de litros de biocombustíveis, gerando receitas brutas de cerca de US\$ 392 bilhões em 2050, valor US\$ 147 bilhões superior ao observado no cenário Abaixo de 2°C e US\$ 284 bilhões superiores em relação ao cenário Políticas Correntes.

O cenário *Potencial da Bioeconomia* é apenas uma ilustração das potencialidades do Brasil associadas à biotecnologia. A construção dessa trajetória só será possível através de um esforço coordenado na promoção de políticas públicas que considerem as particularidades e vantagens competitivas brasileiras no contexto de transição para uma economia de baixo carbono.

A bioeconomia é capaz de desacoplar o aumento da produção e o crescimento econômico, do aumento das emissões de GEE. Entre os cenários *Abaixo de 2°C* e *Potencial da Bioeconomia*, a despeito do enorme crescimento da produção de biocombustíveis, de bioquímicos e das receitas, as emissões seriam reduzidas em cerca de 550 milhões de toneladas de CO₂eq.

CAPÍTULO I

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E BIOECONOMIA COMO ESFORÇOS COMPLEMENTARES

I. AS METAS DO ACORDO DE PARIS E O PAPEL DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Em seu sexto Relatório de Ciclo de Avaliação (AR6), o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) mostra que há uma clara relação entre o aumento da temperatura e as emissões antropogênicas de GEE e que políticas de mitigação são capazes de evitar o agravamento dos efeitos do aquecimento global. Para o cumprimento da meta de 1,5 °C estabelecida em 2015 (Acordo de Paris), o relatório afirma que as emissões líquidas de GEE devem estar por volta de zero em 2050 (IPCC, 2021). Para os efeitos irreversíveis em andamento, a exemplo do impacto do aumento da temperatura sobre a biodiversidade (Manes et al. 2021), são necessárias políticas de adaptação para reduzir ao máximo os danos que já estão sendo gerados.

Os países signatários do Acordo de Paris enviaram as revisões das suas NDCs para a Conferência das Partes (COP 26) ocorrida em novembro de 2021 na cidade de Glasgow, na Escócia. A conferência reforçou a percepção de que nunca se empreendeu um esforço coletivo mais ambicioso que reduzir emissões e estabilizar o clima do planeta. Há abundantes evidências de que a ação humana é a principal causa da crise climática e se quisermos um planeta habitável no futuro, países, indústrias e setores devem se descarbonizar com urgência. De maneira geral, percebe-se que há um número crescente de países que incorporaram as recomendações do IPCC e estabeleceram compromissos de longo prazo para zerar as emissões até meados do século (IEA, 2021). A maior parte das ações presentes nas NDCs foca em reduzir as emissões originárias do setor energético, responsáveis por cerca de dois terços de todas as emissões de GEE no planeta. Tais esforços concentram-se principalmente na busca por fontes de energia alternativas às fontes fósseis, o que caracteriza o processo de transição energética em curso.

Além das emissões de dióxido de carbono, o metano é também um importante gás de efeito estufa. Sua curta permanência na atmosfera faz com que cortes significativos nas suas emissões possam provocar redução do aquecimento em apenas uma década, a custos relativamente baixos. É por isso que cerca de 100 países, incluindo o Brasil, anunciaram durante a COP 26 o “Compromisso Global de Metano” - uma meta coletiva de redução das emissões em 30%, a ser alcançada até 2030. Tal acordo

impõe reduções substanciais das emissões de fontes como aterros sanitários, sistemas de óleo e gás, mineração de carvão, processos industriais e agricultura, com destaque para a pecuária. A boa notícia é que o metano é um gás valioso, que pode ser captado e usado como combustível, reduzindo a nossa dependência de fontes fósseis e alimentando de variadas formas o desenvolvimento da Bioeconomia.

As projeções realizadas pela International Energy Agency, IEA (2021), e pela *International Renewable Energy Agency*, IRENA (2021), para um cenário mundial de emissões neutras em 2050, mostram grande papel da eletrificação no consumo final de energia. As projeções mundiais também apontam uma tendência no uso de biocombustíveis, principalmente para atender a demanda dos veículos de grande porte, dos modais aéreos, marítimos e rodoviários, cuja eletrificação é mais complexa (IEA, 2021; IRENA, 2021). No contexto brasileiro, onde já existe uma cadeia plenamente estabelecida de produção de etanol, os biocombustíveis continuam sendo uma alternativa muito interessante, mesmo frente a eletrificação. Veículos híbridos e movidos a células a combustível baseados em etanol aliam as vantagens dos biocombustíveis à eletrificação, representando uma grande vantagem nacional. Essa expansão dos biocombustíveis está relacionada com avanços tecnológicos, uma vez que está pautada no aumento da produção de biocombustíveis avançados – aqueles que utilizam matérias-primas que não concorrem com alimentos, como os resíduos urbanos e agroindustriais e as culturas energéticas (*energy-crops*). Muitas dessas matérias-primas ainda precisam da construção de cadeias de fornecimento, com a superação das barreiras logísticas, e necessitam do avanço de tecnologias de processamento adequadas.

No setor dos veículos de grande porte, o esperado é o desenvolvimento dos biocombustíveis *drop-ins*, como o diesel verde e os biocombustíveis de aviação e marítimo. Estes são biocombustíveis que possuem a vantagem de conseguir substituir os combustíveis de origem fóssil, aproveitando as infraestruturas existentes e sem exigir adaptação de equipamentos. Os biocombustíveis de aviação, por exemplo, necessitam ser *drop-ins* e atender certificações internacionais para evitar problemas técnicos decorrentes do abastecimento de combustíveis nos voos internacionais.

A bioenergia, como um todo, terá um protagonismo no cumprimento das metas de descarbonização. Para o setor industrial, especialmente para os segmentos intensivos em energia, como a siderúrgica e a química, a eletrificação para geração de calor é mais complexa, visto a necessidade de elevadas temperaturas (IEA, 2021). Para estes segmentos, o uso moderno da biomassa e derivados (pellets torrefados, biometano, bio-óleo, hidrogênio de biomassa, dentre outros) será uma das principais opções para substituição dos combustíveis fósseis na geração de calor. Por uso moderno, entende-se que a oferta da biomassa é sustentável, originada de resíduos agroindustriais ou florestais ou de culturas energéticas (IEA, 2021).

A produção de bioenergia ainda é relevante para compensar as emissões residuais nos cenários de emissão neutra. Como a produção de biocombustível e bioeletricidade gera fluxos de CO₂ biogênico em fontes pontuais e com grande volume de emissão, a bioenergia é capaz de entregar emissões negativas de GEE quando associada com tecnologias de captura e estocagem de carbono. Essa combinação de tecnologias é conhecida pela sigla BECCS² e tem sido considerada como essencial para o cumprimento das metas de descarbonização (IEA, 2021; IPCC, 2019).

II. A NECESSIDADE DO DESENVOLVIMENTO DA BIOECONOMIA E SUA RELAÇÃO COM A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Apenas a transição energética não é suficiente para atender as necessidades de descarbonização da economia. Segundo relatório da Ellen MacArthur Foundation (2020), a transição energética só conseguiria atender 55% da necessidade de mitigação das emissões de GEE (EMF, 2020). Os outros 45% precisam ser mitigados em setores como agricultura, indústria química e de materiais, que emitem grandes quantidades de GEE, como, por exemplo, o metano da fermentação entérica dos ruminantes, o óxido nitroso do uso de fertilizantes e as emissões de processos químicos, como a calcinação.

A bioeconomia, definida aqui como toda atividade econômica que utiliza bioprocessos e gera bioprodutos que contribuem para soluções eficientes no uso de recursos biológicos (CGEE, 2021), atende a necessidade de descarbonização desses setores. Ela representa uma transição para uma base de matérias-primas renováveis, saindo do fóssil para a biomassa, e para um modelo de produção que segue uma lógica circular, onde os fluxos residuais de uma cadeia são insumos valiosos para outras. Ela busca desenvolver processos produtivos mais eficientes e menos intensivos em insumos e energia, fortemente apoiada na biotecnologia.

Como é importante que a oferta de biomassa seja sustentável, avançar com a bioeconomia também significa a busca de um melhor aproveitamento dos solos, a recuperação de áreas degradadas, a diversificação na oferta de alimentos, a preservação de biomas, o aproveitamento da biodiversidade e a geração de empregos (D'AMATO; KORHONEN, 2021).

O suporte à bioeconomia não deve ser entendido como uma ação paralela à transição energética. Na verdade, as duas ações são complementares e o avanço das duas agendas gera sinergias que devem ser exploradas. Por exemplo, a produção de bioenergia, elemento importante na transição energética, tem forte interação com os setores de agricultura, da silvicultura e de gestão de resíduos. A

² BECCS sigla do termo em inglês Bioenergy with carbon capture and storage

bioenergia tem papel importante na bioeconomia pois viabiliza economicamente as biorrefinarias (IEA, 2017). Assim, uma oferta sustentável de biomassa para a produção de bioenergia também é essencial para viabilizar a produção sustentável de bioquímicos e de biomateriais.

Atrelada aos biocombustíveis, a biomassa também aumentará sua participação como insumo para a produção de materiais de construção, fibras, alimentos e rações, móveis e têxteis. Seu uso crescerá, especialmente em biomateriais inovadores, como produtos químicos de base biológica, lubrificantes e plásticos de base biológica, que oferecem alto valor agregado por unidade de massa. A bioenergia valorizará fluxos residuais de matérias-primas contribuindo para substituição da energia de base fóssil.

A bioeconomia é caracterizada por ter uma produção descentralizada, estabelecendo e consolidando novas cadeias produtivas. Ela difere radicalmente da atual indústria baseada em fontes fósseis, caracterizada por poucas grandes refinarias que operam em largas escalas e com tecnologias padronizadas. O regionalismo da bioeconomia é um atrativo de desenvolvimento econômico, uma vez que exige a difusão de biorrefinarias e, conseqüentemente, gera investimentos, empregos, conhecimentos e renda de forma descentralizada (IEA, 2017; OECD, 2018).

A bioeconomia rompe com as estruturas já estabelecidas necessitando de um conjunto de bioinovações que solucionem os desafios da criação de uma oferta sustentável de biomassa, de processos produtivos que sejam capazes de competir com os processos fósseis e de bioprodutos que agreguem mais valor à biomassa. Enquanto a transição energética conta com diversas possibilidades tecnológicas já competitivas, a construção da bioeconomia representa uma quebra de paradigma que requer grande esforço de inovação dos agentes e de políticas econômicas que incentivem o desenvolvimento tecnológico e que valorizem os benefícios gerados pela bioeconomia.

III. O PAPEL DA BIOECONOMIA EM CENÁRIOS DE TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL

O objetivo deste estudo é avaliar as oportunidades geradas através da bioeconomia em um contexto de transição energética no Brasil. Este trabalho foca em bioinovações em indústrias existentes e em fase de desenvolvimento, na qual é possível estimar valores de investimento e de receita. Ele se concentra em setores com um maior potencial de mitigação de GEE.

A fim de se quantificar o da bioeconomia em cenários de transição energética no Brasil, foram consideradas diferentes trajetórias para o Brasil até o horizonte de 2050: como ponto de partida, dois

cenários previamente elaborados por Oliveira et al. (2021), acrescidos de um terceiro cenário, proposto como ponto fundamental deste documento, a fim de evidenciar os efeitos de uma adoção mais intensificada da biotecnologia:

- **Cenário Políticas Correntes.** Desenvolvido por Oliveira et al. (2021), considera a manutenção das políticas correntes brasileiras e respeita a Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC – *Nationally Determined Contributions*) do país no âmbito do Acordo de Paris.
- **Cenário Abaixo de 2°C.** Também desenvolvido por Oliveira et al. (2021), considera que a biomassa passa a ser a principal fonte de energia para a implementação de tecnologias de baixo carbono nos principais setores da economia brasileira para cumprimento do Acordo de Paris, visando limitar o aumento de temperatura terrestre “bem abaixo dos 2°C” até o final do século.
- **Cenário Potencial da Bioeconomia.** Cenário primordial deste estudo, avalia como a bioeconomia e a transição energética podem se complementar, inserindo, a partir do cenário *Abaixo de 2°C*, tecnologias promissoras de biorrenováveis.

Oliveira et al. (2021) avaliam o papel da biomassa em cenários de transição energética no Brasil, sob a perspectiva de seus múltiplos usos – energia, alimento e materiais – utilizando o modelo *Brazilian Land-Use and Energy Systems* (BLUES), um Modelo de Avaliação Integrada (IAM, Integrated assessment model) desenvolvido, e constantemente aperfeiçoado, pelo laboratório Cenergia da COPPE/UFRJ para subsidiar tomadas de decisão em políticas energética, agropecuárias, ambientais e climáticas. É importante ressaltar que os resultados de IAMs representam possíveis trajetórias de futuro consistentes internamente com premissas demográficas, econômicas e tecnológicas, não fazendo previsões, mas elaborando cenários plausíveis e custo-efetivos de descarbonização. Cenários gerados por IAMs são utilizados nas avaliações e recomendações do IPCC, por exemplo.

As novas tecnologias inseridas no modelo foram selecionadas por empresas associadas à Associação Brasileira de Bioinovação (ABBI), pelo CENERGIA/UFRJ, pelo SENAI CETIQT, pela Embrapa e pelo Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (LNBR/CNPEM) e atuam na busca de uma oferta de biomassa mais sustentável, no desenvolvimento de tecnologias capazes de processar um maior leque de diferentes matérias-primas e no desenvolvimento de novos bioprodutos de maior valor agregado. A construção dessa trajetória só será possível caso haja um esforço coordenado de políticas públicas que considerem as particularidades e vantagens competitivas brasileiras no contexto de

transição para uma economia de baixo carbono. Para tanto é necessária uma estratégia nacional que pense a bioeconomia de forma sistêmica, desde a busca de uma oferta de biomassa sustentável até o incentivo à produção e ao consumo de bioprodutos e de bioenergia. É importante considerar que já se encontra estabelecido no país um conjunto de setores intensivos em biomassa, e que estes podem servir como ponto de partida para a consolidação de uma bioeconomia de maior valor agregado, diversificando a produção para além das commodities.

CAPÍTULO II

TECNOLOGIAS-CHAVE PARA A BIOECONOMIA

A bioinovação abrange inovações tecnológicas relacionadas à utilização de matérias-primas renováveis para desenvolver novos processos industriais e novos bioprodutos. Por sua vez, a introdução dessas bioinovações, seguida da sua disseminação, gera benefícios econômicos, como o aumento do nível de investimento, a elevação de competitividade industrial e o surgimento de novos setores produtivos. Essas vantagens econômicas se traduzem em benefícios sociais por meio da criação de empregos, muitos deles gerados de forma descentralizada.

Neste capítulo, as 12 tecnologias selecionadas serão apresentadas como exemplos de como a bioinovação pode contribuir para a criação de uma bioeconomia sólida. Foram consideradas desde tecnologias já implementadas, porém que necessitam de maior difusão, até tecnologias com menor grau de maturidade, que ainda precisam da construção de novos mercados e de ativos complementares. Tais tecnologias mostram que a construção da bioeconomia já oferece soluções para atender as demandas de mitigação, principalmente com a bioenergia, mas há necessidade de contínuos esforços de inovação para enfrentar os próximos *drivers* de emissões e a necessidade de adaptação aos efeitos das mudanças climáticas.

Importante deixar claro que este relatório está voltado para tecnologias necessárias para mitigar as emissões de GEE e de combate ao aquecimento global. O foco dado à construção de biorrefinarias que produzam, além dos biocombustíveis, outros bioprodutos em grande escala, deve-se à capacidade de mitigação de GEE desses bioprodutos quando substituem os produtos de origem fóssil.

I. TECNOLOGIAS-CHAVE PARA A BIOECONOMIA

A oferta de biomassa moderna caracteriza-se por emitir poucos GEE, ou até retirar GEE da atmosfera, não competir com alimentos e não impactar em desmatamento e perda de biodiversidade. *Energy-crops* são fontes interessantes deste tipo de biomassa, pois apresentam rápido crescimento, podem ser plantadas em consórcio com outras culturas e são, muitas vezes, adaptáveis a terrenos pouco férteis (IEA, 2021; IPCC, 2019). A expansão dessas culturas deve privilegiar áreas marginais, como

pastagens de baixa produtividade, sem ocasionar a redução da oferta de alimentos e nem o desmatamento de áreas nativas. Uma das classes de tecnologias selecionadas é a caracterizada por apresentar “soluções para intensificação sustentável da agricultura”. São tecnologias que impactam no aumento da produtividade da agricultura, possibilitam a liberação de áreas que podem ser reaproveitadas com as *energy-crops*, e reduzem as emissões durante o processo produtivo. A **Tabela 1** apresenta as tecnologias enquadradas sob essa classificação.

Tabela 1 - Soluções de biomanufatura para intensificação sustentável da agricultura

CLASSES DE TECNOLOGIAS PARA A BIOMANUFATURA	TECNOLOGIAS-CHAVE	DESCRIÇÃO
Soluções para intensificação sustentável da agricultura	Proteínas alternativas	Termo geral que cobre alternativas para proteína animal. Inclui proteínas de origem vegetal, proteína fermentada e proteína cultivada. No anexo I, há um detalhamento sobre as diferentes tecnologias de produção de proteínas alternativas.
	Desenvolvimento de novas variedades de culturas de alto rendimento por hectare, práticas de manejo para fixação de carbono no solo, fixação biológica de nitrogênio e controle biológico	Representa uma grande variedade de soluções que podem contribuir para práticas agrícolas mais sustentáveis, substituindo insumos de base fóssil e aumentando os rendimentos por hectare, o que leva a uma redução da pegada de carbono para a agricultura.
	Soluções para o confinamento do gado	Esta tecnologia para confinamento de gado combina aditivos alimentares (produtos químicos, enzimas e vitaminas) para reduzir a fermentação entérica do gado.

A segunda classe de tecnologias avaliada neste relatório refere-se às “Soluções para a conversão de biomassa em produtos de base energética”, que podem ser vistas na **Tabela 2**. Juntamente com a última classe de tecnologias, apresentada na **Tabela 3**, “Soluções para a conversão de biomassa em produtos de alto valor agregado”, representam tecnologias que possibilitam o aproveitamento integral da biomassa e ampliam a circularidade na bioeconomia ao oferecer oportunidades produtivas para resíduos que antes seriam descartados ou utilizados de forma ineficiente. Elas retratam bem a

necessidade de adaptação das tecnologias de processamento às diferentes fontes de biomassa, o que reforça o caráter modular das biorrefinarias e a possibilidade de distintas formas organizacionais dentro de um mesmo pátio produtivo. Enquanto os produtos de base energética mostrados na **Tabela 2** apresentam maior escala de mercado, sendo o esteio da existência de biorrefinarias e constituindo-se numa base sólida para o desenvolvimento de uma bioeconomia mais complexa, os bioprodutos de alto valor agregado da **Tabela 3** são importantes para substituir outros produtos de origem fóssil, que emitem grandes quantidades GEE durante o seu ciclo de vida, e para viabilizar economicamente o desenvolvimento de biorrefinarias.

Tabela 2 - Soluções para a conversão de biomassa em produtos de base energética

CLASSES DE TECNOLOGIAS PARA A BIOMANUFATURA	TECNOLOGIAS-CHAVE	DESCRIÇÃO
Soluções para a conversão de biomassa em produtos de base energética	BECCS	Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono (BECCS), prevenindo que o dióxido de carbono de origem biogênica liberado durante o processamento da biomassa para produção de energia, biocombustíveis e biomateriais chegue à atmosfera, sendo capturado e estocado de forma permanente em reservas geológicas.
	CCU	Utilização de CO2 capturado como matéria-prima para a produção de produtos químicos.
	Biodigestão e gaseificação	Produção de biogás e gás de síntese utilizando uma gama de tecnologias para o aproveitamento de fluxos de resíduos de diferentes setores: agricultura, pecuária e fluxos de resíduos municipais.
	Etanol celulósico	Aproveitamento de biomassa para produção de etanol de segunda geração (E2G) a partir do fracionamento da biomassa lignocelulósica, com oportunidade de aproveitamento das frações da biomassa para outros biocombustíveis e intermediários químicos.
	Biocombustíveis avançados: diesel verde, biocombustíveis de aviação e marítimo	Combustíveis pesados produzidos a partir da biomassa para setores intensivos em emissão de GEE e difíceis de eletrificar.

Tabela 3 - Soluções para a conversão de biomassa em produtos de alto valor agregado

CLASSES DE TECNOLOGIAS PARA A BIOMANUFATURA	TECNOLOGIAS-CHAVE	DESCRIÇÃO
Soluções para a conversão de biomassa em produtos de alto valor agregado	Bioquímicos, enzimas e biofertilizantes	Vários bioquímicos e enzimas podem ser produzidos a partir de matérias-primas renováveis. Estão aqui incluídas soluções drop-in ou não drop-in que podem reduzir a utilização de matérias-primas de base fóssil. Os segmentos de mercado incluem fertilizantes, eletroeletrônicos, automotivo, química fina, construção, aditivos alimentares, higiene doméstica e higiene pessoal, entre outros.
	Biomateriais	Bioprodutos como o bioplástico, materiais de construção e tecidos. Em uma abordagem semelhante à do BECCS, os biomateriais podem ser usados como uma Tecnologia de Emissão Negativa.
	Bionafta	A nafta é a principal matéria-prima para produtos químicos e materiais em todo o mundo. Uma solução renovável é a produção de bionafta a partir de matérias-primas alternativas, como resíduos de triglicerídeos de gado (sebo), óleo de cozinha usado ou óleo de soja.
	Reciclagem Química	Novas tecnologias para converter resíduos plásticos em novas matérias-primas.

CAPÍTULO III

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E BIOECONOMIA NO BRASIL

I. PARTICULARIDADES DA TRANSIÇÃO PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO NO BRASIL

O Brasil, em sua NDC publicada em 2015, comprometeu-se em reduzir as emissões de GEE em 37% até 2025 e, posteriormente, reduzir as emissões em 43% até 2030, utilizando como base o ano de 2005 (BRASIL, 2015). Em 2020, na atualização da sua NDC, o país se comprometeu a atingir a neutralidade de carbono em 2060 (BRASIL, 2020).

O principal instrumento de mitigação presente na NDC brasileira, que entrou em vigor antes mesmo do Acordo de Paris, é a Política Nacional sobre Mudanças Climáticas (Lei 12.187 de 2009), conhecida como Lei do Clima. A lei do Clima serviu de base para a criação de diversas políticas setoriais, além de posicionar as metas de redução de GEE entre os anos de 2010 e 2020 (BRASIL, 2009).

O Brasil apresenta condições que tornam a transição para uma economia de baixo carbono muito específica em relação ao resto do mundo. Comparando a matriz energética brasileira com a média mundial, observa-se que o país já possui elevada participação de renováveis, cerca de 48%³ de sua oferta interna de energia primária, frente aos 12% de média internacional em 2020 (EPE, 2021; IEA, 2021). Olhando exclusivamente para matriz elétrica e matriz de consumo industrial, observa-se uma participação ainda maior de renováveis. No caso da eletricidade, destaca-se a participação da geração hídrica, com cerca de 65%, e da eólica, com 9%, em 2020 (EPE, 2021). A matriz de consumo industrial brasileira também é uma das mais renováveis do mundo com destaque para o uso da biomassa, que chega a alcançar cerca de 45% da oferta de energia do setor (EPE, 2021; IEA, 2021). Importante frisar que a biomassa utilizada advém principalmente de resíduos agroindustriais, como o bagaço de cana e o licor negro, o que configuram fontes sustentáveis de energia.

É no setor de transportes onde há maior predominância de combustíveis fósseis, pois o principal modal de transporte de cargas do país é o rodoviário e, conseqüentemente, há grande consumo de diesel. Todavia, mesmo no caso do setor de transportes, quando comparadas a matriz brasileira com a

³ Considerada a participação de renováveis na oferta interna de energia.

matriz média mundial, o Brasil possui elevada participação de renováveis. Olhando exclusivamente o setor rodoviário, o consumo de biocombustíveis é de 26% (EPE, 2021).

Para atender à necessidade de descarbonização no setor de transportes, foi criada a Política Nacional dos Biocombustíveis, o *RenovaBio*, que está alinhada com a NDC visando elevar para 18% a participação de biocombustíveis na matriz de energética até 2030 (atualmente, a participação dos biocombustíveis é de 8,3% (EPE, 2021)). Seus principais instrumentos são: i) a certificação de empresas produtoras/importadoras de biocombustíveis, que passam a gerar créditos de carbono (CBIOS) proporcionais à produção/importação e à capacidade de mitigação do biocombustível frente ao seu substituto fóssil; ii) o estabelecimento de metas de redução de emissões de GEE aplicadas às distribuidoras de combustível, que precisam comprar os CBIOS ou diminuir a comercialização de combustíveis fósseis para cumprirem as metas; iii) a criação do mercado de carbono, onde os produtores e os distribuidores comercializam os CBIOS.

Apesar de ter sido criado em 2017, o *RenovaBio* entrou em operação apenas em 2020 e, após um ano de funcionamento, o número de empresas certificadas alcançou 291 unidades e as metas de descarbonização para 2020 foram cumpridas (ANP, 2021). Há também no Brasil mandatos de mistura obrigatória do etanol à gasolina e do biodiesel ao diesel.

No Brasil, o principal vetor de emissões é relativo ao setor da “Agropecuária”, seguido do setor de “Energia” e do setor de “Uso da terra, Mudança do Uso da Terra e Floresta” (LULUCF) (SIRENE, 2021). Assim, para além de medidas no setor energético, a NDC brasileira possui também metas e planos sobre esses outros segmentos. Sobre o LULUCF, a NDC considera que o país precisa reforçar o combate ao desmatamento ilegal uma vez que já há uma legislação ampla de proteção ambiental. Além do Sistema de Unidades de Conservação, que determina áreas de proteção ambiental, o Código Florestal de 2012 define porcentagens das áreas rurais privadas que devem ser mantidas preservadas (IPEA, 2016). Em específico, a NDC colocou como meta zerar o desmatamento ilegal até 2030 e reflorestar cerca de 12 milhões de hectares (BRASIL, 2015). A atualização do NDC em 2020 destaca ainda a necessidade do apoio internacional para manter preservada a floresta em pé. O argumento é que os custos de proteger a integridade da floresta não podem recair em apenas um país, visto que, os benefícios gerados impactam em todo o globo. Portanto, a NDC considera que é necessário um apoio anual de cerca de US\$ 10 bilhões cedidos pelos países desenvolvidos para a manutenção das florestas (BRASIL, 2020).

No setor agropecuário as trajetórias para redução de emissões envolvem transição para uma agricultura mais conservacionista, que utilize cada vez menos fertilizantes químicos e passe a usar mais inoculantes e fixação biológica de nitrogênio, e com o uso mais racional do solo, com a aplicação de

métodos de integração lavoura pecuária e floresta (ILPF) e a recuperação de pastagens (LIMA; HARFUCH; PALAURO, 2020).

Para atuar nessas trajetórias, com base na Lei do Clima, o Brasil instituiu o Programa de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono, conhecido como Plano ABC. O programa consiste principalmente em um sistema de crédito diferenciado que beneficia agricultores que utilizam em sua produção tecnologias agrícolas de baixo carbono, como as destacadas no parágrafo anterior (LIMA; HARFUCH; PALAURO, 2020). O Programa, que tinha prazo de dez anos, terminou em 2020 e apresentou bons resultados, incluindo a superação de algumas metas estabelecidas inicialmente. Em 2021, o Plano ABC foi prorrogado por mais dez anos e recebeu o nome de Plano ABC+, entretanto, o volume de verbas destinadas a segunda fase do plano parece aquém da quantidade necessária para implementação de todas as atividades, similarmente ao que se relata na primeira fase de execução do plano (Lima, Harfuch e Palauro, 2020).

De maneira geral, os dados oficiais de emissões setoriais no Brasil para 2016 (SIRENE, 2022) mostram uma redução significativa, de cerca de 75%, para o setor de LULUCF quando comparado ao nível de emissões para o ano base da NDC (2005). No caso do setor Agropecuário, as emissões mantiveram-se no patamar de 2005, com aumento de cerca de 10% quando comparado a 2005. O grande aumento se deu no setor de Energia, onde as emissões setoriais cresceram cerca de 35% de 2005 a 2016, principalmente impulsionado pelas crises hídricas e pelo acionamento de térmicas movidas à combustíveis fósseis nos últimos anos, já que, com os reservatórios comprometidos, a geração de hidroeletricidade, que representa grande parte da oferta de eletricidade no país, ficou comprometida. Assim, fica clara a importância de medidas intersetoriais no que diz respeito ao alcance de metas de descarbonização através da bioeconomia, ou seja, somente esforços coordenados e conjuntos na Bioeconomia serão efetivos no alcance das metas de descarbonização no país.

II. A NECESSIDADE DO AVANÇO DA BIOECONOMIA NO BRASIL

O Brasil, para atingir a meta de neutralidade das emissões até 2050 e atender ao Acordo de Paris, precisa incorporar de forma mais extensiva fontes sustentáveis de biomassa que atendam a uma crescente demanda por biocombustíveis avançados, bioquímicos e biomateriais, importantes para a transição energética. Portanto, as tecnologias para a intensificação sustentável da agricultura são essenciais para garantir que a bioeconomia se desenvolva e que os bioprodutos gerados sejam, de fato, sustentáveis.

Importante considerar que o Brasil possui grande disponibilidade de pastagens pouco produtivas, que poderiam ceder espaço para a ampliação da produção de florestas energéticas, como o eucalipto, ou outras culturas energéticas, como a cana-de-açúcar, sem causar desmatamento. Outras biomassas nativas do território brasileiro, que ainda não possuem sistema de produção em larga escala plenamente estabelecidos, mas possuem pacotes tecnológicos desenvolvidos e validados por pesquisas científicas como, por exemplo, a macaúba, representam alternativas interessantes para o país pelos altos potenciais produtivos, pela adaptabilidade a diferentes biomas, clima e condições de solo.

Nas projeções da IEA (2021), para atingir emissões neutras em 2050, serão necessários cerca de 410 milhões de hectares de terras dedicadas à produção das *energy-crops* no mundo. O Brasil possui atualmente cerca de 155 milhões de hectares de pastagens, sendo que cerca de 80 milhões de hectares apresentam um certo grau de degradação (MAPBIOMAS, 2021).

O Brasil é um grande produtor agrícola e florestal e, portanto, gera uma elevada quantidade de resíduos durante o processo de colheita. O país também possui uma sólida indústria processadora de biomassa, sendo um grande produtor de biocombustível, com destaque para o etanol de cana-de-açúcar, de papel e celulose, carne e outros alimentos. Dessa forma, além de possuir enorme oferta de resíduos agrícolas, o Brasil também possui grande oferta de resíduos agroindustriais.

As soluções de biomanufatura para processamento da biomassa são relevantes para que esses resíduos ganhem destinação econômica de maior valor e ajudem no uso integral da biomassa, o que pode conferir maior sustentabilidade à cadeia produtiva. Ainda, permitem que as unidades produtivas dos setores intensivos em biomassa avancem ainda mais no conceito de biorrefinaria, ao introduzir novas rotas tecnológicas e possibilitar autossuficiência energética.

Para se ter uma ideia deste potencial, pode-se avaliar o potencial técnico de produção de biogás, cuja tecnologia de obtenção pode ser considerada madura. Apesar de ser necessário esforços de *scale-up* e adaptação às diferentes matérias-primas, o Brasil poderia produzir cerca de 44 bilhões de metros cúbicos de biogás, sendo 21,1 bilhões originados do aproveitamento dos resíduos do setor sucoenergético. Caso esse biogás fosse transformado em biometano, poderia substituir algo em torno de 41 bilhões de litros de diesel (ABIOGÁS, 2021). Em 2020, o Brasil consumiu 57,4 bilhões de litros de diesel (EPE, 2021).

Etanol de segunda geração (E2G) é outra grande oportunidade de aproveitamento dos resíduos agrícolas e agroindustriais no Brasil. O país é um dos poucos que contam com plantas comerciais de produção de etanol de segunda geração. Agora, em 2021, a Raízen, empresa do setor sucoenergético, anunciou a sua segunda planta (NOVACANA, 2021), após 6 anos de aprendizado.

Os desenvolvimentos de tecnologias e novas capacidades para produzir biomateriais avançados e bioquímicos podem fornecer economia de energia e carbono em comparação com produtos intensivos em insumos fósseis. Por exemplo, o uso de madeira e biopolímeros como material de construção reduz a necessidade de aço e concreto em edifícios, além de sequestrar carbono por um período prolongado. Embora as estimativas dos benefícios reais de energia e carbono variem amplamente, dependendo das premissas sobre tempos de vida útil e métodos de descarte, esses usos são geralmente considerados altamente eficientes em termos de estocagem carbono, pois substituem materiais que são produzidos por processos intensivos em energia (Oliveira et al., 2021).

No caso exclusivo dos bioquímicos, o desenvolvimento de soluções de biomanufatura para a conversão de biomassa em produtos de alto valor agregado tem ainda o potencial de reduzir o peso das importações de produtos químicos que impactam negativamente no saldo da balança comercial do país. Em 2020, segundo dados do MDIC (2021), o saldo comercial negativo de produtos químicos foi de aproximadamente US\$ 16 bilhões⁴. Destes, cerca de US\$ 8 bilhões foram de fertilizantes químicos (MDIC, 2021).

Em suma, o Brasil precisa pensar a transição energética dentro de uma estratégia de desenvolvimento da bioeconomia, onde os incentivos aos biocombustíveis e aos biomateriais são apenas um dos eixos que precisam ser atendidos. O país precisa reforçar as políticas voltadas a uma agricultura sustentável, garantindo assim uma oferta compatível com às necessidades das biorrefinarias. Também são necessárias políticas voltadas para inovação, que auxiliem na atração de recursos para investimentos em novas tecnologias, capazes de processar de forma mais eficiente e sustentável diferentes matérias-primas. Por fim, o país deve valorizar os benefícios dos bioprodutos, permitindo assim competitividade frente aos fósseis.

Importante frisar que o Brasil não parte do zero. Além de possuir regulamentações ambientais exigentes e grande dotação de recursos naturais, sobretudo áreas agricultáveis, o país possui também uma agricultura pujante e intensiva em inovação. Ainda, é um dos poucos países com grandes setores intensivos em biomassa, que já acumulam diversos conhecimentos necessários para a construção da bioeconomia.

⁴ Considerando apenas os NCM (2 dígitos) 28 (Produtos químicos inorgânicos), 29 (Produtos químicos orgânicos), 31 (fertilizantes) e 32 (Extratos tanantes e tintoriais).

CAPÍTULO IV

UMA AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO POTENCIAL DA BIOECONOMIA NA TRANSIÇÃO PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO

I. METODOLOGIA DO ESTUDO

Atentos aos limites do uso da biomassa sob a perspectiva de seus múltiplos usos – energia, alimento e materiais – Oliveira et al. (2021) mostraram que o cenário Abaixo de 2°C⁵, com emissões brasileiras acumuladas restritas a 14 GtCO₂ entre 2010 e 2050, não apenas evidencia a centralidade da produção de biocombustíveis avançados no cumprimento de metas climáticas, como ressaltam a importância da coprodução de bioquímicos substitutos aos fósseis nas biorrefinarias. Diversos trabalhos mostram que a sinergia entre a produção de bioenergia e de biomateriais viabiliza economicamente as biorrefinarias sem violar restrições de uso do solo (OLIVEIRA et al., 2021; HERNANDES et al., 2021; KLEIN et al., 2018).

O cenário *Potencial da Bioeconomia*, construído para o presente relatório a partir da expansão do estudo de Oliveira et al. (2021) (para mais detalhes, vide Anexo II), representa o quanto a expansão da bioeconomia no Brasil, valendo-se de suas vantagens comparativas – biodiversidade, agronegócio consolidado, e bioinovação – pode ser um motor para o desenvolvimento econômico e sustentável. Nesse cenário, considerou-se que a produção nacional de químicos aumentaria em cerca de 50% em 2050 em relação ao cenário *Abaixo de 2°C*, exclusivamente a partir de biomassa e voltado à exportação. Para não alterar o balanço energético atingido no cenário Abaixo de 2°C, o incremento de demanda energética (calor, vapor e eletricidade) foi suprido por biogás, bio-óleo e biomassa sólida (resíduo agropecuário e floresta plantada de eucalipto). Essa produção incremental seguiu a desagregação tecnológica do cenário *Abaixo de 2°C*, no qual o craqueamento a vapor de nafta respondeu por 75% da produção de eteno, utilizado também para produção de polietileno verde. Para avaliar as emissões de todo o ciclo de vida de bioplásticos, considerou-se que a disposição final (aterro e reciclagem) seguiria o mesmo padrão atual.

O cenário *Potencial da Bioeconomia* considerou a bionafta como matéria-prima para a produção de eteno, propeno, butadieno e BTX de base biológica – bioquímicos de alto valor agregado. A bionafta é coproduzida no processo de *biomass-to-liquids* (BTL), processo de produção de biocombustíveis

⁵ Em Oliveira et al. (2021) o cenário Abaixo de 2°C aparece nomeado como cenário WB2 (Well-below 2°C)

avançados de Fischer-Tropsch, como diesel verde e bioquerosene de aviação. Como simplificação, apenas floresta plantada de eucalipto foi considerada como insumo e assumiu-se que o incremento de área usado seria proveniente da recuperação de pasto degradado. Assumiu-se que os outros produtos do processo de BTL – bioquerosene, bio-GLP e diesel verde – seriam exportados, podendo potencialmente contribuir para as metas de descarbonização do transporte marítimo e aéreo em outros países. É muito importante salientar que esse potencial de descarbonização de produtos exportados nesse cenário não está contabilizado nas emissões acumuladas de GEE do Brasil até 2050 apresentadas nesse estudo, e representam um potencial adicional para o cenário *Potencial da Bioeconomia*.

Também foi considerada a mudança do perfil de produção de carne bovina brasileira, assumindo que parte da produção de carne brasileira em 2050 (aproximadamente 14 milhões de toneladas) (FAO, 2018) migraria para sistemas de carne cultivada para aumentar a cultivada com cana-de-açúcar e florestas plantadas, necessárias para a produção de bioquímicos. Dentre as possibilidades de proteínas alternativas, a carne cultivada é a que apresenta maiores desafios tecnológicos e maior intensidade energética. Assim, pode-se considerar uma avaliação subestimada da expansão da proteína alternativa. Além disso, foi considerado a produção de um excedente de 7% de carne cultivada com foco em exportação e que a demanda de energia resultante da produção de carne cultivada seria suprida por biogás.

Na produção de proteína tradicional, foi assumido o uso de aditivos à ração animal capaz de reduzir em 30% as emissões entéricas de CH₄ do gado leiteiro. Apenas o gado leiteiro foi considerado visto que esse tipo de criação utiliza obrigatoriamente a prática de produção de gado confinado ou semiconfinado, que garante o controle adequado da alimentação animal.

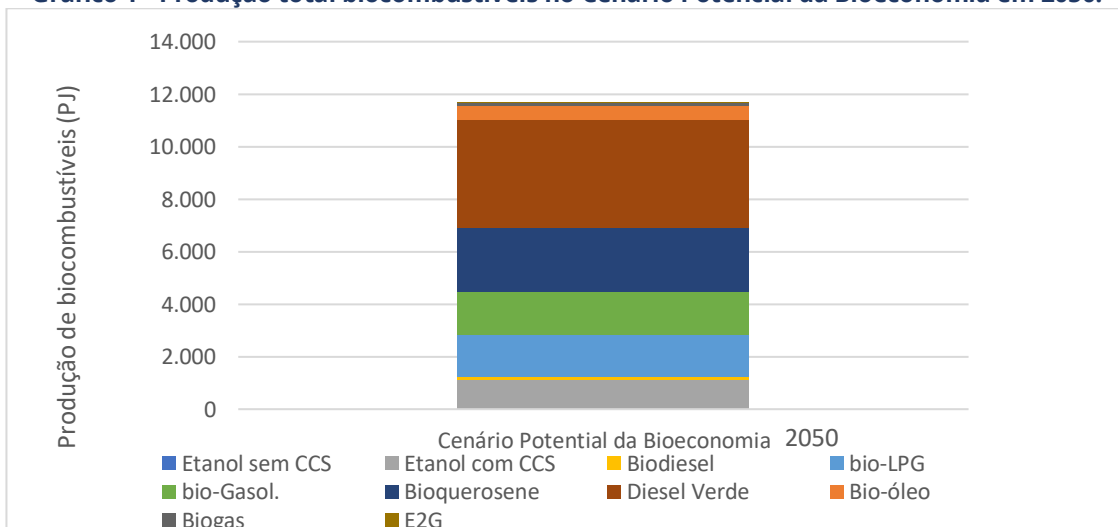
No cenário *Potencial da Bioeconomia*, as tecnologias de BTL revelaram-se processos-chave tanto para atender a demanda doméstica de biocombustíveis avançados quanto para expandir a produção de diesel verde e bioquerosene de aviação para exportação, com a coprodução de bionafta, a principal matéria-prima da produção de químicos de alto valor agregado a partir do craqueamento a vapor. Além disso, houve também uma pequena expansão da produção de etanol de primeira geração com CCS para a produção de eteno. Assim, no cenário *Potencial da Bioeconomia*, a parcela de biopolímeros atingiu 53% da produção total em 2050 (gráficos no Anexo II).

A matriz elétrica e de energia primária no Brasil não se alteraram em relação ao cenário *Abaixo de 2°C*, com exceção do biogás, eucalipto e resíduos agropecuários, acrescidos de forma exógena para atender às novas demandas energéticas para a produção de bioquímicos e de proteína cultivada. Assim, ocorreu um aumento na produção de biocombustíveis tradicionais (etanol de primeira geração) e

avançados (BTL), ambos com a inclusão de CCS para diminuir a pegada de carbono da produção desses bioenergéticos.

A produção de biocombustíveis saiu de cerca de 430 PJ em 2010 (biodiesel e etanol de primeira geração) para 6.500 PJ em 2050 no cenário *Abaixo de 2°C* e 11.600 PJ no cenário *Potencial da Bioeconomia*. Além da produção de etanol 1G com CCS e da produção de biocombustíveis avançados via BTL, o cenário contou com a incorporação da produção de biogás e etanol 2G proveniente do aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar da produção do etanol 1G com CCS.

Gráfico 1 - Produção total biocombustíveis no Cenário Potencial da Bioeconomia em 2050.



Para comportar a expansão sustentável da produção de biocombustíveis avançados e bionafta, foi necessária a expansão da produção de cana-de-açúcar e de eucalipto e o aproveitamento de resíduos agrícolas. Para este fim, foi necessário substituir apenas 7% da produção de carne bovina por carne cultivada visando a liberação de área necessária – em torno de 6,1 milhões de hectares. A produção total de carne foi ainda expandida em 2 milhões de toneladas (carne cultivada), equivalente a 14% da demanda brasileira em 2050 no cenário *Abaixo de 2°C*, com foco em exportação.

A utilização de aditivos na ração do gado leiteiro evitou a emissão de 717 mil toneladas de CH4 (20 milhões de toneladas de CO2e) acumuladas até 2050. Somadas à captura de CO2 nas tecnologias de produção de biocombustíveis, no estoque de carbono em biomateriais para aplicações de longa duração, e considerando ainda as emissões evitadas pela substituição de carne bovina, combustíveis

fósseis e petroquímicos fósseis, as emissões de CO₂e foram reduzidas em quase 550 milhões de toneladas de CO₂ em relação ao cenário *Abaixo de 2°C* em 2050 (Anexo II).

O Brasil também passa a exportar grandes quantidades de biocombustível (3.732 PJ) e de bioquímicos (8.225 kt). Ou seja, o Brasil além de reduzir suas emissões e atingir uma matriz energética com emissões negativas, auxilia na descarbonização de outros países com a exportação de bioprodutos.

Uma avaliação econômica preliminar mostra que há um aumento da ordem de US\$ 284 bilhões/ano no faturamento das tecnologias selecionadas em relação ao cenário Políticas Correntes em 2050, considerando um cenário de precificação do carbono de US\$ 50/tCO₂ (**Tabela 4**). Para o cálculo da estimativa de faturamento, considerou-se o mesmo preço de mercado para alternativas fósseis e renováveis, logo, o eteno e o bioeteno teriam o mesmo valor de mercado. No entanto, um bônus da mitigação de GEE foi conferido aos produtos renováveis pelo serviço de redução de emissões de GEE. Essa premissa conservadora, contudo, já mostra um potencial de adição de valor de mercado significativa para os produtos advindos da bioinovação. Os investimentos necessários foram estimados na ordem de US\$ 45 bilhões no cenário *Potencial da Bioeconomia*, sendo 17% do total destinado à produção e conversão de biogás, e 62% destinado à nova capacidade de craqueamento a vapor da nafta.

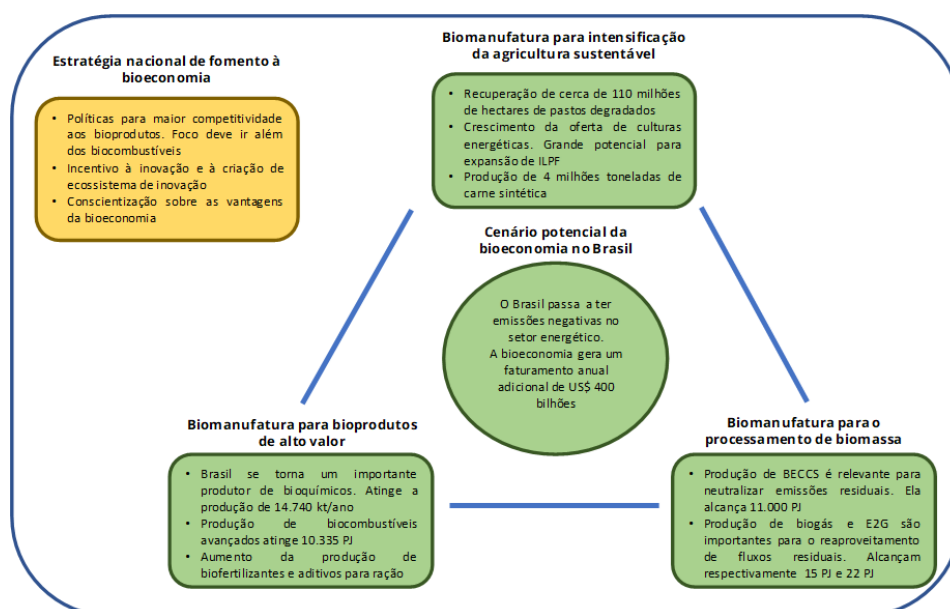
Tabela 4 - Faturamento da produção de biomateriais, biocombustíveis avançados e carne nos cenários avaliados.

BILHÕES US\$/ANO EM 2050	CENÁRIO POLÍTICAS CORRENTES	CENÁRIO ABAIXO DE 2°C	CENÁRIO POTENCIAL DA BIOECONOMIA	BÔNUS MITIGAÇÃO: CENÁRIO POTENCIAL DA BIOECONOMIA
Petroquímicos	23,6	16,1	16,1	
Bioquímicos	0,2	7,7	17,4	
Biocombustíveis avançados	23,5	160,9	266,1	27,4
Carne bovina tradicional	61,0	61,0	56,7	
Proteína alternativa	0,0	0,0	8,5	
Total	108,3	245,7	364,9	392,2

A **Figura 1** resume, por categoria de biomanufatura, alguns dos valores alcançados no cenário *Potencial da Bioeconomia*. Ela mostra que a bioeconomia precisa ser vista de forma sistêmica, envolvendo a combinação das 3 classes de biomanufatura para a criação de ciclo virtuoso que busque

a otimização do uso da terra no Brasil com o desenvolvimento de processos e bioprodutos que atendem às necessidades de descarbonização da economia. Esse ciclo virtuoso da construção da bioeconomia só existirá se houver incentivos econômicos adequados para que os agentes adotem as melhores práticas e haja investimentos nas novas tecnologias. Portanto é necessário o estabelecimento de uma agenda de desenvolvimento da bioeconomia.

Figura 1- Ciclo virtuoso da biomanufatura no Brasil.



Vale lembrar que, segundo o cenário *Políticas Correntes*, que considera a manutenção das atuais políticas econômicas em vigor, o Brasil não alcança a neutralidade de emissões. Para que a transição para uma economia de baixo carbono ocorra, é necessário maior comprometimento do governo com uma agenda de descarbonização e, em específico para o caso brasileiro, é importante pensar uma agenda de construção da bioeconomia.

Estratégias nacionais de desenvolvimento da bioeconomia já estão sendo aplicadas em diversas regiões do mundo. Como pode ser visto em maiores detalhes no Anexo III, países como os EUA, países da Europa e a Costa Rica, possuem estratégias nacionais voltadas para bioeconomia. Elas combinam políticas industriais, voltadas para setores específicos, políticas voltadas para inovação, que possibilitam

o compartilhamento de risco entre os agentes, e políticas de mercado, como o estabelecimento de mercados de carbonos. Como mostra o relatório *“Creating the Biofuture: A Report on the State of the Low Carbon Bioeconomy”*, a construção de uma estratégia nacional voltada à bioeconomia precisa conciliar um mix de políticas que envolvam políticas de mercado e políticas de inovação (BIOFUTURE PLATAFORM, 2018).

Políticas de mercado são aquelas que buscam criar um ambiente de maior competitividade aos bioprodutos e aos bioprocessos corrigindo falhas de mercado, isto é, internalizando os benefícios ambientais no preço dos bioprodutos, estabelecendo mandatos de mistura ou utilizando o poder de compra dos governos e empresas públicas. Em geral, são instrumentos políticos que atendem tecnologias mais maduras.

Políticas de inovação buscam reduzir o custo de pesquisa e desenvolvimento para impulsionar novas ideias e reduzir o custo da tecnologia. Elas permitam o compartilhamento de riscos da inovação entre o setor público e o privado, o que facilita acesso ao crédito para projetos inovadores e canaliza o capital para os setores-chave à bioeconomia. Em suma, ajuda a criar um sistema de inovação.

CONCLUSÕES

Apesar de adotar a meta de zerar as emissões até 2060, o atual panorama de políticas do Brasil não é consistente para o cumprimento das metas estabelecidas. Pelas ações descritas no Capítulo III e com as projeções realizadas no Capítulo IV, percebe-se que seguir o cenário *Políticas Correntes* resulta, em 2050, em uma matriz energética muito intensiva em insumos fósseis e que supera muito o orçamento de carbono brasileiro, estimado em 14 GtCO₂e até 2050, como é possível observar no **Gráfico 6** (Anexo II).

Ao usar o orçamento de carbono como restrição, a matriz energética muda de forma significativa, com os recursos fósseis saindo de 62% no cenário *Políticas Correntes* para 14% no cenário *Abaixo de 2°C*. Essa substituição é majoritariamente feita com o uso de biomassa, que passa a ser a principal fonte de energia primária no Brasil. Esse padrão contrasta com a tendência mundial da transição energética, apresentada no Capítulo I, fortemente baseada na eletrificação e expansão das fontes solar e eólica. No caso brasileiro, a biomassa e os biocombustíveis se apresentam como a solução mais competitiva e com possibilidade de implementação mais rápida e mais sustentável.

Como fica claro nos Capítulos I e II, discutir bioenergia é indissociável da bioeconomia. Os desafios de construção de cadeias sustentáveis de biomassa e o seu processamento em escala são comuns entre os mais variados bioprodutos. O uso da biomassa é imprescindível para o cumprimento das metas de mitigação pois ela é a única opção viável capaz de gerar emissões negativas de CO₂e. Porém, para que de fato essa captura ocorra, é necessário que a oferta de biomassa cresça seguindo parâmetros de sustentabilidade. As projeções consideram a recuperação de cerca de 102 milhões de hectares de pastagens degradadas para o avanço de culturas energéticas com o uso de sistemas produtivos integrados.

Além dos biocombustíveis, o modelo observou que, entre os cenários *Políticas Correntes* e *Abaixo de 2°C*, a produção de biopolímeros no total de polímeros sai de 1%, do cenário *Políticas Correntes*, e alcança aproximadamente 33%, no *Cenário Abaixo de 2°C*. Nas projeções, a produção de biomateriais é importante para reduzir o fator de utilização do refino de petróleo, afetando, portanto, a produção de combustíveis fósseis. Eles também armazenam carbono biogênico quando utilizados em aplicações de longa duração.

O cenário *Potencial da Bioeconomia* representa a construção de uma bioeconomia ampla, com a inclusão de tecnologias não consideradas no cenário *Abaixo de 2°C*. Com ele foi possível avaliar o

potencial do desenvolvimento econômico brasileiro através da adoção de políticas públicas rumo aos cenários de baixo carbono associadas a um aumento da produção de insumos bioenergéticos e bioindustriais com alto valor agregado. Fica claro que, devido ao potencial agropecuário nacional, o país possui meios de produção de bioinsumos suficientes para o atendimento das demandas nacionais e sem necessitar aumentar as pressões sobre áreas de florestas nativas, sendo necessário apenas melhorar os sistemas produtivos para que se tornem mais sustentáveis e produtivos.

Contudo, para que o Brasil possa aproveitar essas oportunidades, a indústria nacional deve buscar orientar-se para o modelo de produção da bioeconomia. O uso sustentável de recursos biológicos é fundamental para atender tanto as metas climáticas mais restritivas quanto o desenvolvimento econômico do país. Conforme foi apresentado, o país tem a possibilidade de atingir um faturamento industrial adicional da ordem de US\$ 392 através da bioinovação, mais de US\$ 284 bilhões/ano, quando comparado com o cenário *Políticas Correntes*. Para tanto, é necessário um investimento da ordem de US\$ 45 bilhões. Importante destacar que esta avaliação preliminar não considera o enorme potencial econômico existente em outras formas de bioinovação, pautadas na exploração da biodiversidade brasileira.

Outros trabalhos buscaram avaliar a contribuição da bioeconomia ou potencial de crescimento desta para a economia brasileira. Silva, Pereira e Martins (2018), por exemplo, estimaram o valor gerado pela bioeconomia no Brasil, em 2016, foi de cerca de US\$ 326 bilhões em receitas no ano de 2016 (SILVA; PEREIRA; MARTINS, 2018). Porém, a definição de bioeconomia utilizada considera as indústrias produtoras de biomassa e processadoras sem relacionar nenhum critério de sustentabilidade ambiental e social. A ABBI, em 2020, por sua vez, fez um esforço em avaliar a contribuição que a biotecnologia industrial, apenas uma parte da bioeconomia, para a economia brasileira. Até 2040, ela considera que a biotecnologia pode aumentar em US\$ 53 bilhões o PIB brasileiro (CNI, 2021).

O presente trabalho possui uma definição de bioeconomia mais restrita que a definição adotada por Silva, Pereira e Martins (2018), pois considera a necessidade de atender critérios de sustentabilidade. O crescimento da bioeconomia projetado é condizente com uma economia de baixo carbono, com zero desmatamento e sem impactar na produção de alimentos.

O mais impressionante na comparação entre os cenários Potencial da Bioeconomia e o Abaixo de 2°C é que, apesar do enorme crescimento da produção de biocombustíveis (sai de 6.500 PJ para 11.600 PJ), de bioquímicos (sai de 6.516 kt para 14.741 kt) e do faturamento (acréscimo de US\$ 120 milhões), as emissões de GEE caíram. Ou seja, a bioeconomia é capaz de desvincular aumento da produção e crescimento econômico do aumento das emissões. Na verdade, ela inverte a relação. A redução das emissões deve-se, em grande parte, à recuperação de cerca de 6 milhões de hectares de

pastagens e à produção de biocombustíveis associados a captura e estocagem de carbono. Entre os dois cenários há uma redução de quase 550 milhões de toneladas de CO₂e acumuladas no período entre 2010 e 2050.

É importante considerar que para a transição para bioeconomia, o Brasil possui grandes setores processadores de biomassa que servem de ponto de partida para a construção de uma bioeconomia. Os setores sucoenergético, de papel e celulose e do complexo da soja já acumulam um conjunto de capacidades, como acesso à biomassa competitiva, que facilitam o processo de expansão das biorrefinaria. Porém, ainda são necessários significativos investimentos em Pesquisa & Desenvolvimento para a superação dos desafios da construção de novas cadeias de abastecimento, que incluam matérias-primas regionais e não gerem desmatamento, para o avanço de tecnologias de processamento que possibilitem o uso integral da biomassa e para o desenvolvimento de novos bioprodutos, que viabilizem a construção da biorrefinarias e gere maior renda agregada.

A construção do cenário *Potencial da Bioeconomia* não é uma tentativa de prever a evolução da bioeconomia. Ele apresenta uma possibilidade viável que pode ser construída. Todavia, a construção dessa trajetória só será possível caso haja um esforço de políticas públicas que considerem as particularidades brasileiras no contexto de transição para uma economia de baixo carbono. Em outras palavras, é necessária uma estratégia nacional que pense a bioeconomia de forma sistêmica, desde a busca de ofertas sustentáveis de biomassa até o incentivo à produção e ao consumo de bioprodutos e de bioenergia.

Para o Brasil isso significa um aprofundamento das políticas já existentes e o desenvolvimento de novas políticas. Em especial, é preciso que as políticas atuais, focadas nos biocombustíveis, avancem e passem a contemplar também outros bioprodutos. Também são relevantes as políticas de inovação que guiem os investimentos para as 3 classes de tecnologias de biomanufatura – (i) intensificação sustentável da agricultura (ii) conversão de biomassa em produtos energéticos, (iii) conversão de biomassa em produtos de maior valor agregado – que, quando combinadas, podem gerar efeitos sinérgicos para garantir a produção de alimentos e o desenvolvimento de biorrefinarias avançadas no país.

REFERÊNCIAS

ABILOGÁS. **Potencial de biogás no Brasil - A Biogás**, 2021. Disponível em: <<https://abiogas.org.br/potencial-de-biogas-no-brasil/>>. Acesso em: 13 set. 2021

ANP. **Painel Dinâmico de Certificações de Biocombustíveis RenovaBio**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-dinamicos-do-renovabio/painel-dinamico-de-certificacoes-de-biocombustiveis-renovabio>>. Acesso em: 13 set. 2021.

BIOFUTURE PLATAFORM. **Creating the Biofuture: A Report on the State of the Low Carbon Bioeconomy**. [s.l.] APEX-Brasil, 2018.

BRASIL. LEI No 12.187, DE 29 DE DEZEMBRO DE 2009.

BRASIL. **Brazil's Nationally Determined Contribution**. 2015.

BRASIL. **Brazil's Nationally Determined Contribution**. 2020.

BRASIL. **PL 528/2021**. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/2270639>>. Acesso em: 6 out. 2021.

CGEE. **Bioeconomia no Brasil e no Mundo: Panorama da produção científica**: Boletim temático da bioeconomia. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10195/6917123/CGEE_OBio_bol-tem-bio.pdf>.

CNI. **Por que a bioeconomia tem tudo para ser o futuro do desenvolvimento do Brasil**. Disponível em: <<https://noticias.portaldaindustria.com.br/especiais/por-que-a-bioeconomia-tem-tudo-para-ser-o-futuro-do-desenvolvimento-do-brasil/>>. Acesso em: 13 set. 2021.

CROPLIFE. **ATLAS DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO: UMA JORNADA SUSTENTÁVEL**. Disponível em: <<https://materiais.croplifebrasil.org/atlas>>. Acesso em: 5 nov. 2021.

D'AMATO, D.; KORHONEN, J. Integrating the green economy, circular economy and bioeconomy in a strategic sustainability framework. **Ecological Economics**, v. 188, p. 107143, 1 out. 2021.

EIB. **The EIB circular economy guide: supporting the circular transition**, 2021.

EMF. **Financing the circular economy: Capturing the opportunity**. [s.l.] Ellen MacArthur Foundation, 2020.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2021**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>>. Acesso em: 30 ago. 2021.

FAO. **Food and agriculture projections to 2050 | Global Perspectives Studies | Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <<http://www.fao.org/global-perspectives-studies/food-agriculture-projections-to-2050/en>>. Acesso em: 13 set. 2021.

GLOBO RURAL. **Apesar de volume inédito de recursos, Programa ABC só representa 2% do Plano Safra**. Disponível em: <<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Politica/noticia/2021/06/apesar-de-volume-inedito-de-recursos-programa-abc-so-representa-2-do-plano-safra.html>>. Acesso em: 5 nov. 2021.

ICS. **O Brasil e um mundo abaixo de 2oC**. Disponível em: <<https://www.climaesociedade.org/post/mundo-abaixo-de-2c>>. Acesso em: 15 set. 2021.

IEA. **Technology Roadmap: Delivering Sustainable Bioenergy**. Paris: [s.n.].

IEA. **Net Zero by 2050 Paris**. Paris: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>>.

IPCC. **Summary for Policymakers: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. [s.l: s.n.].

IPCC. **Summary for Policymakers: Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. [s.l: s.n.].

IPEA. **Mudanças no código florestal brasileiro: desafios para a implementação da nova lei**. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=28358>. Acesso em: 6 jun. 2020.

IRENA. **World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway**. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2021.

LIMA, R.; HARFUCH, L.; PALAURO, G. **Plano ABC: Evidências do período 2010-2020 e propostas para uma nova fase 2021-2030**. [s.l.] Agroicone, 2020.

MANES, S. et al. Endemism increases species' climate change risk in areas of global biodiversity importance. **Biological Conservation**, v. 257, p. 109070, 1 maio 2021.

MAPBIOMAS. **Mapbiomas Brasil**. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 22 fev. 2022.

MDIC. **Comex Stat**. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>>. Acesso em: 7 mar. 2021.

MICITT. **Estrategia Nacional de Bioeconomía Costa Rica 2020-2030 | Bio Costa Rica - CHM Costa Rica**. Disponível em: <<http://192.168.1.132/recursos/documentos-y-publicaciones/estrategia-nacional-de-bioeconomia-costa-rica-2020-2030>>. Acesso em: 6 out. 2021.

MORACH, B. et al. **Food for Thought: The Protein Transformation**. [s.l.] BCG & Blue Horizon, 1 jun. 2021. . Acesso em: 29 ago. 2021.

NOVACANA. **Raízen irá investir em nova planta de etanol de segunda geração | novaCana.com**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/raizen-investir-nova-planta-etanol-segunda-geracao-250621>>. Acesso em: 13 set. 2021.

OECD. **Meeting Policy Challenges for a Sustainable Bioeconomy**. Paris: [s.n.]. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/policy-challenges-facing-a-sustainable-bioeconomy_9789264292345-en>.

OLIVEIRA, C. et al. The role of biomaterials for the energy transition from the lens of a national integrated assessment model (Under review). **Clim Change**, 2021.

PEREIRA, F. DOS S.; BOMTEMPO, J. V.; ALVES, F. C. Programas de subvenção às atividades de PDI: uma comparação em biocombustíveis no Brasil, EUA e Europa. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 14, p. 61, 18 mar. 2015.

RATHMANN, R. MODELAGEM INTEGRADA E IMPACTOS ECONÔMICOS DE OPÇÕES SETORIAIS DE BAIXO CARBONO. p. 121, 2017.

REIS, G. G. et al. Livestock value chain in transition: Cultivated (cell-based) meat and the need for breakthrough capabilities. **Technology in Society**, v. 62, p. 101286, ago. 2020.

SEEG. **Emissões Totais | SEEG - Sistema de Estimativa de Emissão de Gases**. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission#>.

SILVA, M.; PEREIRA, F.; MARTINS, J. **A bioeconomia brasileira em números**. 2018. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15383>>

STABILE, M. C. C. et al. Solving Brazil's land use puzzle: Increasing production and slowing Amazon deforestation. **Land Use Policy**, v. 91, p. 104362, 1 fev. 2020.

USDA. **Advanced Biofuel Payment Program | Rural Development.** Disponível em: <<https://www.rd.usda.gov/programs-services/energy-programs/advanced-biofuel-payment-program>>. Acesso em: 6 out. 2021a.

USDA. **Biorefinery, Renewable Chemical, and Biobased Product Manufacturing Assistance Program | Rural Development.** Disponível em: <<https://www.rd.usda.gov/programs-services/energy-programs/biorefinery-renewable-chemical-and-biobased-product-manufacturing-assistance-program>>. Acesso em: 6 out. 2021b.

USDA. **FACT SHEET: Overview of USDA's BioPreferred Program.** Disponível em: <<https://www.usda.gov/media/press-releases/2016/02/18/fact-sheet-overview-usdas-biopreferred-program>>. Acesso em: 6 out. 2021c.

WORLD BANK. **State and Trends of Carbon Pricing 2021.** [s.l: s.n.].

WRI. **Uma Nova Economia para uma Nova Era: Elementos para a Construção de uma Economia Mais Eficiente e Resiliente para o Brasil.** Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes/nova-economia-brasil-eficiente-resiliente-retomada-verde>>. Acesso em: 15 set. 2021.

WYRWA, J. A review of the European Union financial instruments supporting the innovative activity of enterprises in the context of Industry 4.0 in the years 2021-2027. **Entrepreneurship and Sustainability Issues**, v. 8, n. 1, p. 1146–1161, 30 set. 2020.

HERNANDES, T.A.D.; DUFT, D.G.; LUCIANO, A.C.S. ; LEAL, M.R.L.V. ; CAVALETT, O. **Identifying suitable areas for expanding sugarcane ethanol production in Brazil under conservation of environmentally relevant habitats.** JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, v. 292, p. 125318, 2021.

KLEIN, B.C.; CHAGAS, M.F.; JUNQUEIRA, T.L.; REZENDE, M.C.A.F.; CARDOSO, T.F.; CAVALETT, O.; BONOMI, A. **Techno-economic and environmental assessment of renewable jet fuel production in integrated Brazilian sugarcane biorefineries.** APPLIED ENERGY, v. 209, p. 290-305, 2018

ANEXO I

AS TRÊS ONDAS DAS PROTEÍNAS ALTERNATIVAS

A primeira onda, que já conta com a disponibilidade de fontes competitivas de proteínas alternativas, é a das proteínas *plant-based*, proteínas de origem vegetal. Os desafios tecnológicos na oferta da proteína não são grandes barreiras, uma vez que se trata, em grande parte, da substituição do consumo de carne por alimentos vegetais ricos em proteínas, como o grão de bico e o feijão.

O maior desafio é cultural, uma vez que o consumo de carne é algo estabelecido e de difícil alteração. Neste sentido, há o desenvolvimento de tecnologias que buscam mimetizar a proteína animal por meio do processamento de vegetais. Segundo Morach et al. (2021), essas tecnologias já estão em níveis avançados e devem ser competitivas em relação à proteína tradicional a partir de 2023.

A segunda onda trata-se da produção de carne com base no uso de microrganismos, que inclui proteínas produzidas com bactérias, leveduras, algas unicelulares ou fungos que são aromatizados e texturizados em produtos comestíveis. O processo começa com uma cepa específica de microrganismo que é então cultivada em uma solução rica em carboidratos para produzir proteína por meio da fermentação (MORACH et al., 2021). A tecnologia para a produção desse tipo de proteína não é recente, data de pelo menos da década de 1980. Todavia, para a escala necessária e para a paridade de textura e de sabor com a proteína animal, ainda são necessárias soluções de desafios tecnológicos. A paridade de custo com a proteína animal deve ser alcançada em 2025 (MORACH et al., 2021).

Por fim, a terceira onda é a da “carne cultivada” ou proteína de base celular que é caracterizada pela extração de células animais específicas e sua posterior multiplicação em biorreatores que utilizam meio de cultura rico em nutrientes para alimentar a multiplicação das células, e energia para manter as condições de temperatura e de higienização ideais. Nesta opção tecnológica, a carne produzida é de origem animal, porém, para se tornar um substituto perfeito, é necessário o uso de tecnologias de impressão 3D para que a textura e o formato da carne tradicional sejam mimetizados (REIS et al., 2020).

Esta é a opção tecnológica mais incipiente e conta com grande diversidade de empresas desenvolvendo suas próprias tecnologias e processos de forma isoladas, não havendo, assim, designs dominantes que determinarão o processo de estruturação da indústria (REIS et al., 2020). Todavia, já pode-se adiantar que o padrão da produção é disruptivo em relação à tradicional forma de se produzir carne uma vez que a não necessidade da produção pecuária permite descentralização produtiva.



Mesmo incipiente, o Morach et al. (2021) projetam que em 2032 a carne cultivada será competitiva em relação à proteína tradicional.



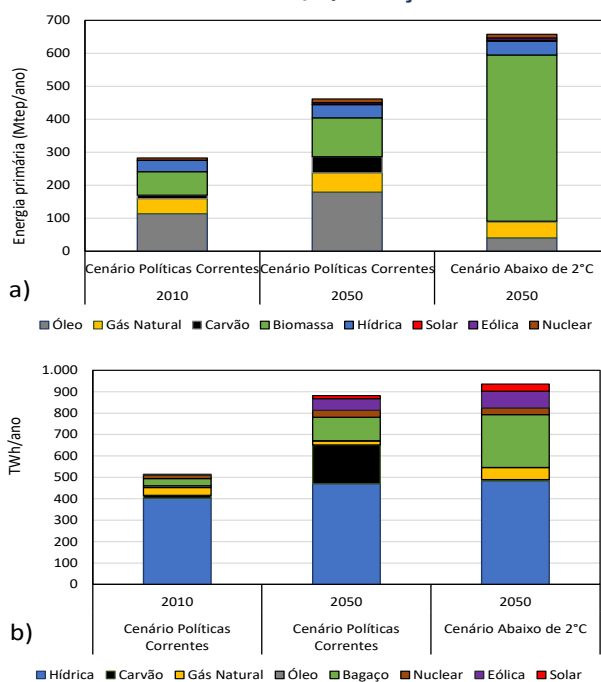
ANEXO II

CONSTRUINDO CENÁRIOS

Os resultados iniciais dos cenários do modelo BLUES mostraram uma clara necessidade de substituição de fontes energéticas fósseis como o carvão e o petróleo por fontes renováveis principalmente provenientes da biomassa. Em relação a energia primária a participação de fontes fósseis caiu de 62% no cenário Políticas Correntes para 14% no cenário *Abaixo de 2°C*. Com isso, ocorreu uma expansão de 35% da participação de fontes renováveis no cenário Políticas Correntes para 84% no cenário *Abaixo de 2°C*. Esse aumento foi decorrente da expansão da utilização de biomassa e cana-de-açúcar para a produção de energia elétrica e biocombustíveis associados a captura e armazenamento de carbono (BECCS).

Gráfico 2

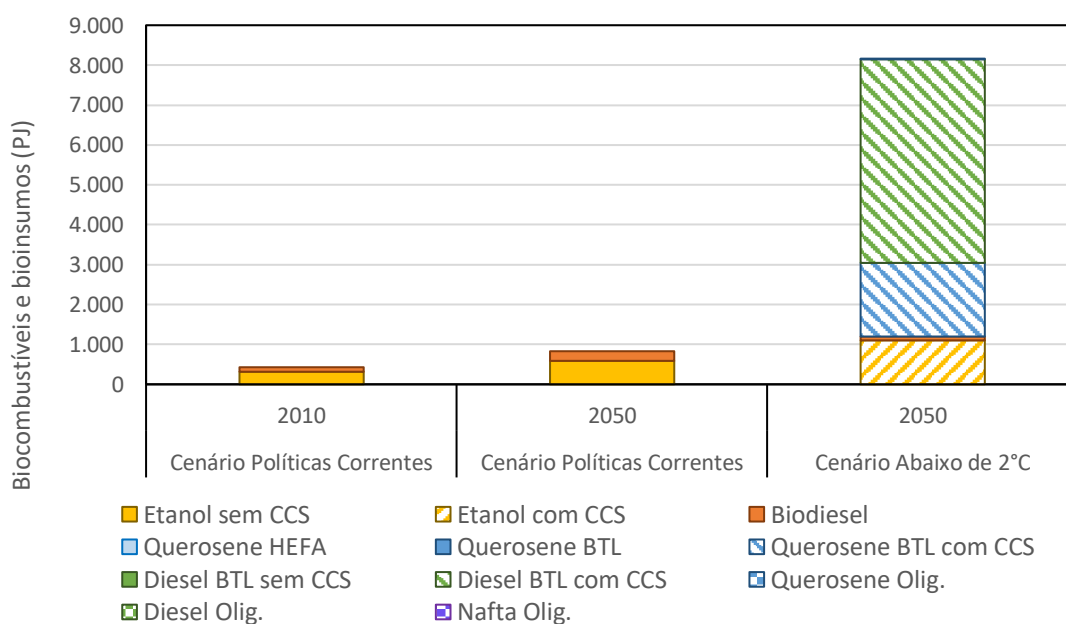
a) Energia primária nos cenários BLUES; b) Geração elétrica nos cenários BLUES.



Essa mudança no perfil de produção energética brasileira foi necessária visto que a restrição do orçamento de carbono em 2050 (14 GtCO₂) acaba gerando a necessidade da implementação de medidas de mitigação tanto do setor elétrico, quanto de biocombustíveis e do uso do solo. No cenário *Políticas Correntes*, as emissões acumuladas brasileiras de 2010 até 2050 atingiram o patamar de 41

GtCO₂ enquanto o cenário *Abaixo de 2°C* apenas 14 GtCO₂. Com isso, o modelo teve que adotar diversas medidas de mitigação de CO₂ associadas a BECCS como a produção de biocombustíveis avançados do tipo BTL e etanol 1G, mudanças de coberturas do solo para coberturas com maior estoque de carbono abaixo acima do solo (recuperação de pastagens, florestas plantadas e sistemas integrados) e produção de polímeros a partir de insumos agrícolas (florestas plantadas, soja e cana-de-açúcar) para armazenamento de carbono. É importante salientar que essas mudanças de perfil energético para fontes de base de biomassa decorrem do fato de ser o único meio possível de obtenção de emissões negativas de CO₂e, dado que o CO₂ é capturado durante o desenvolvimento vegetativo da biomassa e posteriormente há uma nova captura durante o processo industrial para a produção desse energético o que não acontece ao se utilizar fontes fósseis associadas ao CCS.

Gráfico 3 - Produção de biocombustíveis nos cenários BLUES



Nesse contexto, o modelo observou como sendo importante o aumento da produção de polímeros a partir de fontes renováveis, aumentando a participação dos biopolímeros de 1% no cenário *Políticas Correntes* em 2050 aproximadamente 33% no cenário *Abaixo de 2°C* (sendo as duas demandas iguais em 2050). Esse aumento de participação foi ocasionado principalmente devido à utilização em larga escala de bionafta (BTL) para a produção de eteno, propeno, butadieno e BTX, de desidratação do etanol para a produção de eteno e de reforma catalítica para a produção de BTX.



Gráfico 4 - Produção total de carne bovina e carne cultivada nos cenários avaliados

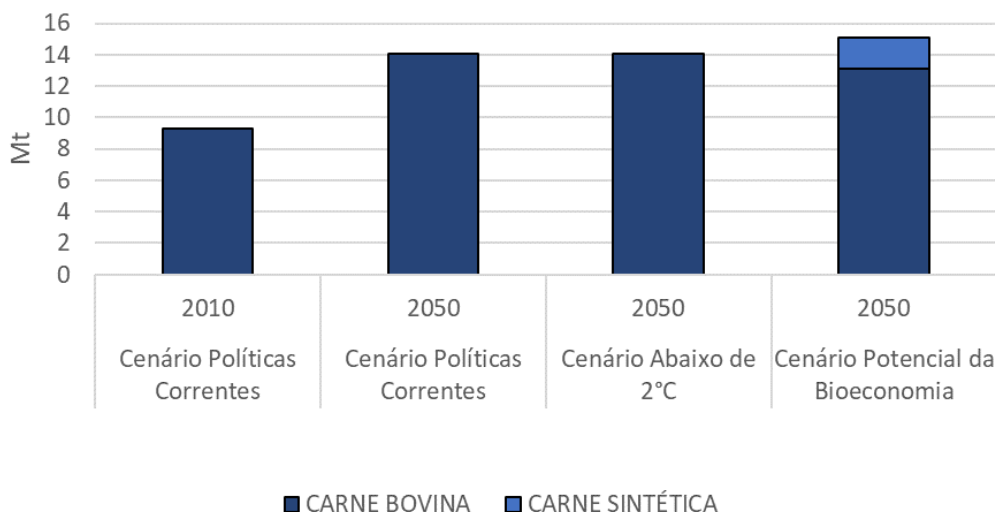


Gráfico 5 - Balanço de emissões de CO2 do cenário Potencial da Bioeconomia em relação ao cenário Abaixo de 2°C

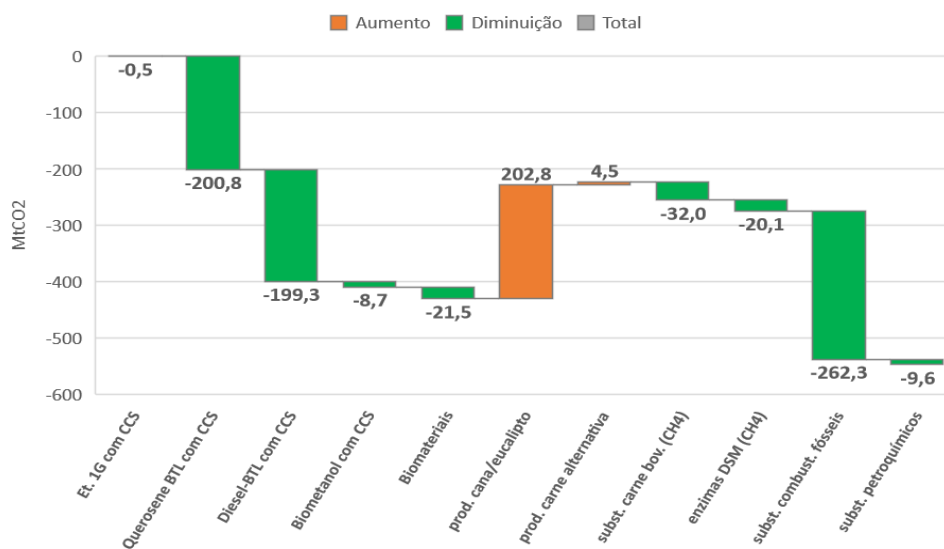
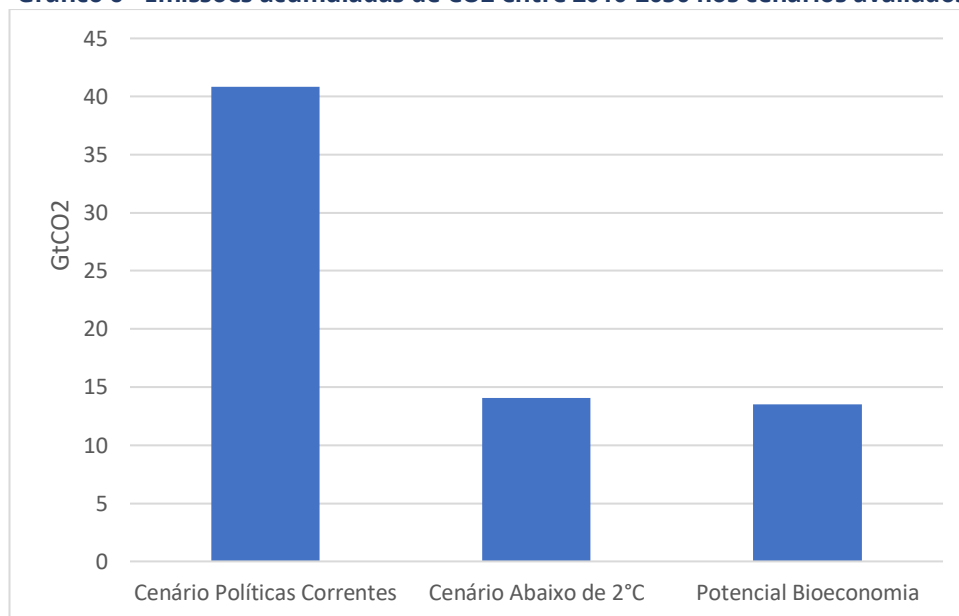


Gráfico 6 - Emissões acumuladas de CO2 entre 2010-2050 nos cenários avaliados



ANEXO III

MERCADOS DE CARBONO E ESTRATÉGIAS NACIONAIS DE DESENVOLVIMENTO DA BIOECONOMIA

Mercados de carbono estão cada vez mais presentes no âmbito global. Segundo o Banco Mundial (2021), em 2021, cerca de 21.5% das emissões globais de GEE estavam cobertas por mecanismos de precificação de carbono, valor 6,4% superior ao registrado em 2020. Existem atualmente 61 iniciativas de precificação de carbono ou programadas para implementação, consistindo em 31 mecanismos de negociação de créditos de carbono (ETS) e 30 tributações sobre o carbono (WORLD BANK, 2021).

No Brasil, a Lei do Clima, citada no Capítulo IV, prevê a implementação de um mercado de carbono no país, contudo, apenas em 2021 que um Projeto de Lei (PL nº528 de 2021) buscando a criação de um mercado de carbono nacional regulado começou a tramitar (BRASIL, 2021). O RenovaBio, estabelecido pela Política Nacional de Biocombustíveis (Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017), apresenta uma iniciativa concreta de criação de um mercado de carbono no Brasil. O mecanismo adotado com sucesso por essa política para o setor de transportes, poderia ser ampliado para incluir também outros bioprodutos e processos de baixa emissão de carbono que promovam a substituição de alternativas convencionais baseadas em fontes fósseis.

No âmbito internacional, o Protocolo de Quioto de 1997 criou as diretrizes para a construção do mercado internacional de créditos de carbono. Apesar da não adesão de países importantes, o protocolo serviu para o estabelecimento do Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), mercado voluntário de carbono que tem contado cada vez mais com a participação de países e instituições, como empresas comprometidas com os princípios ESG. Na COP 26, foi apresentada uma proposta de criação de um mercado de carbono, gerenciado pela ONU para substituir o MDL (WORLD BANK, 2021), capaz de transformar as reduções nas emissões de gases de efeito estufa em ativos mais confiáveis. Embora mercados de carbono já existam, seus formatos são fragmentados e carentes de transparência, defeitos que se busca remover com critérios que fortaleçam sua robustez, credibilidade e alcance.

O avanço e de mercados de carbono é um dos meios relevantes para construção da bioeconomia, uma vez que eles são meios de precificar os benefícios ambientais gerados pelas cadeias de produção de bioprodutos. É importante salientar que esses benefícios devem ser quantificados de maneira apropriada e abrangente, endereçando outros aspectos além das emissões de gases de efeito estufa e mitigando riscos associados à transição para uma bioeconomia. Assim, a valoração dos diferentes serviços ecossistêmicos providos pelas cadeias da bioeconomia viabiliza empreendimentos

que, em condições normais de concorrência, não seriam competitivos em relação aos substitutos de origem fóssil. Os mercados possuem uma atuação transversal, ou seja, impactam diferentes setores e distintos elos das cadeias produtivas. Portanto, possibilitam um incentivo mais amplo, indo muito além dos biocombustíveis, que geralmente contam com maior apoio público.

O avanço da bioeconomia precisa conciliar um mix de políticas que variam de políticas de incentivos de mercado a políticas de incentivo tecnológicos. É imprescindível o estabelecimento de uma estratégia nacional de desenvolvimento da bioeconomia que coordene as diferentes políticas e crie um ambiente de previsibilidade para os investimentos privados (BIOFUTURE PLATAFORM, 2018). Ao menos 50 países já possuem políticas que de certa forma se relacionam com a bioeconomia, porém, o número de países com estratégias nacionais de construção de bioeconomia é reduzido (OECD, 2018).

Os EUA são um desses países com estratégias nacionais de construção da bioeconomia. O país possui um conjunto de políticas que busca desenvolver novas matérias-primas e novas tecnologias com variados graus de maturidade tecnológica. Pelo lado dos incentivos à inovação, os EUA possuem uma agressiva política de subsídios à pesquisa e ao desenvolvimento de plantas piloto e de demonstração por meio *grants*. Como exemplo, o *Biomass Program* e o *Bioenergy Program for Advanced Biofuels* são programas temáticos que fornecem anualmente milhões de dólares em *grants* para projetos de P&D e de *scale-up* de novas tecnologias (PEREIRA; BOMTEMPO; ALVES, 2015; USDA, 2021a).

Além dos *grants*, os EUA possuem uma política agressiva de créditos garantidos para a construção de biorrefinarias ou o *retrofit* de antigas refinarias de petróleo em biorrefinarias. O *Biorefinery, Renewable Chemical, and Biobased Product Manufacturing Assistance Program* possui linhas de crédito garantidos que podem chegar até o valor de US\$ 250 milhões (USDA, 2021b). Por meio deste instrumento, o governo garante o pagamento da dívida das empresas que investirem em biorrefinarias caso elas não consigam honrar suas obrigações com as instituições financeiras. Como não há o risco de inadimplência, as empresas conseguem juros mais baixos e acesso facilitado a linhas de crédito.

Pelo lado dos incentivos de mercado, o *Renewable Fuel Standard* nos EUA estabelece mandatos de mistura de biocombustíveis aos combustíveis fósseis. O programa é interessante pois estabelece mandatos diferentes e crescentes para diferentes biocombustíveis em distintas fases de maturidade, inclusive para os biocombustíveis avançados (PEREIRA; BOMTEMPO; ALVES, 2015). O objetivo é criar mercados seguros para que os novos empreendimentos ganhem escala e reduzam os custos. Além dos biocombustíveis, nos EUA há o Programa BioPreferred que exige que agências federais e outros órgãos de governo deem preferência de compra a bioprodutos que atendam a um percentual mínimo de conteúdo biológico, verificado por um laboratório externo. O programa é importante pois utiliza o

imenso poder de compra do governo dos EUA para alavancar a produção de bioprodutos. O programa também criou uma rotulagem voluntária para bioprodutos (USDA, 2021c).

Na Europa, diversos países como Alemanha, França e Finlândia possuem estratégias nacionais de bioeconomia. Porém, no contexto regional, o que chama atenção é o *Green Deal* europeu que inclui um amplo conjunto de políticas voltadas ao cumprimento da meta de zerar as emissões do continente até 2050. Ele envolve metas de redução de GEE, a criação de um ETS europeu e programas de fomento à inovação, que incluem o fornecimento de *grants* e outras formas de incentivo, como o *Horizon Europe* (WYRWA, 2020).

A Europa também lançou uma taxonomia sustentável que serve para categorizar os investimentos quanto ao seu impacto ambiental, facilitando assim a canalização de investimentos privados para projetos que realmente contribuam para o avanço da bioeconomia. No caso Europeu, o *European Investment Bank* (EIB), banco de desenvolvimento regional, é um instrumento importante na transição para bioeconomia. Ele atua como catalizador de financiamento de longo prazo para a bioeconomia, uma vez que ele dá suporte técnico e financeiro para que bancos comerciais tenham capacidade de oferecer linhas de créditos de longo prazo e com baixas taxas para investimentos relacionados à bioeconomia e à economia circular. O EIB é também o principal *stakeholder* do *European Circular Bioeconomy Fund*, fundo de investimentos dedicado a investir em outros fundos de investimento que atuem na área da bioeconomia (EIB, 2021).

Mais próximo do Brasil, a Costa Rica é o país com a estratégia mais ambiciosas de construção da bioeconomia. Em 2018, o País lançou sua Estratégia Nacional de Bioeconomia 2020-2030 que atua em cinco áreas temáticas: (1) desenvolvimento rural, (2) biodiversidade, (3) biorrefinarias e biomassa residual, (4) bioeconomia avançada (foco em biotecnologia) e (5) cidades “verdes”. Atualmente a estratégia encontra-se na fase de identificar um conjunto de projetos estratégicos para impulsionar a bioeconomia e de criar arcabouço legal que permita o desenvolvimento da bioeconomia (MICITT, 2018).

As estratégias aqui mencionadas mostram que países e regiões compreendem a bioeconomia de forma sistêmica, indo muito além dos biocombustíveis. Eles percebem que não é possível avançar com a bioeconomia sem reforçar a ideia da biorrefinaria, onde as sinergias entre biocombustíveis e bioprodutos são aproveitadas, e sem construir uma oferta sustentável de biomassa. Outro ponto que fica claro é a necessidade de criar meios para facilitar o avanço de tecnologias com graus de maturidade distintos e, portanto, conciliar políticas voltadas para inovação com políticas de mercado.

A concretização das projeções desse relatório indica a necessidade de alguma precificação sobre o carbono, provendo assim competitividade para as tecnologias, principalmente as já maduras, que vão produzir biocombustíveis para substituir os fósseis. Também revela que a transição para uma economia

carbono neutra só ocorrerá se houver o avanço da produção de bioprodutos, como os bioplásticos, que reduzem a necessidade de refino de petróleo, são capazes de capturar carbono e promovem a economicidade das biorrefinarias. Outro ponto, tecnologias mais disruptivas, presentes no cenário Potencial da Bioeconomia, que são importantes para entregar uma oferta mais sustentável de biomassa e aumento de renda no país, necessitam de políticas de incentivo à inovação, que permitam que elas saiam dos nichos e avancem sobre os mercados.

Ou seja, a concretização dos cenários apresentados requer uma estratégia nacional que olhe a bioeconomia como um todo. Atualmente, o Brasil possui políticas importantes voltada aos biocombustíveis, mas que deixa de fora outros bioprodutos. Outro ponto relevante é que as políticas voltadas para a agricultura de baixo carbono são poucas em relação às políticas voltadas para agricultura tradicional e não possuem relação com políticas de construção de biorrefinarias e de aproveitamento da biodiversidade.



ABBI

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DE BIOINOVAÇÃO

www.abbi.org.br

+55 11 3569-3564

contato@abbi.org.br

Rua Gomes de Carvalho, 1581 Conj. 901|902
04547-000 - São Paulo, SP - Brasil