



DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL COM A BIOECONOMIA DIGITAL

Resumo

A bioeconomia digital tem sido uma estratégia essencial para a promoção do desenvolvimento sustentável, alinhando a conservação ambiental ao crescimento econômico. Este artigo tem como objetivo investigar o papel da bioeconomia digital no desenvolvimento sustentável, com ênfase no contexto brasileiro. A metodologia utilizada baseia-se em revisão bibliográfica e estudo de caso de iniciativas já implementadas no país. Os resultados indicam que o uso da tecnologia em suas múltiplas possibilidades pode reduzir barreiras estruturais e aumentar a eficiência da bioeconomia digital promovendo inovação em vários setores. O papel da tecnologia na bioeconomia, analisando sua capacidade de fortalecer negócios sustentáveis, amplia o acesso a mercados e conecta empreendedores a investidores e consumidores. O uso da tecnologia pode ser um vetor transformador, possibilitando a integração de cadeias produtivas sustentáveis por meio de portais digitais, inteligência artificial e análise de dados. No Brasil, o setor enfrenta desafios como a falta de infraestrutura, acesso limitado a mercados, dificuldades na captação de recursos e capacitação de recursos humanos. Conclui-se que o investimento em infraestrutura tecnológica e políticas públicas de incentivo à digitalização é fundamental para o fortalecimento da bioeconomia no país, consolidando-a como um modelo econômico alternativo com vistas a reduzir o desperdício e otimizar o uso dos recursos disponíveis.

Palavras-chave: Bioeconomia. Tecnologia. Sustentabilidade. Inovação Digital. Tecnologia.

1 INTRODUÇÃO

A bioeconomia é definida como a produção, utilização e conservação de recursos biológicos, incluindo conhecimentos, ciência, tecnologia e inovação relacionados, para fornecer informações, produtos, processos e serviços em todos os setores econômicos, visando uma economia sustentável. No contexto brasileiro, a bioeconomia apresenta-se como uma estratégia promissora para conciliar desenvolvimento econômico e conservação ambiental, especialmente na região Amazônica, que detém uma das maiores biodiversidades do planeta (PAMPLONA, 2021).

A bioeconomia emerge como uma abordagem estratégica que integra a utilização sustentável dos recursos biológicos com o desenvolvimento econômico, visando à conservação ambiental e à promoção do bem-estar social. No contexto brasileiro, a bioeconomia apresenta um potencial significativo devido à extensa biodiversidade existente.

A bioeconomia digital é um modelo de desenvolvimento que integra as tecnologias digitais como ferramentas para promover a sustentabilidade e a criação de novos produtos, serviços e processos inovadores. Este conceito engloba a valorização dos recursos naturais, a preservação da biodiversidade e a adoção de práticas de economia circular, que visam reduzir o desperdício e otimizar o uso dos recursos disponíveis. A convergência entre biotecnologia e digitalização tem o potencial de transformar profundamente setores fundamentais da economia, criando um ciclo produtivo mais eficiente e sustentável. Esse modelo de bioeconomia, ao incorporar a digitalização, cria novas oportunidades para o crescimento econômico, ao mesmo tempo que diminui o impacto ambiental das atividades humanas.



A aplicação de tecnologias avançadas, como portais digitais, inteligência artificial e análise de dados, desponta como uma solução promissora para superar essas barreiras. Essas ferramentas tecnológicas podem facilitar a integração das cadeias produtivas sustentáveis, aprimorar a eficiência operacional e fomentar a inovação no setor (SGOBBE, 2024). Além disso, a digitalização permite conectar empreendedores a investidores e consumidores, ampliando o acesso a mercados e promovendo a inclusão social (FERRO, 2006).

Este trabalho tem como objetivo investigar o papel da bioeconomia digital no desenvolvimento sustentável, com ênfase no contexto brasileiro. A metodologia utilizada baseia-se em revisão bibliográfica e estudo de caso de iniciativas já implementadas. A pesquisa busca analisar como as inovações tecnológicas podem fortalecer negócios sustentáveis, facilitar a captação de recursos e promover a conservação ambiental.

A relevância deste estudo reside na necessidade de identificar estratégias eficazes que aliem desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental, contribuindo para a formulação de políticas públicas e práticas empresariais que impulsionem a bioeconomia digital no Brasil. Ao explorar o potencial das tecnologias digitais, espera-se fornecer subsídios para a construção de um modelo econômico mais sustentável e resiliente, alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2015).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão apresentados os conceitos do papel da tecnologia na bioeconomia.

2 O PAPEL DA TECNOLOGIA NA BIOECONOMIA DIGITAL

A bioeconomia e o desenvolvimento sustentável estão diretamente interligados, pois a bioeconomia propõe um modelo de produção que utiliza os recursos biológicos de forma renovável e eficiente, minimizando impactos ambientais e garantindo a regeneração dos ecossistemas. Esse conceito se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente no que se refere à conservação da biodiversidade, promoção de energia limpa, incentivo ao consumo responsável e erradicação da pobreza (ONU, 2015).

A bioeconomia se apresenta como uma alternativa estratégica para reduzir o desmatamento e a degradação ambiental, ao mesmo tempo em que gera oportunidades econômicas sustentáveis para comunidades tradicionais e pequenos produtores. Além disso, iniciativas voltadas para a bioeconomia podem estimular a pesquisa científica e o desenvolvimento de novas tecnologias, impulsionando a inovação e a competitividade do país no cenário global (SGOBBE, 2024).



Destarte a bioeconomia é um modelo de desenvolvimento que tem como base o uso sustentável dos recursos biológicos, com o objetivo de criar valor econômico a partir de biomassa, produtos renováveis e ecossistemas naturais. Esse conceito está profundamente ligado à ideia de um futuro mais verde e sustentável, no qual as atividades humanas sejam menos dependentes de fontes de energia não renováveis, como os combustíveis fósseis. A bioeconomia propõe, ainda, a implementação de práticas de economia circular, onde os resíduos e subprodutos de um processo produtivo são reutilizados em outros ciclos produtivos, promovendo a minimização de desperdícios e otimizando o uso de recursos. Esse modelo busca equilibrar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental e o bem-estar das futuras gerações, criando novas oportunidades para uma produção mais eficiente e sustentável, sem comprometer os ecossistemas (FAO, 2018).

Por outro lado, a bioeconomia digital emerge como uma evolução desse modelo, ao integrar as tecnologias digitais ao uso de recursos biológicos. A digitalização permite a criação de sistemas mais eficientes e inovadores, capazes de transformar radicalmente a maneira como gerenciamos os recursos naturais e a produção de bens e serviços. A utilização de tecnologias como inteligência artificial, *big data*, Internet das Coisas (IoT), e computação em nuvem, entre outras, tem um grande potencial para acelerar a implementação de práticas mais sustentáveis dentro da bioeconomia. A digitalização torna possível o monitoramento em tempo real de ecossistemas e processos produtivos, a automação de diversas atividades, a análise de grandes volumes de dados para otimizar a utilização de recursos e a redução de desperdícios (COMISSÃO EUROPEIA, 2018).

Além disso, a bioeconomia digital também facilita a transição para uma economia circular mais robusta, já que as tecnologias digitais ajudam a rastrear e otimizar o fluxo de materiais e energia ao longo de cadeias produtivas, tornando os processos mais transparentes e eficientes. Por exemplo, sensores IoT aplicados à agricultura podem monitorar o solo, o clima e o crescimento das culturas, permitindo uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos e do uso de fertilizantes, o que não só aumenta a produtividade, mas também reduz o impacto ambiental (CLERCQ, 2018). Na área da bioinformática e genômica, as tecnologias digitais possibilitam o processamento de grandes volumes de dados biológicos, acelerando o desenvolvimento de novas soluções na medicina e biotecnologia, além de contribuir para o aprimoramento de processos agrícolas e de produção de bioenergia (CASATI *et al.*, 2021).

A bioeconomia digital propõe um futuro mais sustentável e equilibrado ao utilizar tecnologias digitais, computação em nuvem e outras inovações digitais para impulsionar práticas mais verdes em setores como a agricultura, a gestão florestal e a indústria. De acordo com a Comissão Europeia (2018), a implementação dessas tecnologias ajuda na transformação da bioeconomia tradicional em uma bioeconomia digitalmente integrada, que será mais capaz de responder aos desafios ambientais e socioeconômicos do futuro. A



digitalização permite o monitoramento em tempo real de sistemas biológicos, a automação de processos e a análise de grandes volumes de dados, o que torna a produção de alimentos, materiais e energia mais eficiente e menos poluente.

Esse modelo oferece diversas vantagens, não apenas para o meio ambiente, mas também para a sociedade. Primeiramente, ele contribui para a criação de um futuro mais equitativo e ambientalmente consciente, ao promover práticas que protejam os ecossistemas enquanto atendem às necessidades humanas. Além disso, o conceito de economia circular ganha destaque nesse contexto, já que a bioeconomia digital pode facilitar a implementação de sistemas de reutilização e reciclagem de recursos, essencialmente transformando resíduos em novos produtos e energia.

A aplicação de tecnologias digitais pode, por exemplo, melhorar a rastreabilidade de produtos ao longo da cadeia de suprimentos, assegurando que os recursos naturais sejam utilizados de maneira mais responsável e eficiente. Outro aspecto relevante é que a bioeconomia digital também gera novos modelos de negócios, potencializando a criação de atividades econômicas circulares. Isso significa que os resíduos de um processo produtivo podem se tornar insumos para outros processos, criando um ciclo de vida mais fechado e sustentável para os produtos. Essa transformação resulta em benefícios sociais e ambientais coletivos, pois a integração de tecnologias digitais permite uma melhor gestão de recursos, redução de emissões de carbono e maior transparência nos processos produtivos.

As aplicações da bioeconomia digital se estendem a várias áreas-chave. Na agricultura, por exemplo, tecnologias como a inteligência artificial e sensores IoT são usadas para monitorar o crescimento das culturas, prever condições climáticas e otimizar o uso de água e fertilizantes. Isso não apenas aumenta a produtividade das lavouras, mas também reduz os impactos ambientais negativos, como o uso excessivo de produtos químicos e a degradação do solo (CLERCQ, 2018).

A gestão florestal também se beneficia enormemente da digitalização, pois o uso de drones, sensores e sistemas de monitoramento remoto permite um acompanhamento mais preciso e eficiente da saúde das florestas, facilitando o combate ao desmatamento ilegal e a gestão sustentável dos recursos florestais (TIOSSI, 2021).

Na bioinformática e genômica, a bioeconomia digital abre novas possibilidades para a medicina personalizada e o desenvolvimento de terapias inovadoras, por meio do processamento de grandes volumes de dados biológicos e genéticos. Essas tecnologias permitem avanços na criação de novos medicamentos e tratamentos, além de melhorar a produção de alimentos e biocombustíveis por meio da engenharia genética (CASATI *et al.*, 2021).

A nanotecnologia, por sua vez, contribui com a criação de novos materiais e soluções mais eficientes e sustentáveis para a indústria, ao desenvolver produtos com propriedades únicas que ajudam a reduzir a



quantidade de recursos necessários e a diminuir os impactos ambientais (ROCO *et al.*, 2019).

Em áreas como a química de renováveis e a robótica, a bioeconomia digital promove inovações que ajudam a substituir processos e materiais derivados de fontes fósseis por alternativas mais sustentáveis. A robótica, por exemplo, tem o potencial de automatizar processos industriais e agrícolas, otimizando o uso de recursos e reduzindo o desperdício. Além disso, a pesquisa em química de renováveis se beneficia da digitalização, permitindo o desenvolvimento de novos produtos e processos mais eficientes e ecológicos a partir de fontes renováveis (FINK, 2020).

Toma-se como premissa que a bioeconomia digital não é apenas uma tendência tecnológica, mas uma revolução necessária para enfrentar os desafios globais de sustentabilidade e desenvolvimento econômico. Ao integrar soluções digitais em diversos setores, ela permite uma gestão mais eficiente dos recursos naturais, reduz os impactos ambientais e promove uma economia circular mais consistente. A aplicação de tecnologias digitais, aliada à bioeconomia, abre novas perspectivas para a inovação, beneficiando não apenas as gerações atuais, mas também as futuras.

A seguir é apresentada a metodologia do trabalho.

3 METODOLOGIA

Nessa seção serão apresentados os procedimentos metodológicos desse trabalho.

A pesquisa adotada é qualitativa já é apropriada para explorar fenômenos complexos em contextos específicos, permitindo uma análise detalhada das interações sociais e dos processos envolvidos (SILVA, 2022).

Para a coleta de dados, foi realizada uma revisão bibliográfica contemplando artigos acadêmicos, relatórios institucionais e documentos oficiais que abordam a interseção entre bioeconomia, tecnologia e sustentabilidade. A seleção das fontes considerou a relevância e a atualidade das publicações, priorizando estudos que oferecessem informações e resultados sobre o tema. A análise dos dados seguiu os princípios da análise de conteúdo, permitindo a identificação de categorias temáticas e a interpretação dos achados à luz do referencial teórico adotado (SOUZA, 2018).

Adicionalmente, foram examinados estudos de caso de iniciativas que integraram tecnologias digitais em cadeias produtivas sustentáveis. A escolha por estudos de caso se justifica pela possibilidade de compreender as particularidades e os desafios enfrentados na implementação de soluções tecnológicas no contexto da bioeconomia nacional (YIN, 2010).

É importante ressaltar que, embora a pesquisa qualitativa não busque generalizações estatísticas, ela proporciona uma compreensão aprofundada dos fenômenos estudados, oferecendo subsídios valiosos para a



formulação de políticas públicas e estratégias empresariais (GUERRA *et al.*, 2024). As limitações inerentes a este método incluem a subjetividade na interpretação dos dados e a dependência do contexto específico das iniciativas analisadas.

Na próxima seção apresentadas a análise dos resultados da pesquisa.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 OPORTUNIDADES E DESAFIOS DA BIOECONOMIA DIGITAL NO BRASIL

O Brasil possui características únicas que favorecem a expansão da bioeconomia digital, como sua ampla biodiversidade e uma agricultura desenvolvida. Esses fatores proporcionam uma base para o desenvolvimento de bioprodutos e serviços inovadores. Conforme apontado pelo Instituto EKOS Brasil, o país tem potencial para gerar energia a partir de fontes renováveis e experiências bem-sucedidas em biocombustíveis, posicionando-se de forma estratégica no cenário global da bioeconomia (EKOS, 2021).

Uma das estratégias mais promissoras para fortalecer a bioeconomia no Brasil está na valorização da Amazônia como centro de inovação e desenvolvimento sustentável. Instituições como os Institutos Agni e Arapyaú defendem a região como referência global em soluções de bioeconomia, promovendo uma economia descarbonizada e inclusiva.

Para consolidar esse protagonismo, é necessário investir em ciência, tecnologia e inovação (CT&I), integrando o conhecimento científico local, regional e internacional com a sabedoria tradicional dos povos da floresta. A implementação de políticas públicas e planos estratégicos alinhados com essa visão pode fortalecer a bioeconomia na região, incentivando a formação de pesquisadores, a criação de novos negócios sustentáveis e o aumento da competitividade do setor. Além disso, o fortalecimento da relação entre pesquisa e mercado, aliado à especialização da mão de obra local, é essencial para expandir as atividades da bioeconomia na Amazônia, tornando o Brasil um líder global no uso sustentável da biodiversidade (MCTIC, 2023).



Figura 1 - Alavancas para o Sistema de CT&I na Amazônia

ALAVANCAS PARA O SISTEMA DE CT&I NA AMAZÔNIA

Proposta de agenda prioritária para engajamento da sociedade civil, governos e empresas, voltada especialmente para aumentar o valor da bioeconomia.

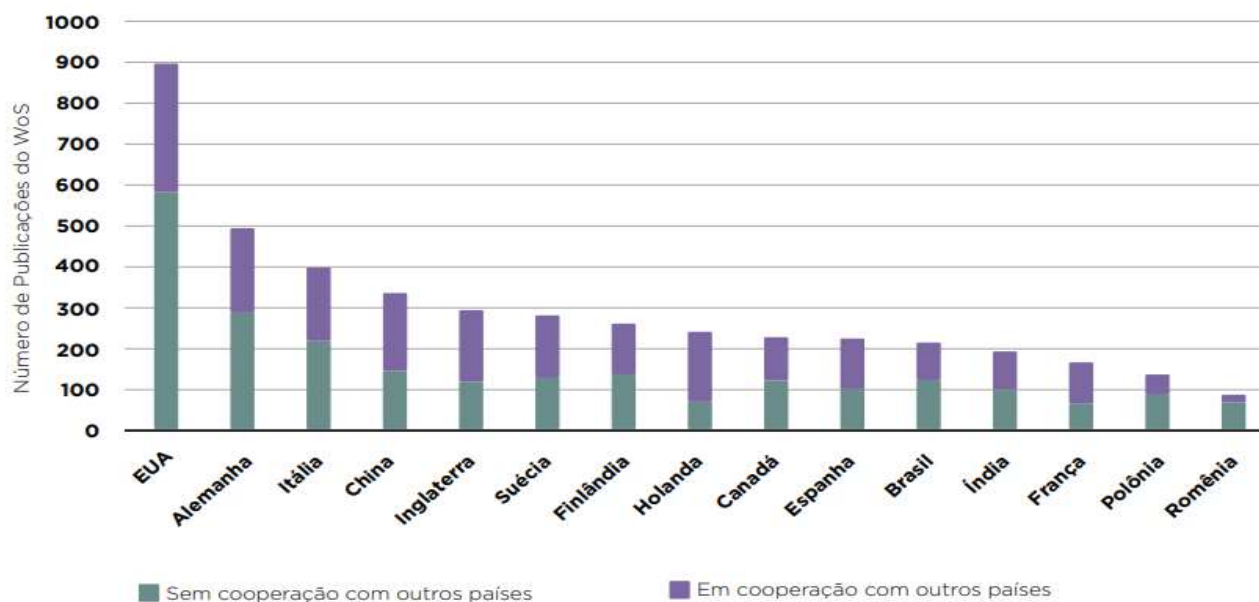


Fonte: MCTIC (2023).

A experiência internacional também apresenta resultados que precisam ser observados como exemplos. Países como a Alemanha têm utilizado portais digitais para conectar os diversos *stakeholders* da bioeconomia, promovendo a inovação e o desenvolvimento sustentável. A comparação com essas experiências internacionais destaca a importância de políticas públicas que incentivem a digitalização e a inovação no setor, assim como reforça o estudo realizado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2021).



Figura 2 - Países com o maior número de publicações sobre bioeconomia



Fonte: CGEE (2021).

A integração de tecnologias digitais, como inteligência artificial e *big data*, pode otimizar processos produtivos e promover a eficiência na utilização de recursos biológicos. Essa digitalização facilita a rastreabilidade de produtos, aumentando a transparência e a confiança dos consumidores. Além disso, a criação de *clusters* de bioeconomia pode potencializar os recursos de determinadas regiões, promovendo a especialização e a integração entre setores (EMBRAPA, 2023).

O governo brasileiro tem demonstrado compromisso com o desenvolvimento da bioeconomia por meio de diversas iniciativas. A criação da Estratégia Nacional de Bioeconomia, instituída pelo Decreto nº 12.044, estabelece diretrizes para coordenar e implementar políticas públicas destinadas ao setor, promovendo o uso sustentável da biodiversidade e incentivando a bioindustrialização alinhada às políticas industriais vigentes (BRASIL, 2024).

Além disso, o Projeto de Lei Complementar (PLP) 150/22 propõe a instituição de uma política nacional específica para desenvolver a bioeconomia no país, definindo princípios e diretrizes para sua implementação (CÂMARA, 2023). Essas iniciativas refletem a intenção governamental de posicionar o Brasil como protagonista na bioeconomia de alta tecnologia, aproveitando suas características únicas para impulsionar a reindustrialização em bases sustentáveis (MCTIC, 2023).

Para que a bioeconomia digital prospere, é imprescindível investir em infraestrutura tecnológica que suporte a inovação e a competitividade. A modernização da infraestrutura de pesquisa e inovação, aliada a



estímulos ao empreendedorismo e à interação público-privada, são passos fundamentais para direcionar investimentos e ampliar a base científica e tecnológica do país (EMBRAPA, 2023).

Nesse contexto, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII) têm desempenhado papéis cruciais ao estimular a inovação em bioeconomia e outros setores, financiando projetos que buscam desenvolver tecnologias sustentáveis e de alto valor agregado (BNDES, 2022).

As universidades, startups e empresas desempenham papéis fundamentais no desenvolvimento da bioeconomia digital no Brasil. As universidades são centros de conhecimento que promovem pesquisas avançadas e formam profissionais qualificados, essenciais para a inovação no setor. As startups, por sua vez, introduzem agilidade e inovação disruptiva, transformando descobertas acadêmicas em soluções comerciais viáveis. Empresas estabelecidas contribuem com recursos e expertise para escalar essas inovações. A colaboração entre esses atores, facilitada por políticas públicas que incentivam a transferência de tecnologia, é vital para o avanço sustentável da bioeconomia no país (ABBI, 2024).

Um exemplo dessa sinergia é observado no apoio de universidades à criação de startups de biotecnologia, fornecendo infraestrutura e conhecimento necessários para o desenvolvimento de inovações no setor. Além disso, iniciativas como a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII) promovem parcerias entre instituições de pesquisa e empresas, facilitando a transferência de tecnologia e impulsionando a bioeconomia digital (STARTUPS, 2022).

No Brasil, iniciativas como a Plataforma Bioeconomia Brasil – Sociobiodiversidade, desenvolvida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), exemplificam o uso de portais digitais para promover a bioeconomia. Essa plataforma busca integrar informações sobre produtos da sociobiodiversidade, facilitando o acesso a mercados e fomentando cadeias de valor sustentáveis. Segundo o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), a bioeconomia no Brasil apresenta vantagens como a megadiversidade e a agricultura tropical avançada, mas também enfrenta desafios relacionados à inovação e à integração de tecnologias digitais (CGEE, 2021).

A adoção de portais digitais tem se mostrado uma estratégia eficaz para impulsionar a bioeconomia no Brasil, facilitando o acesso a mercados e promovendo a integração entre os diversos atores do setor. Essas plataformas digitais permitem que produtores, pesquisadores, investidores e consumidores se conectem de forma mais eficiente, compartilhando informações e estabelecendo parcerias estratégicas. De acordo com Silva e Melro (2023), a integração de diferentes campos de conhecimento, incluindo biotecnologia e bioecologia, é fundamental para potencializar um modelo econômico baseado em insumos biológicos que preserve a biodiversidade.

A integração de tecnologias avançadas tem se mostrado fundamental para impulsionar a bioeconomia



sustentável no Brasil. Ferramentas digitais têm otimizado processos produtivos, monitorado recursos naturais em tempo real e desenvolvido novos produtos e serviços baseados na biodiversidade. Essas inovações tecnológicas permitem uma gestão mais eficiente dos recursos biológicos, promovendo práticas agrícolas sustentáveis e aumentando a competitividade no mercado global. Por exemplo, a adoção de sistemas de informação verde tem facilitado o monitoramento em tempo real das condições de produção, permitindo ajustes precisos e oportunos que resultam em maior eficiência e sustentabilidade (FONSECA *et al.*, 2019).

A aplicação dessas tecnologias pode potencializar cadeias produtivas sustentáveis, promovendo maior eficiência e competitividade no mercado global (FERRO, 2006). Além disso, a digitalização facilita a rastreabilidade de produtos, garantindo maior transparência e confiança por parte dos consumidores (PAMPLONA, 2021).

Essas plataformas facilitam a comunicação entre produtores, pesquisadores, investidores e consumidores, promovendo a troca de conhecimentos e a formação de parcerias estratégicas (SGOBBE, 2024). Iniciativas como a Plataforma Digital dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, gerenciada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), exemplificam o uso de portais digitais para monitorar e divulgar indicadores relacionados à sustentabilidade (CRUZ, 2022).

A expansão da bioeconomia digital no Brasil também apresenta uma série de desafios e que precisam ser cuidadosamente analisados para promover um desenvolvimento sustentável e inclusivo. Um dos principais desafios para a expansão da bioeconomia digital no Brasil é a necessidade de um ambiente regulatório claro e eficiente. A ausência de regulamentações específicas pode dificultar a inovação e a implementação de novas tecnologias no setor. De acordo com o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), é fundamental desenvolver políticas públicas que incentivem a bioeconomia, estabelecendo diretrizes claras para a atuação dos diversos atores envolvidos (CGEE, 2021).

Além disso, a conservação ambiental é uma preocupação central. A exploração sustentável dos recursos biológicos requer práticas que não comprometam a biodiversidade e os ecossistemas. A Fundação Getúlio Vargas (FGV) destaca que, apesar dos avanços no uso de bioinsumos, ainda há desafios significativos relacionados à capacitação técnica e à necessidade de investimentos em pesquisa e desenvolvimento para garantir práticas sustentáveis (CROPLIFE, 2024).

Não obstante há necessidade de um marco regulatório inovador e adequado para a bioeconomia, além do fortalecimento da base científica e tecnológica (EMBRAPA, 2023). Superar essas barreiras requer um esforço conjunto entre governo, iniciativa privada e sociedade civil para criar um ambiente favorável à inovação e ao desenvolvimento sustentável.

Destarte a aplicação de tecnologias tem potencializado cadeias produtivas sustentáveis. A digitalização facilita a rastreabilidade de produtos, garantindo maior transparência e confiança por parte dos consumidores.



Além disso, a utilização de sistemas agroflorestais (SAFs) integrados com tecnologias digitais tem se mostrado viável para a agricultura familiar, oferecendo alternativas à agricultura convencional e contribuindo para a conservação ambiental (SILVA, 2017).

A tecnologia desempenha um papel na promoção de uma bioeconomia sustentável no Brasil. A adoção de inovações tecnológicas não apenas otimiza a produção e distribuição, mas também contribui para a conservação ambiental e o desenvolvimento socioeconômico. Para maximizar esses benefícios, é fundamental que haja um esforço conjunto entre governo, setor privado e sociedade civil para superar os desafios existentes e promover um ambiente propício à inovação tecnológica no campo da bioeconomia (PAMPOLHA, 2021).

Entretanto, a implementação dessas tecnologias enfrenta desafios significativos, como a necessidade de investimentos em infraestrutura tecnológica e capacitação profissional. A falta de acesso a tecnologias avançadas e a carência de conhecimento técnico podem limitar a adoção dessas inovações por pequenos produtores e comunidades tradicionais. Portanto, é essencial que políticas públicas sejam direcionadas para fomentar a inclusão digital no setor agrícola, promovendo treinamentos e facilitando o acesso a tecnologias emergentes.

O desenvolvimento da bioeconomia no Brasil depende significativamente de políticas públicas que incentivem a inovação e a sustentabilidade. O Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Bioeconomia (PACTI Bioeconomia), elaborado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), tem como objetivo produzir e aplicar conhecimentos científicos e tecnológicos para a promoção de benefícios sociais, econômicos e ambientais, fomentando a inovação e provendo condições para a inserção estratégica da bioeconomia brasileira no cenário global (MCTIC, 2018).

Além disso, investimentos em infraestrutura tecnológica e capacitação profissional são fundamentais para criar um ambiente propício ao desenvolvimento da bioeconomia digital. Parcerias entre governo, setor privado e instituições de pesquisa podem acelerar a implementação de soluções tecnológicas que atendam às necessidades específicas do país, promovendo um modelo econômico mais sustentável e inclusivo (PAMPLONA, 2021).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil possui características únicas que favorecem a expansão da bioeconomia digital, como sua ampla biodiversidade e uma agricultura desenvolvida. Esses fatores proporcionam uma base para o desenvolvimento de bioprodutos e serviços inovadores. A integração de tecnologias digitais, como inteligência artificial e *big data*, pode otimizar processos produtivos e promover a eficiência na utilização de recursos biológicos, facilitando a rastreabilidade de produtos e aumentando a transparência e a confiança dos



consumidores (EKOS, 2021).

A bioeconomia digital no Brasil apresenta desafios e oportunidades que demandam estudos e práticas para promover seu desenvolvimento sustentável. Entre os principais desafios estão as questões regulatórias e ambientais. A ausência de um marco regulatório específico para a bioeconomia digital pode dificultar a inovação e a implementação de novas tecnologias no setor. Além disso, a exploração sustentável dos recursos biológicos requer práticas que não comprometam a biodiversidade e os ecossistemas, exigindo políticas públicas que conciliem desenvolvimento econômico e conservação ambiental (WILLERDING, 2020).

Para superar os desafios e aproveitar as oportunidades quanto ao uso da tecnologia para o desenvolvimento sustentável da bioeconomia, é recomendável desenvolver um marco regulatório específico que forneça segurança jurídica e estimule investimentos no setor da bioeconomia digital. Além disso, é fundamental investir em pesquisa e desenvolvimento, promovendo a colaboração entre universidades, centros de pesquisa e o setor privado para fomentar a inovação e a sustentabilidade. Fortalecer as políticas públicas que incentivem a bioeconomia, alinhando-as com as necessidades do mercado e as peculiaridades regionais do Brasil, também se mostra essencial. Por fim, promover a capacitação técnica dos profissionais envolvidos garantirá que estejam preparados para lidar com as novas tecnologias e práticas sustentáveis (SGOBBE, 2024).

Ao abordar esses aspectos, o Brasil, por ter em seu território a maior floresta tropical do planeta, pode consolidar sua posição como um dos líderes na bioeconomia digital, promovendo um desenvolvimento econômico sustentável e inclusivo.

6 REFERÊNCIAS

ABBI - Associação Brasileira de Bioinovação. **Um plano para a bioeconomia.** Disponível em: <<https://abbi.org.br/noticias/artigo-um-plano-para-a-bioeconomia/>>. Acesso em: 20 nov. 2024.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **BNDES e Embrapii estimulam inovação em bioeconomia e outros setores.** Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-e-embrapii-estimulam-inovacao-em-bioeconomia-e-outros-setores>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

BRASIL - Governo Federal. **Decreto nº 12.044, de 5 de junho de 2024 - Estratégia Nacional de Bioeconomia.** Brasília, DF. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/sbc/dpeb/estrategia-nacional-de-bioeconomia>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Projeto cria política nacional para desenvolver bioeconomia no Brasil.** Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/noticias/935240-projeto-cria-politica-nacional-para-desenvolver-bioeconomia-no-brasil/>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

CASATI, Diego Gomez *et al.* **Applications of Bioinformatics and Genomics in Biotechnology.** Santa Fe, Argentina: Springer: 2021.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Bioeconomia no Brasil e no Mundo: panorama da**



produção científica. Disponível em: <<https://bioeconomia.fea.usp.br/wp-content/uploads/2021/06/2021-CGEE-Bioeconomia-no-Brasil-e-no-Mundo-Boletim-Tematico.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2024.

CLERCQ, Matthieu; VATS, Anshu; BIEL, Alvaro. *Agriculture 4.0: The Future of Farming Technology*. New York, USA: Oliver Wyman, 2018.

COMISSÃO EUROPEIA. *A sustainable bioeconomy for Europe*. Disponível em: <<https://op.europa.eu/pt/publication-detail/-/publication/edace3e3-e189-11e8-b690-01aa75ed71a1>>. Acesso em: 20 nov. 2024.

CROPLIFE. **Avanço científico e desafios regulatórios são cruciais para a expansão dos bioinsumos no Brasil.** Disponível em: <<https://croplifebrasil.org/avanco-cientifico-e-desafios-regulatorios-sao-cruciais-para-a-expansao-dos-bioinsumos-no-brasil-aponta-fgv/>>. Acesso em: 20 nov. 2024.

CRUZ, D. K. A.; NÓBREGA, A. A.; MONTENEGRO, M. M. S.; PEREIRA, V. O. M. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e as fontes de dados para o monitoramento das metas no Brasil.** Brasília, DF: Epidemiologia e Serviços de Saúde, v. 31, n. 1, 2022.

EKOS. **As tendências e os desafios da Bioeconomia no Brasil e no mundo.** Disponível em: <<https://www.ekosbrasil.org/as-tendencias-e-os-desafios-da-bioeconomia-no-brasil-e-no-mundo/>>. Acesso em: 20 nov. 2024.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Bioeconomia na Amazônia precisa de novos modelos de negócios.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/82741279/bioeconomia-na-amazonia-precisa-de-novos-modelos-de-negocios>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Breve Panorama da Bioeconomia no Brasil.** Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1146725/1/Breve-Panorama-da-Bioeconomia-no-Brasil-Capitulo-2.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. *The State of the World's Forests 2018*. Disponível em: <<https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1147749/>>. Acesso em: 20 nov. 2024.

FERRO, A. F. P.; BONACELLI, M. B. M.; ASSAD, A. L. D. **Oportunidades tecnológicas e estratégias concorrenciais de gestão ambiental: o uso sustentável da biodiversidade brasileira.** Campinas, SP: Gestão & Produção, v. 13, n. 3, p. 375-386, 2006.

FINK, Johannes Karl. *The Chemistry of Bio-based Polymers*. Estíria, Áustria: Wiley-VCH, 2020.

FONSECA, E. P. R.; CALDEIRA, E.; RAMOS FILHO, H. S.; OLIVEIRA, L. B.; PEREIRA, A. C. M.; VILELA, P. S. *Agro 4.0: A Green Information System for Sustainable Agroecosystem Management*. New York, EUA: Arxiv Cornell University, 2019.

GUERRA, Avaetê de Lunetta Rodrigues *et al.* **Pesquisa qualitativa e seus fundamentos na investigação científica.** Esperança, PB: Revista De Gestão E Secretariado, v. 15, n. 7, 2024.

MCTIC - Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Bioeconomia pode impulsionar reindustrialização brasileira em bases verdes.** Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2023/02/bioeconomia-pode-impulsionar-reindustrializacao-brasileira-em-bases-verdes>>.



Acesso em: 22 nov. 2024.

MCTIC - Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Bioeconomia.** Disponível em: <https://repositorio.mctic.gov.br/bitstream/mctic/4355/1/2018_plano_acao_ciencia_tecnologia_inovacao_bioeconomia.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2024.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).** Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 20 nov. 2024.

PAMPLONA, Leonardo; SALARINI, Julio; KADRI, Nabil. **Potencial da bioeconomia para o desenvolvimento sustentável da Amazônia e possibilidades para a atuação do BNDES.** Rio de Janeiro, RJ: Revista do BNDES, n. 56, p. 55-92, 2021.

ROCO, M. C. *et al.* **Nanotechnology: A Strategic Perspective.** Bucareste, Romênia: Springer Nature, 2019.

SGOBBE, Vinicius. **Bioeconomia: uma abordagem biotecnológica para o desenvolvimento sustentável.** Araraquara, SP: Repositório Institucional UNESP, 2024.

SILVA, D. C.; JÚNIOR, F. R. F. M.; SILVA, T. M. R.; NUNES, J. B. C. **Características de pesquisas qualitativas: estudo em teses de um programa de pós-graduação em educação.** Fortaleza, CE: Educação em Revista, v. 38, 2022.

SILVA, G. C. N.; MELRO, A. F. **Análise bibliométrica da produção científica sobre bioeconomia no Brasil: uma visão panorâmica.** Goiânia, GO: Repositório Dspace, 2023.

SILVA, R. F. B.; MOURA, E. G.; ALMEIDA, D. L.; SOUZA, H. N. **Sistemas Agroflorestais como Estratégia de Adaptação aos Desafios das Mudanças Climáticas no Brasil.** Ponta Grossa, PR: Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 55, n. 1, p. 91-108, 2017.

SOUZA, Rogério. **A importância de fundamentos robustos em metodologia científica.** São Paulo, SP: Jornal Brasileiro de Pneumologia, v. 44, n. 5, 2018.

STARTUPS. **Startups e universidades: Como criar conexões para fomentar a inovação.** Disponível em: <<https://startups.com.br/negocios/startups-e-universidades-como-criar-conexoes-para-fomentar-a-inovacao/>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

TIOSSI, Fabiano Martin; SIMON, Alexandre Tadeu. **Economia Circular: suas contribuições para o desenvolvimento da Sustentabilidade.** São José dos Pinhais, PR: *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 2, 2021.

WILLERDING, A. L.; SILVA, L. R.; SILVA, R. P.; ASSIS, G. M. O.; PAULA, E. V. C. M. **Estratégias para o desenvolvimento da bioeconomia no estado do Amazonas.** Manaus, AM: Ambiente e Desenvolvimento, 2020.

YIN, Robert Kuo-zuir. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** Porto Alegre, RS: Bookman, v.4, 2010.