

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (UFPR)

TALLYRAND MOREIRA JORCELINO

CARACTERIZAÇÃO DO USO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE
BIOCOMBUSTÍVEIS APLICADA A POLÍTICAS PÚBLICAS
VOLTADAS PARA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

CURITIBA, PR

2024

TALLYRAND MOREIRA JORCELINO

CARACTERIZAÇÃO DO USO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE
BIOCOMBUSTÍVEIS APLICADA A POLÍTICAS PÚBLICAS
VOLTADAS PARA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Trabalho de conclusão apresentado ao curso de MBA em Gestão Estratégica em Energias Naturais Renováveis, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná (UFPR), como requisito parcial à obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Marcell Mariano Corrêa Maceno

CURITIBA, PR

2024

Caracterização do uso da Avaliação do Ciclo de Vida de biocombustíveis aplicada a políticas públicas voltadas para transição energética

Tallyrand Moreira Jorcelino

RESUMO: A avaliação de impacto do ciclo de vida de biocombustíveis tem sido uma ação de profissionais de áreas diversas com a perspectiva de contribuir na cadeia produtiva de culturas agrícolas, produtos e coprodutos com potenciais agro e bioenergéticos. Na literatura existem uma diversidade de publicações relevantes que abordam essa temática, no entanto, as publicações relacionadas ao Brasil não são totalmente investigadas do ponto de vista de revisão de literatura. Essa lacuna foi uma motivação para o prosseguimento desta pesquisa. O objetivo deste estudo foi caracterizar o *status* do uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de biocombustíveis no contexto da transição energética. A metodologia pautou-se por revisão de literatura, com recorte temporal de 10 anos, 2015 a 2024. Na plataforma indexada Web of Science, com uso de operador booleano, pesquisou-se pelas *strings* “Life Cycle Assessment” AND “Brazil” AND “Biofuels”, sendo elegível para revisão de literatura o total de 9 publicações. Os estados de Santa Catarina, Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais e Distrito Federal são representativos nos resultados de projetos de pesquisa, com alinhamentos aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial, nº 7, 11, 12, 13, 14 (energia limpa e acessível; cidades e comunidades sustentáveis; consumo e produção responsáveis; ação contra a mudança global do clima; vida na água, respectivamente). Na transição energética, a revisão encontrou abordagens de avaliação do ciclo de vida, avaliação do ciclo de vida social, e avaliação do ciclo de vida híbrida integrada associadas a contextos de biocombustíveis (bioetileno, bioenergia, biodiesel, bioetanol, cadeia produtiva e biorrefinarias de cana-de-açúcar). Por fim, estudos de revisão abrangente da literatura acerca da participação do Brasil no tema ACV se faz oportuno como uma maneira de jogar luz na evolução das principais tendências de projetos de pesquisa alinhados a compromissos governamentais e metas globais.

Palavras-chave: Emissões de gases de efeito estufa. Energias naturais renováveis. Gestão estratégica. Mudança do clima. Participação social.

ABSTRACT: The impact assessment of the life cycle of biofuels has been an action by professionals from different areas with the perspective of contributing to the production chain of agricultural crops, products and co-products with agro- and bioenergy potential. In the literature there is a diversity of relevant publications that address this topic, however, publications related to Brazil are not fully investigated from the point of view of literature review. This gap was a motivation for continuing this research. The objective of this study was to characterize the status of the use of Life Cycle Assessment (LCA) of biofuels in the context of the energy transition. The methodology was based on a literature review, with a time frame of 10 years, 2015 to 2024. On the Web of Science indexed platform, using a Boolean operator, the strings “Life Cycle Assessment” AND “Brazil” AND “Biofuels”, with a total of 9 publications being eligible for literature review. The states of Santa Catarina, Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais and the Federal District are representative in the results of research projects, aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs), in particular, nº 7, 11, 12, 13, 14 (clean and affordable energy; sustainable cities and communities; responsible consumption and production; action against global climate change; life on water, respectively). In the energy transition, the review found life cycle assessment, social life cycle assessment, and integrated hybrid life cycle assessment approaches associated with biofuel contexts (bioethylene, bioenergy, biodiesel, bioethanol, production chain and sugarcane biorefineries -of sugar). Finally, comprehensive literature review studies on Brazil's participation in the LCA theme are opportune as a way to shed light on the evolution of the main trends in research projects aligned with government commitments and global goals.

Keywords: Greenhouse gas emissions. Renewable natural energies. Strategic management. Climate change. Social participation.

1 INTRODUÇÃO

Com os avanços tecnológicos, o estilo e a qualidade de vida humana demandam por acesso a energias, em especial, combustíveis fósseis, tais como petróleo, carvão e gás natural (Moreira, 2021).

Entretanto, o uso exagerado de combustíveis fósseis para atender à necessidade energética mundial tem gerado graves danos ao meio ambiente, ocasionados pela queima de gases poluentes (Guedes, 2021), o que contribui para acirrar as mudanças climáticas e o aquecimento global.

No que tange ao consumo mundial de energia elétrica, tem havido um aumento nas emissões atmosféricas (Santos, 2022). Em contraponto, a diversidade de fontes de geração de eletricidade tem aumentado e as fontes renováveis tem se tornado mais populares.

As mudanças climáticas são um conjunto de alterações no estado do clima, que tanto podem ser identificadas por mudanças nas médias das variáveis climáticas quanto na variabilidade das propriedades do clima que persistem por um período extenso, tipicamente décadas ou séculos (Gondim, 2017). Há mais de duas décadas a agropecuária brasileira vem experimentando um virtuoso ciclo expansivo (Chelala; Chelala, 2023).

No Brasil, um dos maiores contribuintes para o aquecimento global encontra-se nas atividades agropecuárias. Segundo Chelala e Chelala (2023) as discussões sobre mudanças climáticas no país, invariavelmente, apontam a agropecuária como a principal responsável pelas emissões de gases de efeito estufa - GEE, gerando uma polarização entre os agentes que estão na defesa de uma economia de baixo carbono e os produtores rurais.

Diante das mudanças climáticas que estão ocorrendo com maior intensidade ao longo dos últimos anos, tornam-se indispensáveis ações para realizar uma produção agropecuária sustentável com o intuito de mitigar as emissões dos GEE (Kaneko, 2022).

O estudo de Cruz (2021), evidencia que a temática sustentável está sendo cada vez mais difundida ao longo dos anos, sobretudo para tentar minimizar impactos nos pilares ambientais, econômicos e sociais, por meio de práticas *environmental, social and governance* – meio ambiente, social e governança - ESG.

Conforme Medeiros (2022) o agronegócio brasileiro está se adequando à exigência internacional quanto aos fatores que envolvem ESG.

Ações dessa natureza, em associação ao estabelecimento de metas socioambientais e de governança, colocam o agronegócio brasileiro como um setor estruturado e de destaque na arena global quando fatores relacionados ao conceito de ESG assumem o protagonismo na tomada de decisão de investidores e financiadores (Moretti; Ferreira, 2021).

Nessa vertente, nos últimos anos, a pressão para o uso de energias mais limpas como forma de proteger o planeta dos graves danos já causados pela ação humana, tem levado a humanidade a percorrer uma transição global importante. E assim, o mundo está incrementando o uso das fontes de natureza renovável em busca de construir uma nova realidade energética, pautada em eficiência e sustentabilidade (Pinto, 2023).

Ao mesmo tempo em que, da imperiosa necessidade de segurança energética, decorre a importância da matriz energética contar com diversas fontes, o planeta demanda urgentemente a substituição das fontes fósseis de energia pelas renováveis, a fim de mitigar as mudanças climáticas que, aliás, têm levado ao aumento da frequência de eventos extremos, tais como as severas estiagens que, entre outros danos, provocam justamente crises energéticas (Leme Filho, 2023). Esse autor compreende que as diferentes formas de energia renováveis constituem valorosas contribuições para a segurança energética e para a redução das emissões de GEE.

Na tendência da transição energética, a bioenergia se posiciona mundialmente como uma das alternativas para o desafio global de reduzir as emissões de GEE (Castro, 2023). Dessa maneira, estudo de Guedes (2021) e UFPR (2018) compreendem que os biocombustíveis se apresentam como uma das alternativas mais viáveis para suprir a demanda energética mundial e minimizar os danos ao meio ambiente.

A gravidade do fenômeno das mudanças climáticas tem sido identificada pela comunidade científica internacional a partir da década de 1980, o que chama a atenção de governantes, formuladores de políticas públicas, empresários e da população em geral (Dinato, 2022).

Ao longo dos anos diversas conferências, com repercussão global, debatem temáticas associadas a clima, com vista a redução de impactos ambientais

agravados desde o início das atividades industriais. Com o propósito de alcançar os objetivos firmados em acordos, o Brasil busca desenvolver projetos que associem a redução de impactos ambientais com desenvolvimento econômico e benefícios sociais (Pereira, 2021).

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL, concebido em 1997 no Protocolo de Quioto, consiste em uma forma de comercializar emissões de GEE entre países que reduzem emissões além das metas acordadas em tratados internacionais, e países que não atingem suas metas de redução. Para tanto, o MDL inclui centenas de metodologias certificadas pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - UNFCCC para contabilizar a redução de GEE a ser comercializada (Alvarenga, 2022).

Em 2003, iniciaram os primeiros estudos concretos para a criação de uma política do biodiesel no Brasil e, em dezembro de 2004, o governo lançou o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel - PNPB. O propósito, na etapa inicial, foi introduzir o biodiesel na matriz energética brasileira, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional. Desde o lançamento do PNPB até o final de 2011, o Brasil produziu 8,3 bilhões de litros de biodiesel. Além disso, houve redução das importações de diesel em um montante de 5,3 bilhões de dólares, contribuindo positivamente para a Balança Comercial brasileira (Brasil, 2020). Nesse ínterim, o país tem resolvido apostar nos biocombustíveis para o desenvolvimento sustentável, graças ao sucesso do programa do Proálcool, e do PNPB (Moreira, 2021).

No decorrer do tempo, políticas de incentivo à produção de biocombustíveis foram criadas, com o intuito de diminuir a dependência energética de fontes não renováveis e diminuir os impactos ambientais (Guedes, 2021).

No ano 2015, durante a 21ª Conferência do Clima da Organização das Nações Unidas - ONU, o Brasil apresentou o documento Contribuições Nacionalmente Determinadas, no qual se comprometeu a reduzir em 37% as emissões de gases de efeito estufa até 2025 (Pereira, 2021).

Ainda, o Brasil estabeleceu políticas públicas que vão na direção da redução das emissões de GEE, contribuindo para a descarbonização da atividade agrícola. E isso tem sido uma forma inteligente de alinhar o aumento da rentabilidade e a redução das emissões de carbono, contribuindo simultaneamente para estimular a

expansão da produção e atingir os compromissos firmados pelo Brasil no Acordo de Paris (Moretti; Ferreira, 2021).

O Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – Plano ABC –, vigente entre os anos 2011 a 2020; e o Plano ABC+ para o ciclo de 2021 a 2030 tem sido os principais instrumentos da política agrícola brasileira para a promoção da sustentabilidade, incluindo a redução de emissões de GEE e enfrentamento dos efeitos adversos das mudanças climáticas na agropecuária (Brasil, 2012; Redação-Agroanalysis, 2022).

A existência de políticas públicas que incentivem investimentos em fontes energéticas dessa natureza promove o Brasil como um dos países menos emissores de GEE para gerar energia no mundo (Pinto, 2023).

O RenovaBio é a Política Nacional de Biocombustíveis do governo federal brasileiro – instituída pela Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017 – e visa promover a expansão dos biocombustíveis, garantindo previsibilidade, eficiência energética e redução de emissões de GEE (Pereira, 2021); prevê um tratamento diferenciado para os biocombustíveis com baixa emissão de GEE em seu ciclo de vida (Pighinelli et al., 2021); e estimula o aumento da participação dos biocombustíveis produzidos com padrões sustentáveis, na matriz energética brasileira (Brasil, 2017).

Segundo Pighinelli et al. (2021), no primeiro ano de funcionamento dessa política, foi possível observar uma adesão significativa das usinas de biocombustíveis, pois cerca de 60% das usinas que estavam autorizadas a produzirem biocombustível no Brasil aderiram ao Programa RenovaBio.

Além de fomentar os investimentos, aumentar a quantidade de biocombustíveis e criar empregos e cujo principal mecanismo é o Crédito de Descarbonização por Biocombustíveis – CBIO (Denny, 2021); o RenovaBio reconhece a contribuição dos biocombustíveis para a segurança energética (Morandi et al., 2020).

Os biocombustíveis já contribuíram para a economia nacional e o meio ambiente, quando se fala em mudanças climáticas. Com o etanol consumido apenas como combustível, o Brasil conseguiu substituir 27% de toda a reserva brasileira de petróleo e condensados (Nastari, 2023).

Para Almeida (2023), expectadores do agravamento da severidade das mudanças climáticas, a sociedade vem apresentando mudanças de comportamento em nível global, com o aumento da rejeição de produtos e serviços associados a degradação do meio ambiente. Em resposta aos movimentos sociais, órgãos internacionais como a ONU recomendam objetivos e estratégias para a maior sustentabilidade das operações.

A Agenda 2030, proposta em agosto de 2015 pela ONU é composta de 17 objetivos de desenvolvimento sustentável - ODS e 169 metas para o cumprimento até 2030 (Figueiredo; Nascimento, 2021). Ela foi elaborada para transformar o mundo e garantir um futuro com inclusão social e qualidade de vida para as próximas gerações (Oliveto, 2020). Neste estudo, destaque pode ser concedido ao ODS 7, por sua ênfase na Energia Acessível e Limpa, com o propósito de garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos.

Pela diversidade brasileira, o Brasil apresenta uma ampla gama de matérias-primas para a produção de biodiesel (França, 2023). Ao reconhecer as oportunidades das culturas oleaginosas, a Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Oleaginosas e Biodiesel do Ministério da Agricultura - MAPA têm por finalidade propor, apoiar e acompanhar ações para o desenvolvimento das atividades das cadeias produtivas do agronegócio brasileiro (Brasil, 2008).

O cenário do agronegócio, possui significativas escalas no território nacional, cujas quais, proporcionam ao país, oportunidades internas e externas de negociação. Além disso, a associação desse setor econômico à sustentabilidade ambiental é de significativa importância, haja vista que suas operações tratam diretamente com o meio ambiente (Pereira et al., 2023).

Com o passar do tempo, novas alternativas tecnológicas vêm sendo estudadas para minimizar os potenciais impactos do processo ao meio ambiente, reduzindo a utilização de derivados do petróleo através de matérias-primas renováveis e *eco-friendly* (Musse Neto, 2023).

A utilização de fontes limpas e renováveis é uma prática que ganha cada vez mais espaço e visibilidade tratando-se do setor de geração de energia. Diariamente, recursos são despendidos em busca de novas tecnologias e novos combustíveis que se adequem às exigências de redução de emissão de poluentes, emissão de gás carbônico e uma política de desenvolvimento sustentável (Roque, 2022).

Diversos estudos mostram que os resíduos provenientes da indústria de celulose e papel e das principais culturas agrícolas (cana de açúcar, açaí, laranja, soja, milho, dentre outras) têm um alto potencial para a produção de biocombustíveis. O Brasil possui fontes de biomassa para aplicação de tecnologias renováveis de conversão que podem agregar valor à cadeia de suprimentos alimentícia e se alinhar ao desenvolvimento de uma bioeconomia (Ferreira, 2021).

Pode-se imaginar que outras biomassas, como resíduos agrícolas, cascas de frutas, bagaço de cana-de-açúcar, bambu, entre outros, também possam ser exploradas para a produção de materiais de impressão 3D sustentáveis (Owen; Osmanović; Mirny, 2023).

No setor agrícola nacional, a Avaliação do Ciclo de Vida – ACV pode contribuir para a promoção de uma agricultura mais limpa e para uma melhor colocação dos produtos agrícolas brasileiros no mercado internacional. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa dispõe de uma rede de pesquisa nacional em ACV que tem entre os objetivos gerar informações para subsidiar análises para sistemas de produção típicos de alguns dos mais importantes produtos do agronegócio brasileiro: cana-de-açúcar, soja, milho, manga, eucalipto e bovinocultura de corte (Arzabe et al., 2018).

A ACV é uma ferramenta que possibilita avaliar o impacto ambiental associado a um produto (Moretti, 2021), durante todas as etapas do ciclo de vida de produção (Dal Molin, 2021). Essa técnica foi desenvolvida para mensurar os potenciais impactos ambientais causados como resultado da fabricação e utilização de determinado produto ou serviço na melhoria de processos (Dal Molin, 2021; Ibict, 2021). Isso torna uma metodologia consolidada que permite quantificar uma visão mais abrangente do processo de produção e uma série de impactos ambientais, incluindo as emissões de GEE (Alvarenga, 2022).

O uso da ACV para quantificar os impactos ambientais dos processos é considerada uma ferramenta ideal e já consolidada mundialmente (Costa et al., 2021). Dessa maneira, Oliveira et al. (2020) trazem uma definição para ACV, sendo um método sistematizado pelas normas NBR ISO 14040:2009 e 14044:2009, usado para avaliar de forma quantitativa os potenciais impactos ambientais de um produto ou serviço dentro de um contexto bem definido, que deve ser estabelecido previamente.

O estudo de Santos (2020) visou avaliar, por meio do estado da arte, as publicações da academia e o histórico das demais ações, principalmente as institucionais, no sentido de incentivar o desenvolvimento da metodologia denominada ACV no Brasil desde sua chegada ao país nos anos noventa até o primeiro semestre de 2018. Por meio de método bibliométrico, esse autor fez uso de banco de dados internacional denominado Scopus; um nacional, a Biblioteca Digital de Teses e Dissertações; além de valorizar o próprio histórico dos acontecimentos ligados ao assunto durante o período estudado, tais como legislação aplicável, normatização, congressos e tudo mais que contribuía em termos de conscientização sobre impacto ambiental e passos rumo à sustentabilidade nacional.

Por outro lado, Moreira (2021) buscou entender o cenário geral brasileiro da sustentabilidade do biodiesel. Dessa maneira, analisou artigos sobre a sustentabilidade e os impactos do biodiesel a partir da ACV.

Já o estudo de Cruz (2021) aborda revisão sistemática nos periódicos da base de dados da Scopus (Elsevier), conduzida em busca das possibilidades acerca do uso das ferramentas de ecoeficiência e ACV incorporadas ao contexto da sustentabilidade.

Conforme Pereira et al. (2023), o emprego de revisão sistemática, alinhada a uma abordagem qualitativa e descritiva, possibilita a sistematização e análise de conteúdo.

Pela relevância do tema, este estudo se justifica por haver uma lacuna de pesquisa científica com abordagem comparativa que associe ACV às tendências das políticas públicas no contexto da transição energética. Alvarenga (2022) ratifica a importância dos resultados de pesquisa auxiliar pesquisas futuras no tema, de forma que não se pode extrapolar para outros cenários os resultados e conclusões já apresentados.

Apesar de haver uma literatura substancial que utiliza a abordagem de ACV, Carneiro et al. (2017) pretenderam determinar tendências globais com base em uma interpretação estatística e crítica de resultados de estudos publicados anteriormente, revisando 61 artigos abordando uma avaliação ambiental de biocombustíveis de microalgas.

O estudo de Bodunrin et al. (2018) teve como objetivo determinar a disponibilidade de dados ACV ambiental, pegada hídrica e pegada de carbono no Brasil no recorte temporal de 2000 a 2016 utilizando as plataformas de pesquisa

Google, Google Scholar, bem como bancos de dados acadêmicos contendo artigos de periódicos revisados por pares, como Scopus, ScienceDirect e Springer. Os resultados mostraram que a ACV era uma técnica de avaliação quantitativa emergente no Brasil, especialmente nos setores energético e agrícola.

Do exposto, o objetivo desta pesquisa é caracterizar o *status* do uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de biocombustíveis no contexto da transição energética.

2 METODOLOGIA

Esta proposta de estudo se ampara na *string* de busca com uso de operadores booleanos para realização de revisão sistemática da literatura – RSL em um recorte temporal de 10 anos, 2015 a 2024. Com base em Fenner et al. (2022), na forma de pesquisa do tipo prospectiva, prioriza-se a revisão sistemática da literatura e recolha documental pertinente.

Preliminarmente, na leitura dos principais artigos recuperados por meio de títulos, resumos e palavras-chave, pretende-se atentar aos temas: “Life Cycle Assessment” AND “Brazil” AND “Biofuels” na plataforma de pesquisa Web of Science - WOS. Ressalta-se a priorização do título nos dois primeiros termos; e do título, resumo e palavras-chaves para o último termo. Na WOS, “title” e “topic”, respectivamente.

A partir de dados obtidos no mês de maio de 2024, ressalta-se que o tema Transição Energética foi avaliado ao longo dos 11 artigos não pela aparição desse termo nas publicações eleitas para a RSL, mas pelas características apresentadas na introdução deste estudo.

Utilizou-se itens da declaração PRISMA 2020, que substitui a declaração de 2009 e inclui novas orientações para relatos que reflete os avanços nos métodos para identificar, selecionar, avaliar e sintetizar estudos (Page et al., 2022).

Para a definição do corpo da análise de literatura foi priorizado artigos originais. Como critério de exclusão teve-se: literatura cinza, artigos de revisão, e publicações que estejam fora do recorte temporal 2015 a 2024. Nesse quesito, excluiu-se os artigos de revisão de literatura escritos por Carneiro et al. (2017) e Bodunrin et al. (2018). Por critério de inclusão, tem-se artigos originais em língua portuguesa e estrangeira tidos como fronteira do conhecimento no decorrer do

tempo. Com isso, elegeu-se como corpo da RSL o quantitativo de 9 (nove) artigos originais, resultado de pesquisas científicas.

Com isso, espera-se que o uso dos métodos permita uma reflexão sobre transição energética; o levantamento da produção acadêmica sobre o tema do estudo nas principais bases de artigos científicos; a classificação e categorização dessa produção acadêmica; e o apontamento das principais tendências de publicações na área.

Portanto, a partir da sistematização e análise dos resultados, a seguir, apresenta-se uma evolução da produção acadêmica relacionada a ACV e biocombustíveis, dialogando com possibilidades de segurança e transição energética.

A TABELA 1 apresenta os parâmetros utilizados na seleção dos artigos: termos de busca, horizonte temporal, bases de dados, filtro, quantidade de artigos encontrados e definidos como prioritários para a revisão sistemática da literatura. De um total de 11 publicações recuperadas, após leitura dos títulos, dos resumos e das palavras-chave, tornou-se elegível para a revisão sistemática de literatura o total de 9 publicações.

TABELA 1. Parâmetros utilizados na seleção dos artigos.

Parâmetro	Critério utilizado
Termos de busca	“Life Cycle Assessment” AND “Brazil” AND “Biofuels”
Horizonte temporal	2015-2024
Bases de dados	Web of Science
Filtro	Artigos originais (<i>peer review</i>)
Quantidade de artigos elegíveis para a RSL	9 artigos

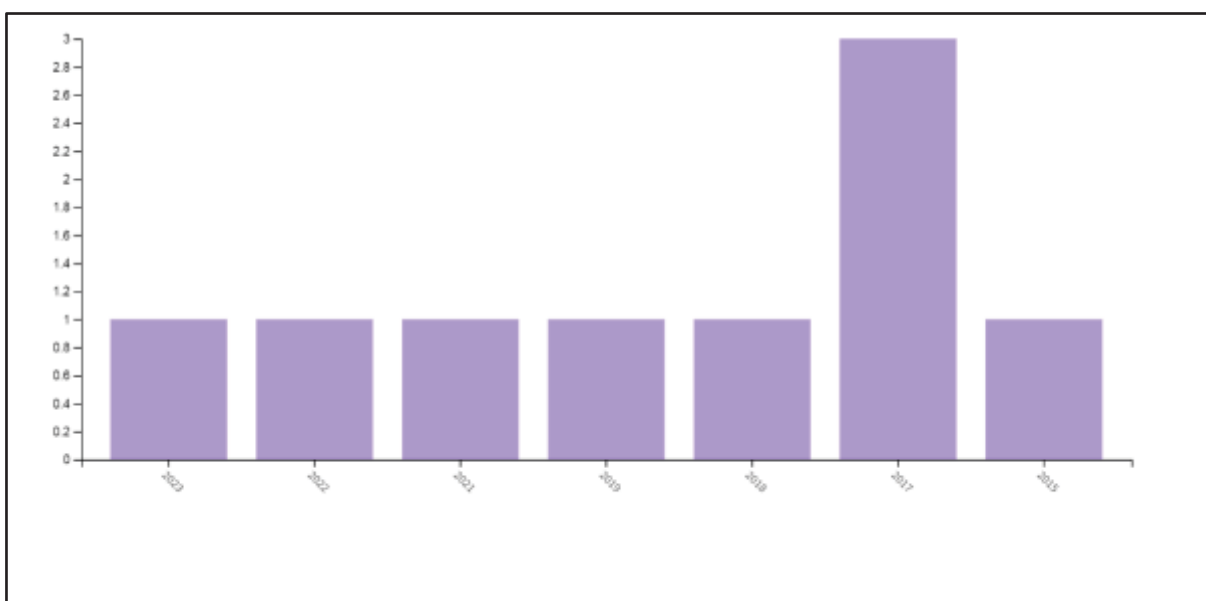
FONTE: Elaboração própria, adaptada de Peixoto *et al.* (2021).

3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Esta sessão apresenta aspectos relacionados às 9 (nove) publicações, ênfase da revisão de literatura desta pesquisa.

Nos últimos 10 anos (2015 a 2024) observou-se o quantitativo de 1 publicação nos anos 2023, 2022, 2021, 2019, 2018 e 2015. Isso mostra que o tema pesquisado tem sido de relevância em projetos de pesquisa submetidos a organizações de fomento por proponentes vinculados a instituições brasileiras no decorrer dos anos. Notou-se que o pico de publicações ocorreu no ano 2017, com a recuperação de 3 publicações. Além disso, identificou-se ausência de publicações nos anos 2020 e 2016.

GRÁFICO 1. Linha temporal das publicações.



FONTE: Dados da pesquisa.

Os periódicos que receberam as publicações foram: ***Journal of Cleaner Production*** (Zanon-Zotin et al., 2023; Souza et al., 2018); ***The International Journal of Life Cycle Assessment*** (Maga et al., 2019; Sousa et al., 2017; Souza, Barbastefano e Teixeira, 2017; Palma-Rojas, Caldeira-Pires e Nogueira, 2017); ***Renewable and Sustainable Energy Reviews*** (Costa e Oliveira, 2022); ***Science of the Total Environment*** (Vargas e Seabra, 2021); ***Journal of Cleaner Production***

(Pereira et al., 2015). Nota-se que todos são periódicos internacionais, que cooperaram a uma maior visibilidade do teor das publicações publicadas no idioma inglês, com apoio de uma diversidade de organizações de fomento, conforme apresenta o QUADRO 1.

QUADRO 1. Principais agências de fomento de projetos de pesquisa que derivaram as publicações analisadas neste estudo.

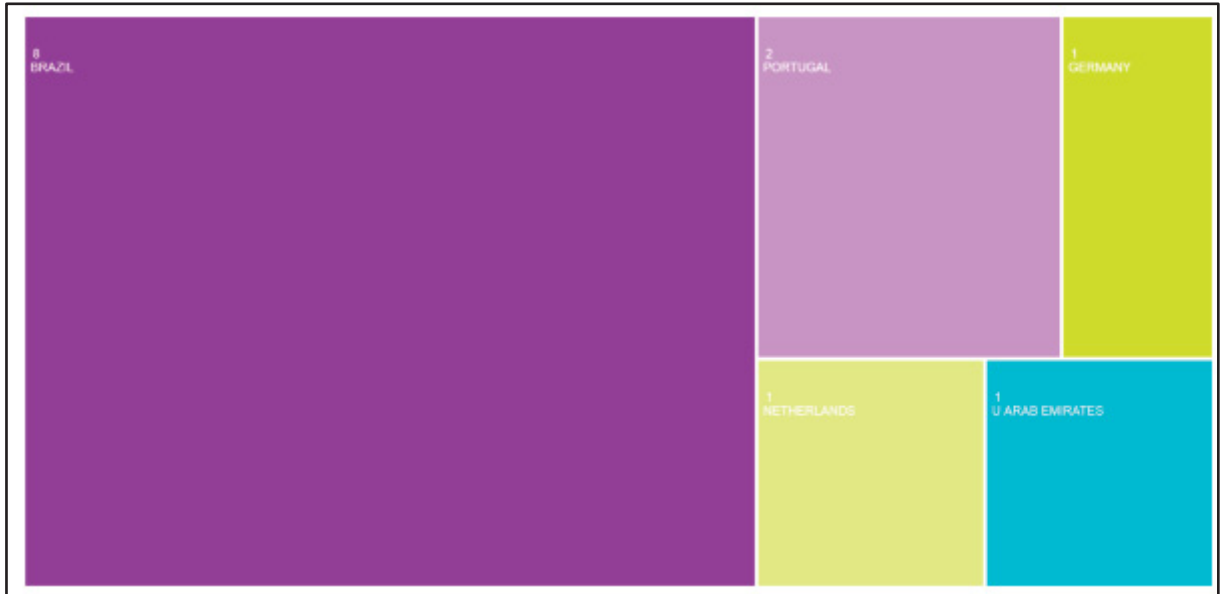


FONTE: Dados da pesquisa.

Em consonância ao QUADRO 2, observou-se que das 9 publicações, apenas a publicação de autoria de Maga et al. (2019) não menciona vínculo de autor ou co-autores ao Brasil. Essa publicação teve autoria de representantes dos países Alemanha e Portugal. A publicação de Zanon-Zotin et al. (2023) foi realizada em colaboração com pesquisadores do Brasil, Holanda, Emirados Árabes Unidos, e Portugal. Destaca-se que 7 publicações são de autoria de somente pesquisadores pertencentes a instituições brasileiras (Costa e Oliveira, 2022); Vargas e Seabra, 2021; Souza et al., 2018; Sousa et al., 2017; Souza, Barbastefano e Teixeira, 2017; Palma-Rojas, Caldeira-Pires e Nogueira, 2017; Pereira et al., 2015). Esses resultados tornam importantes para ratificar a relevância de realizar projetos de pesquisa com parcerias de instituições internacionais, como também para mostrar o expressivo quantitativo de publicações originadas do Brasil disponibilizada na

plataforma indexada de publicações científicas priorizada nesta pesquisa, Web of Science.

QUADRO 2: Colaboração de diferentes países às pesquisas sobre o tema deste estudo.



FONTE: Dados da pesquisa.

No contexto brasileiro, as publicações são provenientes de instituição brasileiras vinculadas às macrorregiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Na região sul o destaque é para a Universidade de Santa Catarina (UFSC) – estado de **Santa Catarina**. Na região sudeste, teve a colaboração da: Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Petrobras, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ) – estado do **Rio de Janeiro**; Universidade de Campinas (Unicamp), Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) – estado de **São Paulo**; Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) – estado de **Minas Gerais**. Na região centro-oeste, teve a colaboração da Universidade de Brasília (UnB) – **Distrito Federal**, conforme se apresenta no QUADRO 3.

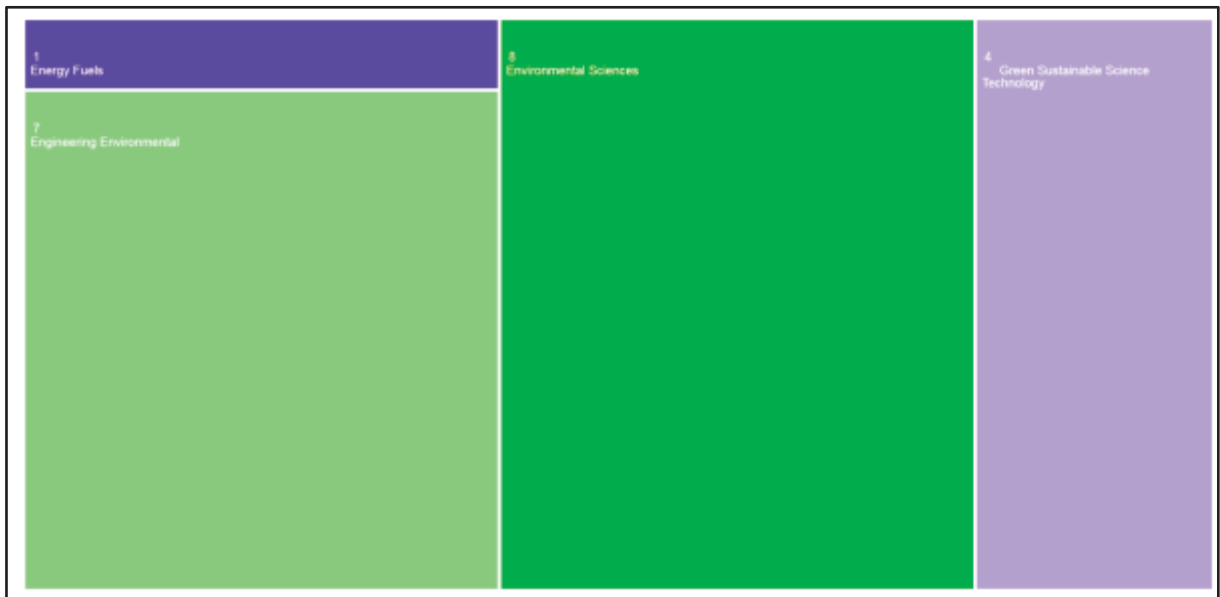
QUADRO 3. Principais instituições de ensino e pesquisa que derivaram as publicações analisadas neste estudo.



FONTE: Dados da pesquisa.

Quando se observou-se as grandes áreas do conhecimento, as 9 publicações priorizadas na revisão deste estudo enquadram-se em: Combustíveis energéticos, Engenharia ambiental, Ciências ambientais, Tecnologia científica sustentável verde, conforme demonstra o QUADRO 4.

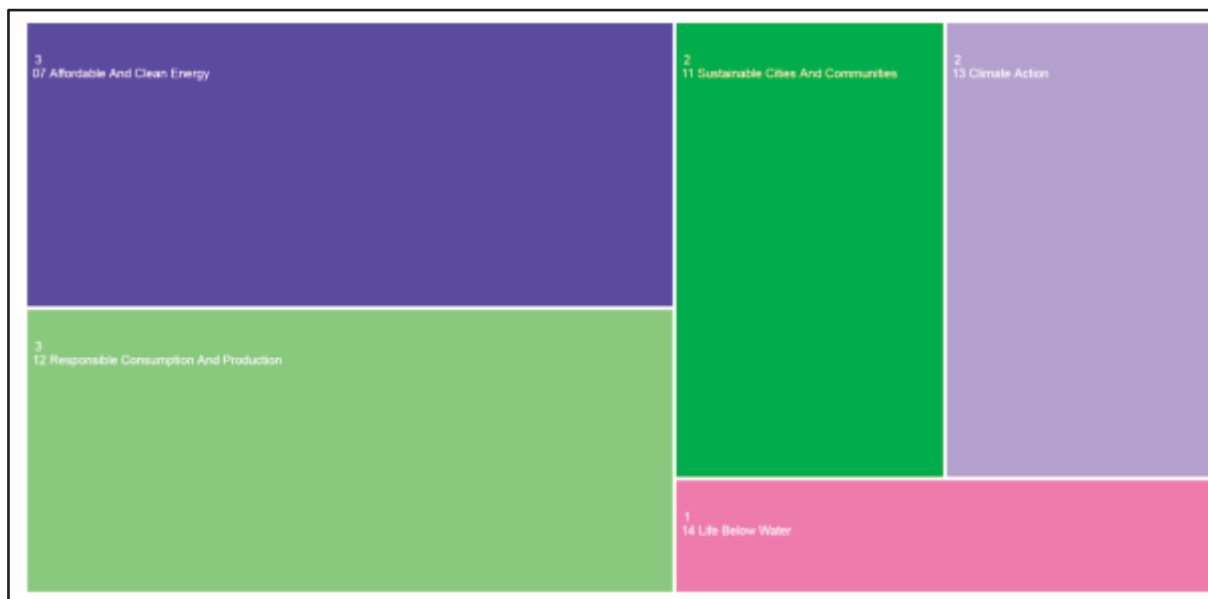
QUADRO 4: Categorias das áreas do conhecimento customizadas pela Web of Science.



FONTE: Dados da pesquisa.

No contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a Web of Science traz associação a cinco diferentes ODS, que são: ODS nº 7, ODS nº 11, ODS nº 12, ODS nº 13, ODS nº 14: energia limpa e acessível; cidades e comunidades sustentáveis; consumo e produção responsáveis; ação contra a mudança global do clima; vida na água, respectivamente. O QUADRO 5 traz isso de maneira ilustrativa.

QUADRO 5. Principais ODS com alinhamento às publicações priorizadas na revisão.



FONTE: Dados da pesquisa.

Conforme análise da Web of Science, a publicação de Zanon-Zotin et al. (2023) tem alinhamento ao ODS nº 14; de Vargas e Seabra (2021) aos ODS nº 11, 13; de Maga et al. (2019) aos ODS nº 7, 12; de Souza et al. (2018) aos ODS nº 11, 13; de Palma-Rojas, Caldeira-Pires e Nogueira (2017) aos ODS nº 7, 12; de Pereira et al. (2015) aos ODS nº 7, 12.

A Organização das Nações Unidas (ONU) informa que os 17 ODS, QUADRO 6, são um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade. Assim, a cada momento, esses objetivos estão contribuindo a fim de que se possa atingir a Agenda 2030 no Brasil.

QUADRO 6. Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.



FONTE: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>

Segundo Zanon-Zotin et al. (2023) os plásticos são responsáveis por 4,5% das emissões globais de GEE, que são difíceis de reduzir devido à utilização de combustíveis fósseis como matéria-prima. Esses autores pretenderam compreender se a substituição do etileno de origem fóssil pelo bioetileno contribui para a redução das emissões de carbono, e em quais das regiões/países produtores de bioenergia relevantes a valorização dos biocombustíveis como matérias-primas proporcionaria uma produção de bioetileno menos intensiva em carbono. Os resultados apontam que a utilização de biomassa para a produção de plástico oferece oportunidades de captura de CO₂ atmosférico ao longo de toda a cadeia de abastecimento, desde a bioenergia com captura e armazenamento de carbono até ao armazenamento final de CO₂ em materiais duráveis. Essa transição oferece dados para impactar a formulação de políticas relativas aos padrões de consumo de utilização única, dado que as emissões negativas só são alcançadas se o CO₂ biogênico for armazenado em uma aplicação de longa duração.

O Brasil foi pioneiro na aplicação de políticas de estímulo econômico aliando medidas de equidade social à produção de biodiesel. Apesar das expectativas originais, existem preocupações sobre possíveis impactos sociais negativos gerados pelas condições prevalentes na produção das matérias-primas (Costa e Oliveira, 2022). Esses autores realizaram análises qualitativas e quantitativas para aplicação da metodologia de avaliação do ciclo de vida social a fim de comparar as diferentes

matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel no Brasil. Ainda, foram identificadas correlações entre sexo, raça, carga horária e salário. Os resultados revelaram a influência positiva das cooperativas no bem-estar dos trabalhadores.

De acordo com Vargas e Seabra (2021) os veículos com células de combustível (VCC) foram proclamados como uma alternativa com zero emissões de escape para o transporte de passageiros; no entanto, o seu desempenho ambiental global deve ser avaliado caso a caso. Embora os impactos ambientais do VCC já tenham sido descritos na literatura, relatam não haver evidências de estudos abrangentes de avaliação do ciclo de vida analisando o caso brasileiro e suas características únicas, como a disponibilidade de matérias-primas biogênicas para a produção de hidrogênio via reforma do vapor, a elevada percentagem de energias renováveis no cabaz elétrico e uma nova tecnologia de motorização baseada em células de combustível de óxido sólido que poderiam funcionar com bioetanol. De acordo com os pressupostos de produção de veículos e combustíveis, os veículos baseados em células de combustível de óxido sólido poderão se tornar uma alternativa competitiva para a mitigação de impactos em 2030, com um desempenho melhor do que um veículo elétrico a bateria.

Maga et al. (2019) supõem que o uso do bagaço e do resíduo dos canaviais na produção de etanol aumente o rendimento do etanol por hectare, reduza a demanda energética, as emissões de gases de efeito estufa e outros impactos ambientais. O método aplicado pelos autores para ACV seguiu as normas ISO 14040/44. Os dados utilizados nesta avaliação do ciclo de vida são derivados principalmente de simulação de processos, literatura e coleta de dados primários. Os dados de base foram retirados de bancos de dados como GaBi e Ecoinvent. Os resultados da avaliação de impacto do ciclo de vida mostraram que, comparado ao etanol de primeira geração, o etanol de segunda geração proveniente da cana-de-açúcar no Brasil permite reduções significativas em todas as categorias de impacto investigadas, exceto no esgotamento de recursos.

Uma ACV foi realizada por Souza et al. (2018) para avaliar do poço até as rodas para diferentes cenários de consumo de combustíveis e configurações de motores para um veículo. Os cinco cenários analisados foram: veículo com motor de combustão interna convencional movido a gasolina, veículo com motor de combustão interna convencional movido a etanol hidratado, veículo com motor de combustão interna convencional movido a mistura de gasolina e etanol hidratado

(veículo flex-fuel), híbrido plug-in veículo elétrico e veículo elétrico a bateria. Os resultados mostraram que os cenários que utilizam etanol como combustível apresentam maiores impactos ambientais para as categorias de acidificação, eutrofização e oxidação fotoquímica. Os cenários que utilizam gasolina têm os maiores impactos no esgotamento abiótico, no potencial de esgotamento abiótico dos combustíveis fósseis e no potencial de aquecimento global. Os veículos que utilizam baterias de íons de lítio têm os maiores impactos em termos de toxicidade humana. O veículo elétrico a bateria apresenta menores impactos ambientais de maneira geral, seguido pelos veículos que utilizam etanol.

As fontes de energia renováveis, especialmente os biocombustíveis, estão a ser promovidas como possíveis soluções para fazer face ao aquecimento global e ao esgotamento dos recursos petrolíferos (Sousa et al., 2017). Nesse contexto, esses autores compreendem que o biodiesel é uma solução para a crescente procura por combustíveis renováveis. Assim, informam que o sebo bovino é a segunda principal matéria-prima, depois do óleo de soja, utilizado na produção de biodiesel no Brasil. Esse estudo dialoga com a pesquisa de Zanon-Zotin et al. (2023), cujos resultados indicaram que a produção de bioetilenos por meio da desidratação catalítica do bioetanol de cana-de-açúcar no Brasil apresenta menor emissão de GEE. E, que o sebo bovino teve o pior desempenho como matéria-prima, independentemente das emissões decorrentes da alteração do uso do solo serem consideradas.

Segundo Souza, Barbastefano e Teixeira (2017) a identificação e informações sobre os grupos que desenvolveram estudos relacionados à ACV foram obtidas a partir de levantamento do Diretório Brasileiro de Grupos de Pesquisa (DRG). A interdisciplinaridade baseou-se na classificação das linhas de pesquisa de cada grupo. As relações de colaboração foram identificadas a partir de publicações em coautoria indexadas na Web of Science. O foco dos grupos de pesquisa foi definido com base em suas descrições e setores de atuação, conforme informado no DRG. O estudo abrangeu um total de 82 grupos e 510 linhas de pesquisa. Dentre os achados, informaram: há grande assimetria regional na distribuição dos grupos; a maior parte delas está vinculada a universidades e está localizada nas Engenharias, especificamente Industrial, Mecânica, Sanitária e Civil; existe uma abordagem interdisciplinar que abrange 49 áreas do conhecimento; e o foco principal dos grupos está relacionado a setores de atividade como energia (ênfase em biocombustíveis), agricultura e pecuária e construção. Alguns grupos desenvolvem estudos com

aplicações práticas, enquanto outros focaram em aspectos conceituais relacionados à gestão ambiental e ao desenvolvimento sustentável.

O estudo de Palma-Rojas, Caldeira-Pires e Nogueira (2017) explora a abordagem híbrida integrada de ACV como uma ferramenta para explicar os impactos econômicos do etanol derivado do bagaço. Esse tipo de avaliação foi usado para relatar os impactos associados e uma análise do caminho estrutural é utilizada para identificar, quantificar e classificar as maiores emissões de carbono, uso de energia e caminhos de entrada de geração de emprego na cadeia de abastecimento de etanol derivado do bagaço. Do ponto de vista econômico, o comércio e os serviços, a fase industrial e agrícola do etanol geram o maior número de empregos nesse ciclo de vida do etanol derivado do bagaço. Concluem que a ACV híbrida integrada foi utilizada como ferramenta analítica capaz de avaliar o desempenho de sustentabilidade do produto, com base no fato de seu arcabouço matemático, permitiu a incorporação de coeficientes econômicos e ambientais em uma única matriz de intervenção utilizando uma base de dados combinada.

A produção de butanol pela rota sucroquímica (fermentação do caldo de cana) foi avaliada por Pereira et al. (2015) considerando diferentes arranjos para a integração de processos em biorrefinarias de cana-de-açúcar: produção de butanol de primeira e segunda geração utilizando fermentação de acetona-butanol-etanol (ABE) com microrganismos silvestres e geneticamente modificados.

Os pesquisadores Pereira et al. (2015) investigaram toda a cadeia produtiva de cana-de-açúcar, desde a etapa agrícola, passando pelo transporte da cana-de-açúcar e vinhaça, até o processo industrial e utilização final do butanol quando aplicável. Os inventários de ciclo de vida e balanços de massa e energia para a etapa industrial foram obtidos a partir de simulação computacional de processos obtidos na literatura. A produção de butanol a partir de pentoses de bagaço e palha utilizando microrganismos geneticamente modificados apresentaram o melhor desempenho ambiental entre os cenários tecnológicos investigados. A comparação com a rota de produção à base de petróleo e a utilização como combustível líquido para veículos evidenciou vantagens ambientais para o butanol de base biológica em termos de impactos ambientais globais, tais como: destruição abiótica, aquecimento global, e potenciais de destruição da camada de ozônio.

A TABELA 2 apresenta a sistematização das 9 publicações eleitas para a revisão.

TABELA 2. Sistematização das 9 publicações eleitas para a revisão, integrando: título da publicação, objetivo, principal conclusão, periódico, país, instituição brasileira, unidade da federação, referência, alinhamento aos ODS da Agenda 2030.

Título	Objetivo	Principal conclusão	Periódico	Países	Instituição brasileira	UF	Referência	ODS
<i>Unpacking bio-based alternatives to ethylene production in Brazil, Europe, and the United States: A comparative life cycle assessment</i>	Desenvolver uma avaliação do ciclo de vida da produção de bioetileno do início ao fim, explorando 33 caminhos no Brasil, na UE e nos EUA.	O estudo sublinha que a produção de biomateriais como estratégia de mitigação climática deve estar a par das medidas de economia circular e dos ecossistemas florestais nativos.	Journal of Cleaner Production	Brasil Holanda Emirados Árabes Unidos Portugal	Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)	RJ	Zanon-Zotin et al. (2023)	nº 14
<i>Social life cycle assessment of feedstocks for biodiesel production in Brazil</i>	Realizar um levantamento de dados sociais relacionados à produção de matérias-primas utilizadas para produção de biodiesel no Brasil na literatura científica recente; e classificar os dados para identificar os impactos e lacunas de conhecimento mais relevantes.	Apesar das atuais políticas em vigor, as desigualdades sociais permanecem nas populações envolvidas na produção de biodiesel. Os resultados também sugerem a necessidade de ter em conta o ciclo de vida social ao avaliar a sustentabilidade global de uma política nacional de	Renewable and Sustainable Energy Reviews	Brasil	Universidade de Santa Catarina (UFSC)	SC	Costa e Oliveira (2022)	

Título	Objetivo	Principal conclusão	Periódico	Países	Instituição brasileira	UF	Referência	ODS
<i>Fuel-cell technologies for private vehicles in Brazil: Environmental mirage or prospective romance? A comparative life cycle assessment of PEMFC and SOFC light-duty vehicles</i>	O objetivo deste estudo foi quantificar os impactos ambientais de veículos com células de combustível de eletrólito polimérico quando o hidrogênio é produzido nas condições brasileiras para um cenário atual e um cenário de 2030.	biocombustíveis.	Science of the Total Environment	Brasil	Universidade de Campinas (Unicamp)	SP	Vargas e Seabra (2021)	nº 11, 13
<i>Comparative life cycle assessment of first- and second-generation ethanol from sugarcane in Brazil</i>	Analisar diferentes opções tecnológicas de produção de etanol investigadas e quantificadas olhando para potenciais impactos ambientais.	A utilização do bagaço e da palha para a produção de etanol permite tanto a redução de diversos impactos ambientais quanto do uso do solo, principalmente, porque são evitados os impactos causados pelo cultivo da cana-de-açúcar. Para o cenário integrado de etanol de primeira e segunda geração, é importante reduzir ainda mais a demanda total de energia, a fim de	The International Journal of Life Cycle Assessment	Alemanha Portugal	N/A	N/A	Maga et al. (2019)	nº 7, 12

Título	Objetivo	Principal conclusão	Periódico	Países	Instituição brasileira	UF	Referência	ODS
		alcançar a autossuficiência energética da planta e evitar emissões adicionais provenientes da queima de combustíveis fósseis.						
<i>Comparative environmental life cycle assessment of conventional vehicles with different fuel options, plug-in hybrid and electric vehicles for a sustainable transportation system in Brazil</i>	Avaliar e comparar os impactos ambientais dos veículos no contexto brasileiro.	O governo brasileiro deveria aumentar seus investimentos e desenvolver o uso de veículos elétricos, uma vez que a matriz elétrica do país é renovável, bem como incentivar ainda mais o uso do etanol, uma vez que gera menos impactos ambientais que a gasolina.	Journal of cleaner production	Brasil	Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)	MG	Souza et al. (2018)	nº 11, 13
<i>Life cycle assessment of biodiesel production from beef tallow in Brazil</i>	Avaliar e abordar os impactos ambientais do biodiesel de sebo bovino, e sua importância para a avaliação de impacto do ciclo de vida.	As emissões de metano, principalmente devido à fermentação entérica do gado, e aos processos de energia térmica nas unidades	The International Journal of Life Cycle Assessment	Brasil	Universidade de Brasília (UnB) Petrobras	DF RJ	Sousa et al. (2017)	

Título	Objetivo	Principal conclusão	Periódico	Países	Instituição brasileira	UF	Referência	ODS
		industriais foram as principais fontes de impactos ambientais do potencial de aquecimento global, potencial de acidificação e potencial de eutrofização. Por outro lado, os indicadores de pegada hídrica foram associados à alta proporção da energia total derivada de hidrelétricas no Brasil.						
<i>Life cycle assessment research in Brazil: characteristics, interdisciplinarity, and applications</i>	Apresentar um panorama dos grupos de pesquisa em avaliação de ciclo de vida (ACV) no Brasil para (i) caracterizar esses grupos, incluindo sua constituição, distribuição geográfica e natureza das instituições às quais estão vinculados; (ii) classificar os grupos de acordo com as áreas do	O número de grupos de pesquisa relacionados à ACV tem crescido no Brasil. Esse crescimento é importante, principalmente para um país como o Brasil, que possui dimensões continentais e uma série de especificidades regionais. Contudo, ainda há um vasto campo de estudo a	The International Journal of Life Cycle Assessment	Brasil	Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ) Petrobras	RJ	Souza, Barbastefano e Teixeira (2017)	

Título	Objetivo	Principal conclusão	Periódico	Países	Instituição brasileira	UF	Referência	ODS
	conhecimento e identificar a interdisciplinaridade existente entre as linhas de pesquisa; (iii) identificar relações colaborativas entre os grupos; e (iv) determinar os principais focos de interesse e aplicabilidade dos estudos e atividades desenvolvidas.	ser explorado, e este método de avaliação precisa ser amplamente divulgado em algumas regiões do país.						
<i>Environmental and economic hybrid life cycle assessment of bagasse-derived ethanol produced in Brazil</i>	Identificar quais processos contribuem mais para as emissões de CO ₂ , o uso de energia e a geração de empregos ao adotar um modelo típico de veículo flex combustível brasileiro com etanol derivado do bagaço.	Os resultados ilustram a importância de uma visão completa do ciclo de vida para avaliar a sustentabilidade de um biocombustível. A produção de biomassa agrícola é identificada como relevante em todas as categorias de impacto ambiental e econômico avaliadas no estudo.	The International Journal of Life Cycle Assessment	Brasil	Universidade de Brasília (UnB)	DF	Palma-Rojas, Caldeira-Pires e Nogueira (2017)	nº 7, 12
<i>Life cycle assessment of butanol production in</i>	Avaliar a produção de butanol pela rota sucroquímica	A introdução do butanol e do subproduto	Journal of Cleaner Production	Brasil	Centro Nacional de Pesquisa em	SP	Pereira et al. (2015)	nº 7, 12

Título	Objetivo	Principal conclusão	Periódico	Países	Instituição brasileira	UF	Referência	ODS
<i>sugarcane biorefineries in Brazil</i>	(fermentação do caldo de cana) considerando arranjos para a integração de processos em biorrefinarias de cana-de-açúcar.	acetona no portfólio de produtos das biorrefinarias levou ao aumento das receitas em comparação com os cenários base, o que pode, em última análise, ajudar a mitigar os impactos ambientais da biorrefinaria em termos monetários.			Energia e Materiais (CNPq)			

FONTE: Dados da pesquisa.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o propósito de caracterizar o status do uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de biocombustíveis no contexto da transição energética, a revisão encontrou abordagens de avaliação do ciclo de vida, avaliação do ciclo de vida social, e avaliação do ciclo de vida híbrida integrada associadas a contextos de biocombustíveis (bioetileno, bioenergia, bioediesel, bioetanol, cadeia produtiva e biorrefinarias de cana-de-açúcar) pautados em políticas públicas.

Os estados de Santa Catarina, Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais e Distrito Federal são representativos nos resultados de projetos de pesquisa, com alinhamentos aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial, nº 7, 11, 12, 13, 14 (energia limpa e acessível; cidades e comunidades sustentáveis; consumo e produção responsáveis; ação contra a mudança global do clima; vida na água, respectivamente).

Como limitação da pesquisa, pode ser citada a priorização de pesquisa em uma única plataforma indexada. Assim, sugere-se que a metodologia possa ser utilizada em outras plataformas de pesquisa, a exemplo: ScienceDirect, Scopus, Scielo.

Por sugestão de pesquisa futura, pode ser oportuna a categorização de avaliação do ciclo de vida, avaliação do ciclo de vida social, e avaliação do ciclo de vida híbrida integrada, elencando as principais metodologias, parâmetros e conceitos com abordagens de biocombustíveis.

Segundo Ramos et al. (2024), em relatório datado do mês de maio, o RenovaCalc, ferramenta de cálculo vinculado ao RenovaBio, apresenta estrutura que abrange campos de preenchimento para as diversas etapas de produção do etanol, biodiesel, biometano e bioquerosene de aviação, na lógica da Avaliação do Ciclo de Vida de produtos derivados das culturas de cana-de-açúcar e milho.

Logo, a transição energética traz consigo a busca pela segurança energética, implicando mudanças comportamentais e regulamentares que visam reduzir os impactos ambientais em meio às mudanças climáticas. Esse processo envolve a adoção de fontes de energia naturais e renováveis, bem como de tecnologias mais limpas e eficientes associadas aos biocombustíveis.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I. M. de. **Contribuições da economia circular para o processo de produção do couro bovino**. Tese, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Estadual Paulista, UNESP, Campus Bauru, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/1f80189d-f398-4395-96f6-220ae1937c13>

ALVARENGA, J. F. **Avaliação dos impactos ambientais devido à implantação de um projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo de troca de combustível**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/234872>

ARZABE, C.; COSTA, J. R.; LOPES, D. B.; NALÉRIO, É. S. (et al.). **Contribuições da Embrapa para os 5 Ps: pessoas, prosperidade, planeta, parceria e paz**. Capítulo 2. In: HAMMES, V. S.; LOPES, D. B.; SANTOS, A. C. C. dos; COSTA, J. R.; OLIVEIRA, Y. M. M. de (Ed. técn.)). Pesquisa e inovação agropecuária na Agenda 2030 – Contribuições da Embrapa e Parceiros. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 18. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1090722/1/ODS18.pdf>

BODUNRIN, M. O.; BURMAN, N. W.; CROFT, J.; ENGELBRECHT, S.; GOGA, T.; LADENIKA, A. O.; MacGREGOR, O. S.; MAEPA, M.; HARDING, K. G. The availability of life-cycle assessment, water footprinting, and carbon footprinting studies in Brazil. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 23, p. 1701-1707, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-018-1484-2>

BRASIL, Ministério da Agricultura e Pecuária. **Histórico**. 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/plano-abc/historico>

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 39, de 31 de maio de 2006** e Regimento Interno Portaria nº 530, de 12 de Junho de 2008. Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Oleaginosas e Biodiesel. Disponível em:

<https://www.comexresponde.gov.br/portalmDIC/sitio/interna/interna.php?area=1&menu=989>

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Sobre o Programa Nacional de Produção e uso do Biodiesel – PNPB**. Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2020. Disponível em:

<https://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/acoes-e-programas/programas/biodiesel/sobre-o-pnpb>

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **RenovaBio**. 2017. Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/acoes-e-programas/programas/renovabio>

CARNEIRO, M. L. N. M.; PRADELLE, F.; BRAGA, S. L.; GOMES, M. S.; MARTINS, A. R. F. A.; TURKOVICS, F.; PRADELLE, R. N. C. Potential of biofuels from algae: Comparison with fossil fuels, ethanol and biodiesel in Europe and Brazil through life cycle assessment (LCA). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 73, p. 632-653, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117301612>

CASTRO, N. A. M. de. **Biocombustíveis no Brasil: regulação e políticas públicas para mitigação de gases de efeito estufa**. Dissertação, Programa de Pós-graduação em Agronegócio, Escola de Economia, Fundação Getúlio Vargas – FGV, São Paulo, SP, 2023. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/items/98cd87da-5f20-4cda-8458-99bb15696a65>

CHELALA, C.; CHELALA, C. Agronegócio e mudanças climáticas: reflexões sobre os conflitos brasileiros. **Geosul**, Florianópolis, v. 38, n. 87, p. 189-214, mai./ago. 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/download/81416/53548/362391>

COSTA, B. P. da; BORGES, M. dos R. S.; TEIXEIRA, L. A.; LUZ, S. M. da. Life Cycle Inventory of biogas for electricity generation: a case study in a dairy farm. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 114359-114370, 2021. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/80718943/pdf-libre.pdf?1644755159=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DInventario_do_ciclo_de_vida_de_biogas_pa.pdf&Expires=1705603317&Signature=bDGZe6V832uXdl~GjArR8VPwlsksOo5lpf69W5O3~RkH3gXVvOwxuOfnyWqKxdF0-9LZXkXAJ9MjDqsZuJKNB8C18kn1fMLNFoJYLHm1frWbN0-MOGsXDoOwXLRn74QWsRcvQaxdVc~lgQnlqfJ8Eiix3Om462qis6hJo96C2bcz9EKC-eOBAF6-DZi4LQvjy7DNi-cOcWSV5WCk9N7YAXR3aFsnZRE7-SkXooAJb1ScSuwTIAkFm~qN1LHFwjTpLMeARCJR9LNreF3mUKgDu76HdPuFsg5aWASwZXibxNuKDDMIDUcfthkpZpYdBRVZWwX60cpf7704asMRbDIQfA_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

COSTA, M. W.; OLIVEIRA, A. A. M. Social life cycle assessment of feedstocks for biodiesel production in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 159, p. 112166, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032122000934>

CRUZ, P. P. da C. **Avaliação do ciclo de vida e ecoeficiência para a promoção de desenvolvimento estratégico sustentável na indústria: uma revisão sistemática da literatura**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química), Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/33674>

DAL MOLIN, N. **Avaliação da atividade vitivinícola na Serra Gaúcha com vistas à elaboração de inventários do ciclo de vida da cadeia produtiva**. Dissertação, Mestrado Profissional em Engenharia e Ciências Ambientais, Universidade de Caxias do Sul, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/9140>

DENNY, D. **Etanol a energia renovável para mover o desenvolvimento sustentável global.** 2021. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3810948

DINATO, R. M. **Sistematização dos métodos de contabilização de emissões de gases de efeito estufa sob a ótica do ciclo de vida.** 2022. Dissertação, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade de São Paulo - USP. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-22102014-120953/en.php>

FENNER, A. L. D.; ALMEIDA, V. E. S. de; FRIEDRICH, K.; MILHOMEM, A. P. A. S. Territórios Saudáveis e Sustentáveis (TSS) no Distrito Federal: agroecologia e impacto dos agrotóxicos. **Saúde em Debate**, v. 46, p. 249-261, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sdeb/a/b3YJZrWDQ8nbRywbKpDTKkF/?format=html&lang=pt#>

FERREIRA, S. F. **Análise técnico e ambiental da digestão anaeróbia de resíduos orgânicos.** Tese, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1162237>

FIGUEIREDO, E. de A.; NASCIMENTO, L. F. C. Resíduos sólidos e a responsabilidade ambiental Solid waste and environmental responsibility. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 114642-114659, 2021. Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/knnvcdq2nnfqzoem5wbpz7msou/access/wayback/https://brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/download/40994/pdf>

FRANÇA, F. C. **Avaliação econômica de uma usina de biodiesel sob a égide do programa RenovaBio: estudo de caso focado na substituição de óleo de soja por sebo bovino.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo – USP, 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106133/tde-12122023-232654/en.php>

GONDIM, R. S.; FIGUEIRÊDO, M. C. B. de; MAIA, A. de H. N.; BEZERRA, M. A.; CARVALHO, C. A. C. de. **Mudanças climáticas e agricultura**. Capítulo 1, 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/165085/1/CLV17010.pdf>

GUEDES, J. M.; SANTOS, A. G. D.; SANTOS, H. S. dos. Uso da biomassa como fonte energética para produção de biocombustíveis. **Ambiente: Gestão e Desenvolvimento**, Dossiê: I Simpósio de Meio Ambiente e Energia (SiMAE), 2021. Disponível em: <https://periodicos.uerr.edu.br/index.php/ambiente/article/view/947>

IBICT, Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. **O que é Avaliação do Ciclo de Vida**. 2021. Disponível em: <https://acv.ibict.br/acv/o-que-e-o-acv/>

KANEKO, J. A. **Desempenho ambiental da cana-de-açúcar utilizando a avaliação do ciclo de vida**. Dissertação, Programa de Pós-graduação em Agronomia (Campus de Chapadão do Sul), Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/4742>

LEME FILHO, J. R. A. **Contribuição da cana-de-açúcar para segurança energética e mitigação da mudança climática**. Agronergia, produção vegetal, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/77781668/artigo---contribuicao-da-cana-de-acucar-para-seguranca-energetica-e-mitigacao-da-mudanca-climatica>

MAGA, D. et al. Comparative life cycle assessment of first-and second-generation ethanol from sugarcane in Brazil. The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 24, p. 266-280, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-018-1505-1>

MEDEIROS, P. A. de P. **ESG e agronegócio brasileiro: relação nas cadeias de produção agrícola, competitividade e impactos de instabilidades**

econômico-políticas mundiais. I Curso de Pós-Graduação em Análise Económica do Direito, 2022. Disponível em: https://www.cidp.pt/revistas/rjlb/2023/3/2023_03_0239_0274.pdf

MORANDI, A. B. M.; FOLEGATTI, M. I. S.; PIGHINELLI, A. L. M. T.; SILVA, G. B. S. da; RAMOS, N. P.; NOVAES, R. M. L.; BONOMI, A. M.; CHAGAS, M. F.; CAVALETT, O.; SEABRA, J. E. A.; MOREIRA, M. M. R. **RenovaBio: inovação para a sustentabilidade.** Grupo Técnico RENOVABIO, GT-ACV, AgroANALYSIS, v. 40, n. 1, p. 31-32, 2020. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/agroanalysis/article/view/86235>

MOREIRA, J. R. C. **A sustentabilidade ambiental da produção de biodiesel no Brasil—uma revisão de estudos de avaliação de ciclo de vida.** Trabalho de conclusão de graduação, Graduação em Engenharia Química, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 2021. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/16469>

MORETTI, C. L. **Agricultura de baixa emissão de carbono: um ativo brasileiro.** Presidente da Embrapa, Comissão de Relações Exteriores e Defesa Nacional, Senado Federal, 2021.

MORETTI, C. L.; FERREIRA, T. T. A agricultura de baixo carbono no Brasil. **AgroANALYSIS**, v. 41, n. 4, p. 23-24, 2021.

MUSSE NETO, G. J. **Análise do ciclo de vida de acrilonitrila produzida a partir de glicerol.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPEQ), Universidade Federal da Bahia – UFBA, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/38574>

NASTARI, P. M. Biocombustíveis podem contribuir mais para a segurança energética. Mercado e Negócios. **AgroANALYSIS**, v. 43, n. 1, p. 16-17, 2023.

Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/agroanalysis/article/download/89418/83938>

OWEN, J. A.; OSMANOVIĆ, D.; MIRNY, L. Design principles of 3D epigenetic memory systems. **Science**, v. 382, n. 6672, p. eadg3053, 2023. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.adg3053?af=R>

PAGE, M. J.; MCKENZIE, J. E.; BOSSUYT, P. M.; BOUTRON, I.; HOFFMANN, T. C.; MULROW, C. D. et al. **Declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas**. Rev Panam Salud Publica. 2022. Disponível em: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/56882>

PEIXOTO, N. E. S.; PEREIRA-FILHO, M. M.; FARIAS, J. S. Panorama da produção empírica internacional de inovação em serviços públicos entre 2008 e 2020: uma revisão sistemática de literatura. Revista eletrônica de negócios internacionais, **Internext**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 56-74, 2021. Disponível em: <https://internext.espm.br/internext/article/view/596/pdf>

PALMA-ROJAS, S.; CALDEIRA-PIRES, A.; NOGUEIRA, J. M. Environmental and economic hybrid life cycle assessment of bagasse-derived ethanol produced in Brazil. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, p. 317-327, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-015-0892-9>

PEREIRA, K. S.; HAYASHI, J. H.; COLARES-SANTOS, L.; ENDO, G. Y.; RODRIGUES, V. C. Sustentabilidade ambiental no agronegócio: uma revisão sistemática de literatura. **Revista da Faculdade de Administração e Economia - ReFAE**, v. 12, n. 2, p. 151-164, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufms.br/index.php/EIGEDIN/article/view/16976>

PEREIRA, L. G. et al. Life cycle assessment of butanol production in sugarcane biorefineries in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 557-568, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614000729>

PEREIRA, S. L. da S. **Uso da RenovaCalc para avaliação da intensidade de carbono na produção de QAV-alternativo HEFA considerando diversas rotas de obtenção de hidrogênio**. Trabalho de conclusão de graduação,

Engenharia de Bioprocessos, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 2021. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/15814>

PIGHINELLI, A. L. M. T.; RAMOS, N. P.; MORANDI, M. A. B.; FOLEGATTI, M. L. da S. **Avaliação do impacto do mix de óleos vegetais e gordura animal na nota de eficiência energético ambiental do biodiesel no âmbito da Política Nacional de Biocombustíveis-RenovaBio**. 9th International Conference on Life Cycle Assessment in Latin America, 2021. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/229807/1/Pighinelli-Avaliacao-impacto-2021.pdf>

PINTO, A. da S. L. **Análise da intensidade de carbono dos biocombustíveis no Brasil**. Dissertação, Programa de Pós-graduação em Agronegócios, Escola de Economia da Fundação Getulio Vargas – FGV, São Paulo, SP, 2023. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/items/89c9d649-d827-4a62-aed0-2409d9cb28bc>

OLIVEIRA, A. C. de J.; SILVA, J. C. S.; LEAL, T. L. C.; LINS, I. O.; ALMEIDA NETO, J. A.; RODRIGUES, L. B. **Avaliação do ciclo de vida de produtos derivados de umbu**. Anais do VII Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida: volume 1, UFRGS, Gramado, RS, 2020, p. 134. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fernando-Lermen/publication/348607043_Avaliacao_do_desempenho_ambiental_de_sistema_de_isolamento_termico_externo_tipo EIFS_em_fachada_de_edificacao_em_Light_Steel_Frame/links/6007357745851553a058277f/Avaliacao-do-desempenho-ambiental-de-sistema-de-isolamento-termico-externo-tipo-EIFS-em-fachada-de-edificacao-em-Light-Steel-Frame.pdf#page=134

OLIVETO, F. A. O Ibict na Agenda 2030: o conhecimento como forma de inclusão. **Inclusão Social**, v. 13, n. 1, 2020. Disponível em: <https://revista.ibict.br/inclusao/article/view/5073>

RAMOS, N. P.; MENDES, N. C.; FOLEGATTI, M. I. da S.; BAYMA, G.; NOVAES, R. M. L.; MORANDI, M. A. B.; PIGHINELLI, A. L. M. T.; SAVIOLI, J. P. P.

das D.; BUFFON, V. B. **Regionalização dos perfis “típicos” da produção de cana-de-açúcar para uso no Renovabio**. Relatório final de trabalho. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, maio de 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/arq/arquivos-estudos-relatorio-e-seminarios/relatoriofinalcanadeacucar.pdf>

REDAÇÃO-AGROANALYSIS, Equipe. **COP-26 e as metas do plano ABC+**. AgroANALYSIS, v. 42, n. 1, p. 45-45, 2022. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/agroanalysis/article/download/86893/81709>

ROQUE, L. F. de A. **Modelagem e análise do ciclo de vida da produção e comercialização de diesel verde (HVO) e sua aplicação no modo dual-fuel com etanol em motores de ignição por compressão**. Dissertação, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/3172>

SANTOS, C. F. de P. **Eficiência energética-ecológica considerando análise de ciclo de vida em sistemas de geração de energia renováveis e não-renováveis**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/5ac46815-a2b3-4341-a0d8-6061be4f9348>

SANTOS, C. F. R. dos. **O estado da arte da avaliação do ciclo de vida no Brasil entre os anos 1990 e 2018**. 2020. Dissertação, Mestrado Profissional em Engenharia e Ciências Ambientais, Universidade de Caxias do Sul, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/5906>

SOUSA, V. M. Z. et al. Life cycle assessment of biodiesel production from beef tallow in Brazil. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, p. 1837-1850, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-017-1396-6>

SOUZA, C. G.; BARBASTEFANO, R. G.; TEIXEIRA, R. C. Life cycle assessment research in Brazil: characteristics, interdisciplinarity, and applications.

The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 22, p. 266-276, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-016-1150-5>

SOUZA, L. L. P. et al. Comparative environmental life cycle assessment of conventional vehicles with different fuel options, plug-in hybrid and electric vehicles for a sustainable transportation system in Brazil. **Journal of cleaner production**, v. 203, p. 444-468, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261832585X>

UFPR, Universidade Federal do Paraná. **MBA Gestão Estratégica em Energias Renováveis e Biocombustíveis**. Data de início: 01/05/2018. Projeto Pedagógico do Curso, aprovado pelo Parecer do Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão - CEPE nº 10/2018. Sistema e-MEC. Curitiba, PR. Disponível em: https://ufpr.pecca.com.br/mba-energias-renovaveis/?http://ufpr.pecca.com.br/&gclid=Cj0KCQiA2KitBhCIARIsAPPMEhK5soPtECqh8cA0SXwh-GKRlrEGRzPSHRV4FDIGwzlle1HsPAYXPMkaAuuMEALw_wcB

VARGAS, J. E. V.; SEABRA, J. E. A. Fuel-cell technologies for private vehicles in Brazil: Environmental mirage or prospective romance? A comparative life cycle assessment of PEMFC and SOFC light-duty vehicles. **Science of the Total Environment**, v. 798, p. 149265, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721043382>

ZANON-ZOTIN, M. et al. Unpacking bio-based alternatives to ethylene production in Brazil, Europe, and the United States: A comparative life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 428, p. 139376, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652623035345>