Inovação Tecnológica e Sustentabilidade na Agricultura: Contribuições para o Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade da PUC-Campinas

Technological Innovation and Sustainability in Agriculture: Contributions to the Graduate Program in Sustainability at PUC-Campinas

Vinícius Eduardo Ferrari

https://doi.org/10.37497/alumni.inbooks.4.c41

1 INTRODUÇÃO

O pesquisador ingressou no Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade da PUC-Campinas em agosto de 2019. Desde então, o autor tem desenvolvido atividades de pesquisa, orientação de dissertações de mestrado e supervisão de projetos de iniciação científica voltadas à construção de indicadores capazes de mensurar os esforços de pesquisa associados ao desenvolvimento e ao patenteamento de tecnologias sustentáveis.

As investigações realizadas se concentram na interface entre inovação tecnológica e sustentabilidade, abrangendo setores como agricultura - com ênfase na indústria de sementes -, bioenergia e tratamento de recursos hídricos. A partir desses estudos, as pesquisas conduzidas individualmente e em conjunto com os orientandos têm analisado estratégias empresariais, investimentos em tecnolo-

1 INTRODUCTION

The researcher joined the Graduate Program in Sustainability (PPGS) at PUC-Campinas in August 2019. Since then, the author has conducted research and supervised master's theses and undergraduate research projects aimed at developing indicators to measure research efforts associated with the development and patenting of sustainable technologies.

The research conducted focuses on the interface between technological innovation and sustainability, spanning sectors such as agriculture, with an emphasis on the seed industry, as well as bioenergy and water resource treatment. Based on these studies, research carried out both individually and in collaboration with students under his supervision has analyzed corporate strategies, investments in

gia e inovação e políticas públicas, tratados como elementos interdependentes para a promoção da segurança alimentar e hídrica em escala global.

Este capítulo apresenta os projetos institucionais desenvolvidos no âmbito do Mestrado em Sustentabilidade, cujos resultados são discutidos a partir de duas dimensões principais: (i) a produção científica em periódicos de impacto; e (ii) as contribuições para a formação de recursos humanos nos níveis de graduação e pós-graduação. Ademais, nas considerações finais, são apresentadas linhas de pesquisa complementares, especialmente aquelas voltadas à análise setorial da sustentabilidade corporativa e aos estudos de custo-efetividade na área da saúde, desenvolvidas em parceria com outros docentes do Mestrado em Sustentabilidade da PUC-Campinas e com pesquisadores da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

1.1 Projeto - Desenvolvimento agrícola sustentável e segurança alimentar: um mapeamento dos esforços de pesquisa mobilizados no desenvolvimento de sementes tolerantes a secas

O aquecimento global e os fenômenos meteorológicos extremos a ele associados tendem a reduzir a disponibilidade de água e a intensificar o risco de crises alimentares. Essas pressões ambientais tornam o desenvolvimento de novos cultivares agrícolas tolerantes ao estresse hídrico um elemento essencial para a garantia da segurança alimentar mundial.

Sob essa perspectiva, o objetivo central deste projeto consistiu em desenvolver indicadores capazes de qualificar e quantificar os esforços de inovação mobi-

technology and innovation, and public policies, treating them as interdependent elements for promoting global food and water security.

This chapter presents institutional projects developed within the PPGS, the results of which are discussed based on two main dimensions: (i) scientific output in high-impact journals; and (ii) contributions to student education and research training at both undergraduate and graduate levels. Furthermore, the concluding remarks present complementary research lines, particularly those focused on sectoral analyses of corporate sustainability and cost-effectiveness studies in healthcare, developed in partnership with other faculty members from the PPGS and researchers from the School of Medical Sciences at the State University of Campinas (Unicamp).

1.1 Project - Sustainable Agricultural Development and Food Security: Mapping Research Efforts Directed toward the Development of Drought-Tolerant Seeds

Global warming and the associated extreme weather events tend to reduce water availability and intensify the risk of food crises. These environmental pressures make the development of new agricultural cultivars with greater tolerance to water stress essential for ensuring global food security.

From this perspective, the central objective of this project was to develop indicators capable of characterizing and quantifying the innovation

lizados pela indústria de sementes no desenvolvimento de cultivares com menor dependência hídrica. Para atingir esse objetivo, a metodologia adotada se baseou na construção de redes de citação compostas por patentes que reivindicam tecnologias associadas a organismos geneticamente modificados (OGM). O projeto buscou identificar patentes com maior relevância tecnológica por meio da aplicação de indicadores de rede, especialmente o grau de entrada (*in-degree*) e o *Search Path Link Count* (SPLC).

Adicionalmente, o autor utilizou algoritmos de análise de redes com o objetivo de identificar as principais trajetórias tecnológicas associadas ao desenvolvimento de sementes geneticamente modificadas. Essa abordagem permitiu mapear a dinâmica evolutiva das tecnologias e compreender os padrões de difusão do conhecimento tecnológico na indústria global de sementes.

O principal resultado científico derivado deste projeto foi a publicação do artigo "*Patent network analysis in agriculture: a case study of the development and protection of biotechnologies*" (Ferrari, Silveira, & Dal Poz, 2021), publicado no periódico Economics of Innovation and New Technology. Este estudo validou a metodologia proposta no projeto. A partir da construção de um banco de dados com 7.234 patentes biotecnológicas, foi aplicado um método de prospecção capaz de reconstruir as principais trajetórias tecnológicas da indústria de sementes, reduzindo a interferência subjetiva do pesquisador no processo analítico.

Os resultados obtidos permitiram analisar o processo de difusão dos organismos geneticamente modificados (OGM) ao longo das décadas de 2000 e 2010. O estudo evidenciou que as condições de

efforts undertaken by the seed industry to develop cultivars with reduced water dependency. To achieve this objective, the adopted methodology was based on constructing citation networks composed of patents claiming technologies associated with genetically modified organisms (GMOs). The project sought to identify patents of greater technological relevance by applying network indicators, specifically in-degree and Search Path Link Count (SPLC).

Additionally, the author employed network analysis algorithms to identify the key technological trajectories associated with the development of genetically modified seeds. This approach enabled mapping the evolutionary dynamics of technologies and understanding patterns of technological knowledge diffusion within the global seed industry.

The primary scientific outcome of this project was the publication of the article "Patent network analysis in agriculture: a case study of the development and protection of biotechnologies" (Ferrari, Silveira, & Dal Poz, 2021) in the journal Economics of Innovation and New Technology. This study validated the project's proposed methodology. By compiling a database of 7,234 biotechnology patents, the researchers applied a technology prospecting method that reconstructs the seed industry's key technological trajectories while minimizing researcher subjectivity.

The results enabled analysis of the diffusion of genetically modified organisms (GMOs) throughout the 2000s and 2010s. The study showed that the period's intellectual property condi-

propriedade intelectual vigentes nesse período contribuíram para concentrar os esforços de pesquisa e desenvolvimento em dois atributos agronômicos principais: tolerância a herbicidas e resistência a insetos. Adicionalmente, observou-se que a priorização, por parte dos agricultores, de soluções com retorno econômico imediato contribuiu para reduzir o incentivo ao desenvolvimento de outras linhas tecnológicas, como as sementes geneticamente modificadas tolerantes à seca.

Além das contribuições científicas, o projeto também desempenhou papel relevante na formação de recursos humanos. No âmbito desta iniciativa, foram orientados dois projetos de iniciação científica. O primeiro foi desenvolvido em parceria com a bolsista FAPIC/PUC-Campinas Marina N. H. Pacheco, resultando na publicação do artigo "Propriedade intelectual e inovações tecnológicas na indústria de sementes: discussões sobre os conflitos judiciais entre a Monsanto e os agricultores brasileiros" (Ferrari & Pacheco, 2020), publicado na Revista de Estudos Sociais. O objetivo central desse estudo foi analisar as estratégias adotadas pela empresa Monsanto para assegurar o direito à cobrança de *royalties* no Brasil.

O segundo projeto de iniciação científica foi desenvolvido pela graduanda Maria Vitória F. Carrocini (bolsista FAPIC/PUC-Campinas), tendo como foco a análise dos desafios relacionados à segurança alimentar no continente africano, especialmente aqueles associados a choques nos preços de alimentos. Como resultado dessa investigação, foi publicado o artigo "*Food security and agricultural markets: an analysis of the impacts of food price shocks on sub-Saharan countries*" (Carrocini, Ferrari, & Oliveira, 2019) em periódico internacional.

tions contributed to concentrating research and development efforts on two main agronomic traits: herbicide tolerance and insect resistance. Additionally, it was observed that farmers' prioritization of solutions offering immediate economic returns reduced incentives to develop other technological lines, such as drought-tolerant genetically modified seeds.

Beyond its scientific contributions, the project also made an important contribution to student education and research training. Within this initiative, two undergraduate research projects were supervised. The first was conducted in partnership with FAPIC/PUC-Campinas scholarship recipient Marina N. H. Pacheco, resulting in the publication of the article "Intellectual property and technological innovations in the seed industry: discussions on legal disputes between Monsanto and Brazilian farmers" (Ferrari & Pacheco, 2020) in the Revista de Estudos Sociais. The study's primary objective was to analyze the strategies Monsanto adopted to secure its right to collect royalties in Brazil.

The second undergraduate research project, conducted by Maria Vitória F. Carrocini (a FAPIC/PUC-Campinas scholarship recipient), focused on analyzing challenges related to food security on the African continent, particularly those associated with food price shocks. As a result, the article "Food security and agricultural markets: an analysis of the impacts of food price shocks on sub-Saharan countries" (Carrocini, Ferrari, & Oliveira, 2019) was published in an international journal.

Cabe destacar que a então estudante Maria Vitória F. Carrocini atualmente integra o corpo docente da PUC-Campinas e que sua tese de doutorado, em desenvolvimento na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), dá continuidade à temática da segurança alimentar abordada originalmente no projeto de iniciação científica, evidenciando a continuidade científica associada às atividades desenvolvidas neste projeto.

1.2 Projeto - Conservação, tratamento e reutilização de recursos hídricos nas atividades agrícolas: uma análise baseada em redes de citação de patentes.

A água constitui um insumo essencial para a produção de alimentos, sendo a agricultura responsável por aproximadamente 70% do consumo global de recursos hídricos. Esse percentual tende a sofrer pressões significativas nas próximas décadas, tanto em decorrência das mudanças climáticas (que impactarão a disponibilidade hídrica) quanto da crescente competição entre setores econômicos pelo acesso a esse recurso estratégico.

Para evitar novas crises hídricas e alimentares, a agricultura moderna deverá reduzir sua dependência hídrica, recuperar fontes contaminadas por fertilizantes e pesticidas e, simultaneamente, assegurar a expansão sustentável da produção de alimentos. Diante desse triplo desafio, o objetivo central deste projeto consistiu em desenvolver indicadores capazes de mapear os esforços de pesquisa mobilizados no desenvolvimento de tecnologias voltadas ao reaproveitamento de resíduos e à recuperação de recursos hídricos utilizados em atividades agrícolas.

It is worth noting that Maria Vitória F. Carrocini, who was a student at the time, is now a faculty member at PUC-Campinas, and her doctoral thesis, currently being developed at the State University of Campinas (Unicamp), builds upon the theme of food security originally addressed in the undergraduate research project, thereby highlighting the scientific continuity associated with the activities carried out in that project.

1.2 Project - Conservation, Treatment, and Reuse of Water Resources in Agricultural Activities: An Analysis Based on Patent Citation Networks

Water is an essential input for food production, accounting for approximately 70% of global water use. This share is likely to come under significant pressure in the coming decades, driven both by climate change, which will affect water availability, and by growing competition among economic sectors for access to this strategic resource.

To avoid future water and food crises, modern agriculture must reduce its reliance on water, restore water sources contaminated by fertilizers and pesticides, and simultaneously ensure the sustainable expansion of food production. Faced with this threefold challenge, this project aimed to develop indicators to map research efforts directed toward the development of technologies for waste reuse and the restoration of water resources used in agricultural activities.

A pesquisa utilizou métodos de análise de redes para identificar patentes relacionadas ao tratamento de microbacias contaminadas por defensivos químicos e à transformação de resíduos agrícolas em matérias-primas destinadas à produção de insumos industriais e geração de energia.

A principal publicação associada à temática deste projeto foi o capítulo *"Waste Biomaterials Innovation Markets*" (Dal Poz, Bueno, & Ferrari, 2022), integrante do livro *Handbook of Waste Biorefinery*, publicado pela editora Springer Nature. Trata-se de uma obra de referência internacional voltada ao estudo das biorrefinarias especializadas no reaproveitamento de resíduos industriais e agrícolas, área que apresentava significativa lacuna científica até a publicação desse livro.

Até o presente momento, o capítulo recebeu três citações na base *Scopus*. Em termos metodológicos, o estudo aplicou algoritmos de rede para identificar trajetórias tecnológicas em redes de citação de patentes. Essa abordagem possibilitou o mapeamento de inovações tecnológicas situadas na fronteira do conhecimento nos campos da bioenergia, do tratamento de resíduos e da gestão de recursos hídricos.

Em complemento a tais contribuições acadêmicas, este projeto também desempenhou papel relevante na formação de recursos humanos em nível de pós-graduação. O egresso Fernando Zanatta constituiu o primeiro aluno de mestrado sob minha orientação integral. Durante o desenvolvimento de sua dissertação, o estudante recebeu uma importante distinção honorífica. O mestrando publicou, em parceria com o orientador e com a professora Denise Helena Lombardo Ferreira, o trabalho "Indústria química brasileira e biodiversidade: desafios e oportunidades" (Zanatta, Ferrari, & Ferreira, 2020), que

The research used network analysis methods to identify patents related to treating micro-watersheds contaminated by chemical pesticides and transforming agricultural waste into raw materials for industrial inputs and energy generation.

The primary publication associated with the subject of this project was the chapter "Waste Biomaterials Innovation Markets" (Dal Poz, Bueno, & Ferrari, 2022), included in the Handbook of Waste Biorefinery published by Springer Nature. This internationally recognized reference work on biorefineries focused on valorizing industrial and agricultural waste addressed a significant scientific gap before the book's publication.

To date, the chapter has received three citations in Scopus. Methodologically, the study applied network algorithms to identify technological trajectories within patent citation networks. This approach enabled mapping technological innovations at the forefront of knowledge in bioenergy, waste treatment, and water resource management.

Beyond these academic contributions, this project also played a significant role in graduate student education and research training. Fernando Zanatta was the first master's student whose thesis was fully supervised by the author. During the development of his thesis, he received a notable honor: he co-authored, with his supervisor and Professor Denise Helena Lombardo Ferreira, the paper "Indústria química brasileira e biodiversidade: desafios e oportunidades" (Zanatta, Ferrari, & Ferreira, 2020), which won the award for best paper in the "Sus-

recebeu o prêmio de melhor trabalho no eixo temático "Sustentabilidade em suas múltiplas dimensões" durante o Congresso *II Sustentare e V WIPIS.*

Posteriormente, em 2024, uma versão ampliada desse estudo foi publicada em periódico nacional sob o título "*Challenges Faced by the Chemical Industry in Strengthening the Bioeconomy in Brazil*". O artigo discute os esforços de inovação da indústria química brasileira voltados ao desenvolvimento de novos insumos de base biológica e à formação de cadeias produtivas sustentáveis capazes de integrar diferentes setores econômicos, como bioenergia, indústria de transformação e agricultura.

1.3 Projeto - Uma análise sobre as condições de liberdade para operar do sistema CRISPR-Cas9 na agricultura.

O sistema CRISPR-Cas9 representa uma inovação disruptiva na indústria de sementes, ao oferecer um novo conjunto de técnicas de edição gênica aplicáveis ao melhoramento de plantas. Diversos estudos apontam que essas tecnologias possuem elevado potencial para acelerar o desenvolvimento de cultivares agrícolas. No entanto, a fragmentação dos direitos de propriedade intelectual associados aos diferentes componentes do sistema CRISPR-Cas9 tem gerado preocupações quanto à crescente complexidade dos contratos de licenciamento tecnológico.

A necessidade de pagamento de *royalties* a múltiplos detentores de patentes, frequentemente relacionadas a tecnologias complementares, amplia o risco de litígios e pode limitar o acesso a essas ferramentas biotecnológicas, reduzindo o ritmo de inovação no setor agrícola. Diante desse cenário, o objetivo central deste projeto

tainability in its multiple dimensions" thematic track at the II Sustentare and V WIPIS Congress.

In 2024, an expanded version of this study was published in a Brazilian journal under the title "Challenges Faced by the Chemical Industry in Strengthening the Bioeconomy in Brazil." The article discusses the Brazilian chemical industry's innovation efforts to develop new bio-based inputs and establish sustainable value chains that integrate various economic sectors, such as bioenergy, manufacturing, and agriculture.

1.3 Project - An Analysis of Freedom-to-Operate Conditions for the CRISPR-Cas9 System in Agriculture

The CRISPR-Cas9 system represents a disruptive innovation in the seed industry, offering new gene-editing techniques applicable to plant breeding. Various studies indicate that these technologies hold significant potential to accelerate the development of agricultural cultivars. However, the fragmentation of intellectual property rights across the different components of the CRISPR-Cas9 system has raised concerns about the growing complexity of technology licensing agreements.

The need to pay royalties to multiple patent holders, often for complementary technologies, increases litigation risk and may limit access to these biotechnological tools, slowing innovation in the agricultural sector. Against this backdrop, this project aimed to analyze freedom-to-operate (FTO) conditions associated with plant

consistiu em analisar as condições de liberdade para operar (*freedom to operate*) associadas às técnicas de edição gênica em plantas, com o intuito de subsidiar atividades de pesquisa e desenvolvimento conduzidas por organizações brasileiras interessadas na criação de cultivares com genoma editado.

Do ponto de vista metodológico, a pesquisa utilizou indicadores patentários para identificar as soluções tecnológicas mais relevantes associadas ao sistema CRISPR-Cas9, permitindo mapear as restrições impostas pelo regime de propriedade intelectual.

A principal publicação associada a este projeto foi o artigo "*Assessing environmental impact of genetically modified seeds in Brazilian agriculture*" (Seixas, Silveira, & Ferrari, 2022), publicado no periódico Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. O estudo analisou o status tecnológico de duas abordagens biotecnológicas aplicadas ao desenvolvimento de cultivares agrícolas: (i) técnicas de transgenia; e (ii) métodos de edição gênica baseados no sistema CRISPR-Cas9.

No que se refere à transgenia, já amplamente difundida em escala comercial, o artigo apresentou uma das primeiras estimativas empíricas dos impactos ambientais associados a diferentes tipos de sementes geneticamente modificadas cultivadas no Brasil. Para o período de 2009 a 2013, os resultados indicaram que sementes de algodão resistentes a insetos (*insect resistant* – IR) contribuíram para a redução de 22% no uso de inseticidas, resultando em uma diminuição de aproximadamente 20% no impacto ambiental em comparação com cultivares não transgênicos. Em contrapartida, no caso de sementes de soja tolerantes a herbicidas (*herbicide tolerant* – HT), observou-se um aumento de 55,8% na aplica-

gene-editing techniques to support research and development by Brazilian organizations interested in developing genome-edited cultivars.

Methodologically, the research used patent indicators to identify the most relevant technological solutions associated with the CRISPR-Cas9 system, enabling mapping of restrictions imposed by the intellectual property regime.

The primary publication resulting from this project was the article "Assessing environmental impact of genetically modified seeds in Brazilian agriculture" (Seixas, Silveira, & Ferrari, 2022), published in the journal Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. The study analyzed the technological status of two biotechnological approaches applied to the development of agricultural cultivars: (i) transgenesis techniques; and (ii) gene-editing methods based on the CRISPR-Cas9 system.

Regarding transgenic technology, which is already widely adopted on a commercial scale, the article presented one of the first empirical estimates of the environmental impacts associated with different types of genetically modified seeds cultivated in Brazil. For 2009-2013, results showed that insect-resistant (IR) cotton seeds contributed to a 22% reduction in insecticide use, resulting in an approximately 20% decrease in environmental impact compared with non-transgenic cultivars. In contrast, herbicide use in herbicide-tolerant (HT) soybean cultivation increased by 55.8%, resulting in a 44.4% increase in environmental impact relative to conventional varieties.

ção de herbicidas, o que implicou elevação de 44,4% no impacto ambiental em relação às variedades convencionais.

De forma complementar, Seixas, Silveira e Ferrari (2022) realizaram uma análise prospectiva das novas tecnologias voltadas ao desenvolvimento de cultivares tolerantes à seca, destacando o potencial das técnicas de edição gênica baseadas no CRISPR-Cas9 para superar limitações tecnológicas associadas à transgenia e ampliar a eficiência no uso de recursos hídricos.

O impacto internacional deste estudo decorre do fato de o artigo ter sido utilizado como referência em discussões relacionadas à formulação de políticas públicas em diferentes contextos institucionais. No âmbito da União Europeia, o trabalho foi citado no relatório sobre a regulação de plantas obtidas por técnicas de engenharia genética (European Commission et al., 2023, p. 48). Adicionalmente, o estudo foi referenciado em relatório da *World Intellectual Property Organization* (WIPO) sobre difusão tecnológica no setor agrícola (Falck-Zepeda, 2026, p. 54).

Além destas contribuições científicas, o projeto também teve impacto na formação discente. Nesse contexto, foi desenvolvido o plano de iniciação científica (IC) intitulado "Um estudo sobre as aplicações do sistema CRISPR-Cas9 na agricultura", em parceria com a graduanda em ciências econômicas Ana Clara Ruivo Constâncio. Este projeto de IC se destaca por ter sido o primeiro, no âmbito de minha atuação no Mestrado em Sustentabilidade, a obter financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), sob o processo nº 2022/08124-0.

Complementarily, Seixas, Silveira, and Ferrari (2022) conducted a prospective analysis of new technologies aimed at developing drought-tolerant cultivars, highlighting the potential of CRISPR-Cas9-based gene editing techniques to overcome technological limitations associated with transgenics and enhance water-use efficiency.

The international impact of this study stems from its use as a reference in discussions of public policy formulation across various institutional contexts. Within the European Union, the work was cited in a report on regulating plants obtained through genetic engineering techniques (European Commission et al., 2023, p. 48). Additionally, the study was referenced in a World Intellectual Property Organization (WIPO) report on technology diffusion in the agricultural sector (Falck-Zepeda, 2026, p. 54).

Beyond these scientific contributions, the project also contributed to student education and research training. In this context, an undergraduate research project titled "A study on the applications of the CRISPR-Cas9 system in agriculture" was developed in partnership with Ana Clara Ruivo Constâncio, an undergraduate Economics student. This undergraduate research project was the first conducted under the author's supervision within the PPGS to receive funding from the São Paulo Research Foundation (FAPESP), under grant number 2022/08124-0.

1.4 Um estudo sobre o desenvolvimento de cultivares tolerantes a secas e de novos métodos de controle de pragas resistentes a agroquímicos.

As mudanças climáticas têm provocado quebras de safra em diversas regiões do mundo, enquanto o aumento da temperatura global tem favorecido a proliferação de fungos capazes de causar perdas significativas na produção de alimentos. Nesse contexto, os insumos agrícolas que apresentaram maior sucesso comercial nas últimas décadas mostram-se insuficientes para enfrentar os novos desafios impostos à segurança alimentar global.

As sementes transgênicas atualmente disponíveis apresentam, em geral, baixa tolerância ao estresse hídrico. Paralelamente, o uso contínuo e intensivo de defensivos químicos tem contribuído para o surgimento de fungos resistentes a fungicidas e de ervas daninhas tolerantes a herbicidas, como o glifosato. Esse cenário evidencia limitações estruturais das tecnologias agrícolas existentes.

À luz dessas restrições, o objetivo central deste projeto consiste em mapear invenções recentes com potencial de ampliar a tolerância das sementes à seca, bem como de desenvolver novos métodos de controle de fungos e ervas daninhas resistentes a agroquímicos. Adicionalmente, o projeto busca qualificar o status regulatório dessas tecnologias no contexto brasileiro, contribuindo para a compreensão das condições institucionais que influenciam sua difusão.

A pesquisa emprega dados patentários e indicadores bibliométricos para identificar tecnologias de maior impacto potencial na resolução do triplo desafio

1.4 Project - A Study on the Development of Drought-Tolerant Cultivars and New Methods for Controlling Pests Resistant to Agrochemicals

Climate change has caused crop failures in various regions of the world, while rising global temperatures have fostered the proliferation of fungi capable of causing significant losses in food production. In this context, the agricultural inputs that achieved the greatest commercial success in recent decades are proving insufficient to address the new challenges facing global food security.

Transgenic seeds currently available generally exhibit low tolerance to water stress. At the same time, the continuous and intensive use of chemical pesticides has contributed to the emergence of fungicide-resistant fungi and weeds tolerant to herbicides such as glyphosate. This scenario highlights structural limitations in existing agricultural technologies.

In light of these constraints, this project aims to map recent inventions with the potential to enhance drought tolerance and to develop new methods for controlling fungi and weeds resistant to agrochemicals. Additionally, the project seeks to assess the regulatory status of these technologies within the Brazilian context, contributing to an understanding of the institutional conditions that influence their diffusion.

The research uses patent data and bibliometric indicators to identify technologies with the greatest potential to address the triple challenge facing contemporary agriculture: adaptation to drought, control of resis-

da agricultura contemporânea: adaptação às secas, controle de fungos resistentes e mitigação do problema das ervas daninhas tolerantes a herbicidas.

O primeiro artigo derivado deste projeto intitula-se "*Inovação biotecnológica e adaptação agrícola às mudanças climáticas: uma análise patentária*", aprovado para publicação no periódico *Future Studies Research Journal: Trends and Strategies*.

Uma ramificação deste projeto, o plano de iniciação científica "Os desafios e alternativas para a adaptação da agricultura aos eventos climáticos extremos", está sendo desenvolvido pela bolsista FAPESP Giovanna Aparecida de Sousa (Processo nº 2025/04057-4). Essa linha de investigação reforça a continuidade temática do projeto e amplia sua inserção na formação acadêmica de novos pesquisadores.

2 CONCLUSÕES

Os quatro projetos apresentados evidenciam a construção de uma agenda de pesquisa progressivamente orientada à análise da inovação tecnológica aplicada à sustentabilidade, com ênfase na interface entre agricultura, recursos hídricos e biotecnologia. Partindo de estudos voltados à difusão de tecnologias agrícolas de combate à seca na indústria de sementes, a trajetória acadêmica evolui para a incorporação de temas adjacentes, como o reaproveitamento de recursos hídricos, a bioeconomia e os desafios regulatórios associados às novas técnicas de edição gênica. Mais recentemente, essa agenda tem se direcionado à investigação dos impactos das mudanças climáticas sobre a proliferação de pragas capazes de causar danos à agricultura contemporânea: adaptação às secas, controle de fungos resistentes e mitigação do problema das ervas daninhas tolerantes a herbicidas.

The first article resulting from this project is titled "Biotechnological Innovation and Agricultural Adaptation to Climate Change: A Patent Analysis" and has been accepted for publication in the journal "Future Studies Research Journal: Trends and Strategies".

An extension of this project, the undergraduate research project titled "Challenges and Alternatives for Agricultural Adaptation to Extreme Weather Events" is being conducted by FAPESP scholarship recipient Giovanna Aparecida de Sousa (Grant No. 2025/04057-4). This line of inquiry reinforces the project's thematic continuity and expands its contribution to the education and research training of new researchers.

2 CONCLUDING REMARKS

The four projects presented demonstrate the development of a research agenda increasingly focused on analyzing technological innovation applied to sustainability, with an emphasis on the intersection of agriculture, water resources, and biotechnology. Starting with studies on the diffusion of drought-tolerant agricultural technologies within the seed industry, the academic trajectory has evolved to incorporate related topics such as water resource reuse, the bioeconomy, and the regulatory challenges associated with new gene-editing techniques. More recently, this agenda has shifted toward investigating how climate change affects the proliferation of pests that can significantly damage food production.

sar prejuízos significativos à produção de alimentos.

Em complemento a essa agenda de pesquisa individual, o autor também colaborou na execução de projetos institucionais conduzidos por outros pesquisadores do Mestrado em Sustentabilidade, com destaque para estudos setoriais de sustentabilidade corporativa desenvolvidos em parceria com os professores Marcos Ricardo Rosa Georges e Cândido Ferreira da Silva Filho.

No âmbito específico da parceria com o professor Cândido F. Silva Filho, a principal publicação resultante foi o artigo "*Comparative Study of ESG Practices Among Brazilian Sanitation Companies*" (Caciato et al., 2025), publicado no periódico Sustainability. O estudo teve como objetivo qualificar, quantificar e ranquear as práticas de ESG das três maiores empresas de saneamento do Brasil - Sabesp, Sanepar e Copasa.

O autor também participa de uma rede de pesquisa com pesquisadores do Laboratório de Ciência do Câncer da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), dedicada à realização de análises de custo-efetividade de diferentes métodos de tratamento do câncer de cabeça e pescoço. Até o momento, essa parceria resultou na publicação de dois artigos (Macedo et al., 2019; Macedo et al., 2026) no periódico internacional *PLOS ONE*. Esses estudos utilizam modelos analíticos baseados em árvores de decisão, construídas a partir de probabilidades condicionais bayesianas estimadas por meio de simulações de Monte Carlo (algoritmo de Metropolis-Hastings), com o objetivo de avaliar o potencial de estratégias terapêuticas baseadas em genotipagem para reduzir os custos de tratamento de

In addition to this individual research agenda, the author also collaborated on institutional projects led by other researchers from the PPGS, notably sectoral studies on corporate sustainability developed in partnership with faculty members Marcos Ricardo Rosa Georges and Cândido Ferreira da Silva Filho. Regarding the specific partnership with Professor Cândido F. Silva Filho, the primary resulting publication was the article "Comparative Study of ESG Practices Among Brazilian Sanitation Companies" (Caciato et al., 2025), published in the journal Sustainability. The study aimed to characterize, quantify, and rank the ESG practices of Brazil's three largest sanitation companies: Sabesp, Sanepar, and Copasa.

The author also participates in a research network with researchers from the Cancer Science Laboratory at the School of Medical Sciences of the State University of Campinas (Unicamp), which conducts cost-effectiveness analyses of various treatment methods for head and neck cancer. To date, this partnership has resulted in the publication of two articles (Macedo et al., 2019; Macedo et al., 2026) in the international journal PLOS ONE. These studies use decision-tree models built with Bayesian conditional probabilities estimated via Monte Carlo simulations (Metropolis-Hastings algorithm) to evaluate the potential of genotyping-based therapeutic strategies to reduce treatment costs for cancer patients within the Brazilian Unified Health System (Sistema Único de Saúde - SUS).

A new research line has begun to be explored in the study "Green

pacientes oncológicos no âmbito do Sistema Único de Saúde (SUS).

Uma nova linha de pesquisa começou a ser explorada no trabalho "Patentes verdes e tecnologias sociais na gestão sustentável da água: uma análise baseada em patentes" (Pires et al., 2025), desenvolvido no âmbito do Sustentare & WIPIS 2025 em parceria com os professores Duarcides Ferreira Mariosa e Orandi Mina Falsarella, bem como com a egressa do Programa de Iniciação Científica da PUC-Campinas Ariane Pires. O estudo monitorou patentes verdes aplicáveis à gestão sustentável de recursos hídricos, especialmente tecnologias voltadas ao tratamento, monitoramento e reuso da água. As patentes verdes estão associadas a tecnologias ambientalmente sustentáveis que recebem prioridade de análise pelos escritórios patentários, o que tende a reduzir o tempo de exame e acelerar a difusão tecnológica. A partir desse estudo preliminar e dessa nova parceria, o pesquisador pretende aprofundar as análises sobre a eficácia das patentes verdes como instrumento de fomento ao desenvolvimento e à proteção de tecnologias sustentáveis, abrangendo não apenas a gestão de recursos hídricos, mas também novas fontes de energia, agricultura sustentável e outros campos tecnológicos estratégicos para a transição ecológica.

Conclui-se que, em conjunto, as atividades descritas neste capítulo reforçam o compromisso com a produção de conhecimento aplicado à sustentabilidade, a formação acadêmica e o impacto social no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade da PUC-Campinas.

Patents and Social Technologies in Sustainable Water Management: A Patent-Based Analysis" (Pires et al., 2025), developed within the scope of Sustentare & WIPIS 2025 in partnership with faculty members Duarcides Ferreira Mariosa and Orandi Mina Falsarella, as well as Ariane Pires, an alumna of the PUC-Campinas Undergraduate Research Program. The study tracked green patents applicable to sustainable water resource management, particularly technologies focused on water treatment, monitoring, and reuse. Green patents are associated with environmentally sustainable technologies that receive priority review from patent offices, a practice that tends to reduce examination time and accelerate technology diffusion. Building on this preliminary study and new partnership, the researcher intends to deepen the analysis of the effectiveness of green patents as a tool for fostering the development and protection of sustainable technologies, encompassing not only water resource management but also new energy sources, sustainable agriculture, and other technological fields that are strategic to the ecological transition.

Taken together, the activities described in this chapter reinforce the commitment to producing knowledge applied to sustainability, student education and research training, and social impact within the PPGS at PUC-Campinas.

Referências/*References*

Caciato, E. H. A., Silva Filho, C. F., De Benedicto, S. C., Ferrari, V. E., Mariosa, D. F., Conti, D. M., Branchi, B. A., & García, R. D. B. (2025). Comparative study of ESG practices among Brazilian sanitation companies. *Sustainability, 17*(16), 7312. https://doi.org/10.3390/su17167312

Carrocini, M. V. F., Ferrari, V. E., & Oliveira, P. R. S. (2019). Food security and agricultural markets: An analysis of the impacts of food price shocks on sub-Saharan countries. *International Journal for Innovation Education and Research, 7*(8), 359–366. https://doi.org/10.31686/ijier.vol7.iss8.1690

Dal Poz, M. E., Bueno, C. S., & Ferrari, V. E. (2022). Waste biomaterials innovation markets. In E. Jacob-Lopes, L. Queiroz Zepka, & M. Costa Deprá (Eds.), *Handbook of waste biorefinery* (pp. 93–118). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06562-0_5

European Commission: Directorate-General for Health and Food Safety, Wageningen University & Research, Technopolis Group, & Arcadia International. (2023). *Study to support the impact assessment of legislation for plants produced by certain new genomic techniques: Final report*. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2875/282347

Falck-Zepeda, J. B. (2026). *Understanding technology diffusion in the agricultural sector* (WIPO Economic Research Working Paper No. 94). World Intellectual Property Organization. https://doi.org/10.34667/tind.59336

Ferrari, V. E., & Pacheco, M. N. (2020). Propriedade intelectual e inovações tecnológicas na indústria de sementes: Discussões sobre os conflitos judiciais entre a Monsanto e os agricultores brasileiros. *Revista de Estudos Sociais, 21*(43), 89–103. https://doi.org/10.19093/res9024

Ferrari, V. E., Silveira, J. M. F. J., & Dal-Poz, M. E. (2021). Patent network analysis in agriculture: A case study of the development and protection of biotechnologies. *Economics of Innovation and New Technology, 30*(2), 111–133. https://doi.org/10.1080/10438599.2019.1684645

Macedo, L. T., Ferrari, V. E., Carron, J., Costa, E. F. D., Lopes-Aguiar, L., Lourenço, G. J., & Lima, C. S. P. (2019). Cost-minimization analysis of GSTP1 c.313A>G genotyping for the prevention of cisplatin-induced nausea and vomiting: A Bayesian inference approach. *PLOS ONE, 14*(3), e0213929. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213929

Macedo, L. T., Ferrari, V. E., Costa, E. F. D., Lourenço, G. J., Calonga, L., Castilho, A. M., Chone, C. T., & Lima, C. S. P. (2026). Pharmacogenetic strategies to mitigate cisplatin-induced ototoxicity in head and neck cancer: A cost-minimization analysis with the use of GSTP1 c.313A>G genotyping. *PLOS ONE, 21*(4), e0345371. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0345371

Pires, A., Mariosa, D. F., Falsarella, O. M., & Ferrari, V. E. (2025). Patentes verdes e tecnologias sociais na gestão sustentável da água: Uma análise baseada em patentes. In *Livro de Memórias do Sustentare & WIPIS*. PUC-Campinas. https://doi.org/10.29327/9786527222262.1279687

Seixas, R. N. L., Silveira, J. M. F. J., & Ferrari, V. E. (2022). Assessing environmental impact of genetically modified seeds in Brazilian agriculture. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 10*, 977793. https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.977793

Zanatta, F., Ferrari, V. E., & Ferreira, D. H. L. (2020). Indústria química brasileira e biodiversidade: Desafios e oportunidades. In *Anais do II Sustentare e V WIPIS – Workshop Internacional sobre Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos*. PUC-Campinas. https://www.even3.com.br/anais/2_SUSTENTARE_5_WIPIS/304871-INDUSTRIA-QUIMICA-BRASILEIRA-E-BIODIVERSIDADE--DESAFIOS-E-OPORTUNIDADES

Zanatta, F., Ferrari, V. E., & Ferreira, D. H. L. (2024). Challenges faced by the chemical industry in strengthening the bioeconomy in Brazil. *Revista de Gestão Social e Ambiental, 18*(2). https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/7637



VINÍCIUS EDUARDO FERRARI

E-mail: vinicius.ferrari@puc-campinas.edu.br | ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3997-6310

Professor da Escola de Economia e Negócios (ECON) da PUC-Campinas e pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade da mesma instituição. É doutor em Desenvolvimento Econômico e mestre em Ciência Política pela Unicamp, além de graduado em Ciências Econômicas e Ciências Contábeis. Atua nas áreas de economia da inovação e organização industrial, com ênfase em biotecnologia, propriedade intelectual, monitoramento tecnológico, agronegócio e sustentabilidade. É membro da sociedade honorífica Sigma Xi – The Scientific Research Honor Society.

Professor at the School of Economics and Business (ECON) at PUC-Campinas and a researcher in the Graduate Program in Sustainability (PPGS) at the same institution. He holds a PhD in Economic Development and a Master's degree in Political Science from Unicamp, as well as undergraduate degrees in Economics and Accounting. He works in the areas of innovation economics and industrial organization, with an emphasis on biotechnology, intellectual property, technology monitoring, agribusiness, and sustainability. He is a member of the Sigma Xi – The Scientific Research Honor Society.