

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA EM TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA: O CICLO DE DESENVOLVIMENTO DOS BIOINSUMOS

SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW IN TECHNOLOGY TRANSFER:
THE DEVELOPMENT CYCLE OF BIOINPUTS

Lauren Peres Lorenzoni

Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria (Santa Maria/Brasil).
Contadora na Universidade Federal de Santa Maria (Santa Maria/Brasil).
E-mail: lauren.lorenzoni@ufsm.br

Tiago Bandeira Marchesan

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (Santa Maria/Brasil).
Professor na Universidade Federal de Santa Maria (Santa Maria/Brasil).
E-mail: tiago@ufsm.br

Julio Cezar Mairesse Siluk

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (Florianópolis/Brasil).
Professor na Universidade Federal de Santa Maria (Santa Maria/Brasil).
E-mail: jsiluk@ufsm.br

Graciele Rediske

Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria (Santa Maria/Brasil).
Pós-Doutoranda na Universidade Federal de Santa Maria (Santa Maria/Brasil).
E-mail: : grarediske@gmail.com

Mayara Rohenkohl Ricci

Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria (Santa Maria/Brasil).
Pesquisador científico na Universidade Federal de Santa Catarina (Florianópolis/Brasil).
E-mail: mayara.ricci@posgrad.ufsc.br

Recebido em: 14 de maio de 2024

Aprovado em: 12 de julho de 2024

Sistema de Avaliação: Double Blind Review

RGD | v. 21 | n. 2 | p. 248-270 | jul./dez. 2024

DOI: <https://doi.org/10.25112/rgd.v21i2.3887>

RESUMO

A transferência de tecnologia, facilitada pela inovação aberta, fortalece a colaboração entre universidades e indústrias, impulsionando o crescimento econômico. Para medir a maturidade tecnológica de bioinsumos, essa parceria se torna essencial, permitindo o desenvolvimento e aperfeiçoamento de produtos que promovem avanços significativos na agricultura e na sustentabilidade. Esta pesquisa relata uma revisão que investigou métodos de medição da maturidade tecnológica de bioinsumos, bem como os critérios relevantes e o ciclo de desenvolvimento desses produtos. Foram selecionados estudos em bancos de dados como Science Direct, Scopus e Web of Science, sem restrição de datas, focando em pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de bioinsumos e sua maturidade tecnológica. Dezesete publicações foram incluídas nesta revisão (n=64). E a partir desses resultados selecionados foi possível encontrar o ciclo de desenvolvimento de bioinsumos que se inicia com pesquisas na literatura, seguidas por testes laboratoriais e de campo. A produção industrial e a aceitação pelo agricultor encerram o processo. Os ensaios em campo são cruciais, pois oferecem condições realistas. O agricultor desempenha um papel decisivo, determinando a adequação do produto às suas necessidades. Essas descobertas fornecem a base para estabelecer o ciclo de desenvolvimento de bioinsumos e criar uma metodologia de medição de sua maturidade tecnológica. Esse conceito pode orientar futuras pesquisas, promover a inovação e impulsionar a maturidade tecnológica dos bioinsumos, aumentando sua aceitação entre os agricultores e avançando o setor.

Palavras-chave: Bioinsumos. Maturidade Tecnológica. Inovação aberta. Ciclo de Desenvolvimento de Produto.

ABSTRACT

Technology transfer, facilitated by open innovation, strengthens collaboration between universities and industries, driving economic growth. To assess the technological maturity of bioinputs, this partnership becomes essential, enabling the development and enhancement of products that drive significant advancements in agriculture and sustainability. This research presents a review that explored methods for measuring the technological maturity of bioinputs, along with relevant criteria and the product development cycle. Studies were selected from databases such as Science Direct, Scopus, and Web of Science, without date restrictions, focusing on research related to bioinput development and its technological maturity. Seventeen publications were included in this review (n=64). From these selected results, we identified the bioinput development cycle, which begins with literature research, followed by laboratory and field tests. Industrial production and acceptance by farmers complete the process. Field trials are crucial as they provide realistic conditions. The farmer plays a decisive role in determining the product's suitability for their needs. These findings serve as the foundation for establishing the bioinput development cycle and creating a methodology to measure its technological maturity. This concept can guide future research, promote innovation, and enhance the technological maturity of bioinputs, ultimately increasing their acceptance among farmers and advancing the sector.

Keywords: Bioinputs; Technological Maturity; Open innovation; Product Development Cycle.

1 INTRODUÇÃO

Com a adoção generalizada da prática de inovação aberta por empresas do setor comercial, as universidades passaram a desempenhar um papel central na criação de novos conhecimentos. Elas desempenham um papel essencial no avanço de novos produtos e tecnologias, fortalecendo a interação entre universidade e indústria para impulsionar o crescimento econômico da região. Nesse contexto, o avanço tecnológico e sua rápida evolução apresentam desafios significativos relacionados à gestão da tecnologia e inovação nas universidades, que são consideradas como o epicentro do conhecimento voltado para pesquisa e desenvolvimento (P&D) (Bejarano *et al.*, 2023)

A efetiva cooperação entre o meio acadêmico e a indústria pode acarretar diversos ganhos, dessa forma, a parceria entre empresas e universidades tem o poder de estimular a troca de saberes e tecnologias por meio do compartilhamento de Direitos de Propriedade Intelectual (DPI), impulsionando, assim, a inovação. Essas transferências de conhecimento e tecnologia desempenham um papel crucial no desbloqueio do potencial completo das empresas, incitando-as a criar novas tecnologias e aprimorar as já existentes, o que resulta em um ambiente corporativo altamente produtivo (Alkhazaleh; Mykoniatis; Alahmer, 2022).

Nas últimas décadas, as instituições acadêmicas expandiram a abrangência de suas metas originais de pesquisa e educação, incluindo uma nova finalidade de transformar avanços investigativos em tecnologias comercializáveis. Universidades em todo o mundo que se destacam em pesquisa têm passado a estabelecer os chamados Escritórios de Transferência de Tecnologia (*Technology Transfer Offices* - TTOs), que têm a responsabilidade de gerenciar e promover a Propriedade Intelectual (*Intellectual Property* - IP) da instituição. Esses TTOs atuam como intermediários entre os inovadores (que podem incluir pesquisadores acadêmicos, estudantes e professores) e partes interessadas como empresas, empreendedores e investidores de capital de risco, desempenhando um papel fundamental na comercialização das inovações oriundas da academia (Fasi, 2022).

Uma das metas primordiais dos TTOs reside em atrair financiamento para a viabilização de projetos prospectivos de alta tecnologia. Conseqüentemente, as universidades procedem com uma avaliação criteriosa das iniciativas antes de submetê-las aos investidores. No cenário em que o espectro de investimento é amplo, é imperativo satisfazer as necessidades particulares de cada investidor. Um instrumento usado para testar a validade de uma inovação técnica é a Prova de Conceito (*Proof of Concept* - PoC), também conhecida como prova de princípio. A PoC essencialmente busca evidenciar se conceitos ou teorias específicos possuem potencial prático e aplicabilidade nas esferas industriais (Gulbranson; Audretsch, 2008; Fasi, 2022).

A unidade de PoC da universidade avalia as propostas inovadoras dos criadores com base nos Níveis de Preparação Tecnológica (TRL), originalmente desenvolvidos pela NASA. A análise do TRL se apresenta como um meio para determinar o grau de maturidade técnica dos elementos tecnológicos cruciais de um projeto. Estes níveis são estabelecidos como parte de uma avaliação abrangente da prontidão tecnológica, que contempla a análise de conceitos de projetos, demandas tecnológicas e demonstrações de capacidades tecnológicas. As avaliações fornecem subsídios para mensurar o progresso do desenvolvimento tecnológico, orientar as estratégias de projetos e identificar desafios potenciais para os tomadores de decisão. A aplicação das avaliações TRL nas etapas iniciais do desenvolvimento contribui para a detecção antecipada de possíveis obstáculos, evitando que estes se convertam em entraves em fases posteriores e mais dispendiosas do processo de desenvolvimento do sistema (Sergey; Alexandr; Sergey, 2015; Fasi, 2022).

Considerando as informações expostas, surge a imperativa demanda de estabelecer uma metodologia destinada a avaliar a maturidade tecnológica de inovações concebidas no âmbito de um Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT), que consistem em estruturas estabelecidas dentro das universidades com o objetivo de apoiar o desenvolvimento de projetos (Kayser; Schreiber, 2013). O ciclo da pesquisa, desenvolvimento e inovação percorrem quatro etapas: pesquisa, proteção, negociação e mercado. Em cada uma dessas etapas é importante a participação dos NITS, para assegurar os direitos dos atores envolvidos no processo originário da propriedade intelectual (Chaves; Da Cruz, 2023). Além disso, evidencia-se que a inovação é uma fonte de vantagem competitiva para as organizações, que é desencadeada por novos produtos, processos e serviços, e pode estar diretamente relacionada à sustentabilidade ambiental (Barros Luna; Severo; Medeiros; Marinho, 2023). Nesse contexto, ressalta-se a importância de concentrar esforços exclusivamente na categoria dos bioinsumos.

A escolha exclusiva pelo bioinsumo se deve por, quando comparados aos fertilizantes convencionais, os bioinsumos trazem consigo diversas vantagens, principalmente em termos de preservação ambiental. Procedimentos que incorporam bioinsumos demonstram maiores índices de captura de carbono e um menor risco de resistência evoluída entre as pragas. Adicionalmente, os bioinsumos impulsionam a fertilidade do solo, contrapondo-se à sua exaustão. O crescente interesse em abordagens mais sustentáveis para a produção de alimentos tem estimulado o crescimento do setor de bioinsumos (Summitagro, 2023).

Complementando, no mundo as investigações no campo agrícola se concentram em alternativas sustentáveis que possam suprir a crescente necessidade de suprimentos alimentares. Segundo as projeções da FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (*Food and Agriculture Organization*), a agência da ONU para a alimentação e agricultura, a população mundial deve atingir 9 bilhões de pessoas até 2050, exigindo dos governos de nações em desenvolvimento um investimento

anual de cerca de US\$ 44 bilhões para garantir alimentação adequada a todos. O Quadro Estratégico da FAO para o período de 2022 a 2031 ressalta a necessidade de buscar sistemas agroalimentares cada vez mais eficazes, seguros e ecologicamente equilibrados (Agrolink, 2023).

Além das preocupações voltadas para a sustentabilidade, o mercado de bioinsumos tem experimentado um notável crescimento tanto na economia brasileira quanto global nos últimos anos, prometendo uma perspectiva altamente promissora. Os insumos biológicos oferecem um conjunto diversificado de vantagens que impactam positivamente não apenas os produtores, mas também o solo e os consumidores. Essas características se traduzem em indicadores significativos.

No ano de 2021, o cenário dos produtos biológicos movimentou aproximadamente R\$ 3,0 bilhões no Brasil. De acordo com as estimativas elaboradas pela Markestrat, com base em dados fornecidos pela ABCBio, prevê-se que o mercado, considerando a soma das quatro categorias, alcance um valor de R\$ 6,2 bilhões até o ano de 2025, mantendo um crescimento anual em torno de 20%. Outro dado de destaque, divulgado pela Spark Inteligência, evidencia que a receita proveniente do mercado de produtos biológicos atingiu R\$ 1,7 bilhão durante a safra 2020/2021, o que representa um aumento de 37% quando comparado ao ciclo anterior. Com base nas informações da CropLife Brasil, uma instituição referência no setor, a expectativa é de que essa receita triplique até o ano de 2030. Esses números ressaltam as vantagens que o mercado apresenta para a indústria, estimulando a contínua busca por seu desenvolvimento (Neves; Cambaúva; Casagrande, 2021).

Este artigo tem como objetivo realizar uma etapa inicial no desenvolvimento de uma metodologia voltada para a avaliação da maturidade tecnológica de bioinsumos. Antes de embarcar na RSL atual, uma revisão de escopo foi conduzida e apresentada na Seção 1.1 para identificar como a mensuração da maturidade é realizada em diferentes tipos de tecnologias. Essa revisão inicial proporcionou *insights* valiosos que na sequência orientam a RSL em andamento, permitindo a exploração das fases cruciais no desenvolvimento de bioinsumos de forma mais abrangente e informada. A Seção 2 detalha os passos da RSL, explorando três questões de pesquisa que guiam o processo de investigação. Os Resultados são apresentados na Seção 3 e apresentam o ciclo de desenvolvimento dos bioinsumos com base na RSL. Finalmente, nas Considerações Finais apresentadas na Seção 4, sintetizam as principais conclusões e implicações do estudo, destacando seu impacto na inovação e aceitação no setor agrícola.

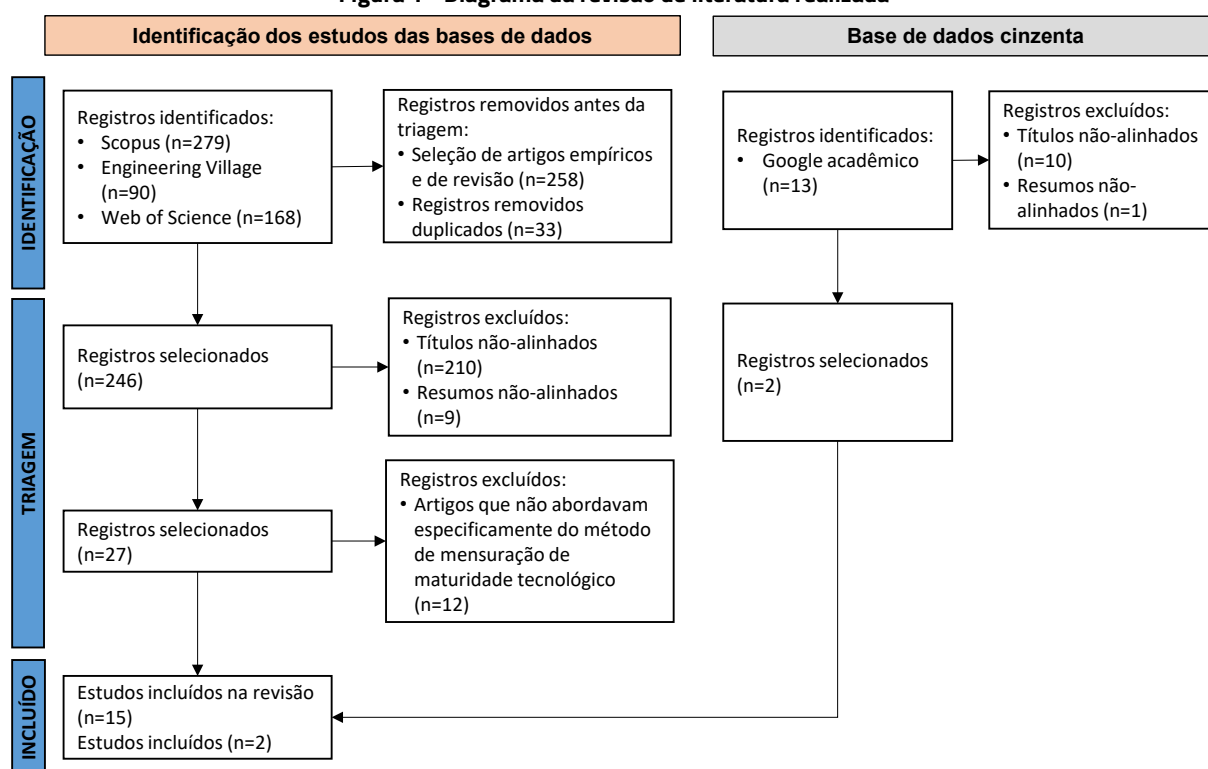
1.1 MENSURAÇÃO DA MATURIDADE TECNOLÓGICA

Para verificar como é realizada a mensuração da maturidade tecnológica nas diversas áreas de pesquisa e os métodos empregados, fez-se necessário uma revisão de escopo. Como precursora de uma revisão sistemática, a revisão de escopo teve a finalidade de responder as seguintes questões que

envolvem o assunto mensuração de maturidade: i) Quais as áreas de conhecimento que possuem pesquisa sobre maturidade tecnológica? ii) Quais os métodos utilizados para mensurar?

Para responder essas questões as seguintes palavras-chave foram utilizadas: (*"Technology maturity" or "Technology readiness level" or "Technological maturity evaluation" or "Technological characterization" or "Technological maturity assessment" and measure or mensuration*), nas bases Scopus, Engineering Village e Web of Science, também buscou-se artigos na base cinzenta como o Google Acadêmico, as etapas de como a pesquisa foi desenvolvida pode ser observada na figura 1.

Figura 1 - Diagrama da revisão de literatura realizada



Fonte: os autores (2022)

A pesquisa foi realizada em meados de junho de 2022 e nas buscas não se limitou em um período de tempo apenas os tipos de trabalhos selecionados foram artigos empíricos e de revisão.

Para o gerenciamento dos artigos (referências bibliográficas) utilizou-se o *software* Mendeley. De primeiro momento foram removidos os artigos duplicados, sendo assim, retornaram 246 artigos empíricos de revisão. Após realizou-se a leitura dos títulos e resumos, totalizando 27 artigos que foram lidos na íntegra. Desses artigos, trabalhos que não abordassem especificamente algum método de mensuração de maturidade tecnológica seriam excluídos, logo, totalizando em 12 artigos. O mesmo aconteceu com os

registros que foram identificados na base cinzenta, totalizando 2 artigos. Dessa maneira, foram incluídos 17 artigos na revisão. Desses artigos, foi produzido o quadro 1, que constam os estudos extraídos da revisão de escopo, bem como os métodos que os autores utilizaram

Quadro 1 - Artigos selecionados

N	AUTOR(ES)	ÁREA DE APLICAÇÃO	MÉTODO(S) UTILIZADO(S)
1	(Adrodegari; Saccani, 2020)	Servitização de empresas centradas em produtos	Modelo de maturidade de servitização (SeMM)
2	(Afonso <i>et al.</i> , 2015)	Cidades, governo	Br-SCMM - Modelo de maturidade para cidades inteligentes
3	(Alexander <i>et al.</i> , 2019)	Tecnologia da informação (TI) de um lar de idosos	Modelo de maturidade de tecnologia da informação (MMTI) - Envolveu 2 fases: i) desenvolver um modelo preliminar a partir de outros recursos de modelo de maturidade encontrados na literatura. ii) envolveu 3 rodadas de questionários administrados a um painel de administradores especialistas de NH usando uma técnica Delphi 14 para avaliar a validade do modelo de maturidade de TI da NH proposto na fase I.
4	(Al-Matari <i>et al.</i> , 2021)	Segurança cibernética	Modelo de maturidade de segurança (adaptado do modelo ISM3 - Information Security Maturity Model versão 3)
5	(Al-Matouq <i>et al.</i> , 2020)	Segurança software	Secure Software Design Maturity Model (SSDMM) - estrutura do Capability Maturity Model Integration (CMMI)
6	(Beims; Simonato; Wiggers, 2019)	Relatórios da literatura e patentes publicadas sobre a pirólise de biomassa	Nível de Prontidão da Tecnologia (TRL)
7	(Bernal; Espitaleta, 2021)	Tecnologia da informação (TI) para Serviços de Cidades Inteligentes em Economias Emergentes	Modelo de Maturidade de Tecnologia da Informação para Serviços de Cidades Inteligentes em Economias Emergentes
8	(Jæger; Halse, 2017)	IoT: empresas de manufatura	IoT Technology Maturity Scorecard
9	(Knaggs <i>et al.</i> , 2015)	Tecnologias avançadas de energia fóssil	Índice de nível de prontidão do sistema (SRL)
10	(Kyriakidou; Michalakis; Sphicopoulos, 2013)	Tecnologia da informação e comunicação (ICT)	ICT Maturity Level Index (IMLI)
11	(Lezama-Nicolás <i>et al.</i> , 2018)	Dados bibliográficos	Método Bibliométrico de Avaliação da Maturidade Tecnológica (BIMATEM)

12	(Magnaye; Sauser; Raírez-Marquez, 2009)	Sistema composto por elementos tecnológicos	Rótulos ordinais de TRL e IRL foram transformados pelos gerentes de tecnologia e pelo engenheiro de sistema em valores numéricos e a escala SRL só pode ser tão significativa quanto a objetividade e precisão dos números TRL e IRL.
13	(Puhar; Vujanović; Krajnc, 2021)	Química - formalina	Escala de avaliação TRL
14	(Ramírez-Marquez; Sauser, 2009)	Alocação de recursos para a maturação das tecnologias e suas integrações	Modelo SLRMax ilustra um modelo de otimização com o objetivo de maximizar o SRL (uma função de TRL e IRL) sob restrições associadas a recursos.
15	(Sauser <i>et al.</i> , 2008)	Prontidão de um sistema no ciclo de vida da engenharia de sistemas	Índice de nível de prontidão do sistema (SRL) que incorpora a escala TRL atual e um nível de prontidão de integração (IRL)
16	(Singh; Gill, 2020)	Indústria de Software	Método próprio (combinação de nível CMMI e nível de maturidade específico RuleML)
17	(Vik <i>et al.</i> , 2021)	Novas tecnologias agrícolas	Nível de Prontidão Equilibrada (BRLa)

Fonte: os autores (2022)

Adrodegari e Saccani (2020) desenvolveram um Modelo de Maturidade da Servitização (SeMM) com o propósito de avaliar e posicionar empresas em sua jornada de servitização. Este modelo foi aplicado em duas pequenas e médias empresas, uma do setor de máquinas e outra de empilhadeiras. O objetivo principal do artigo é aprofundar a compreensão da servitização em empresas focadas em produtos, identificando os recursos, capacidades e aspectos organizacionais necessários para uma implementação bem-sucedida de um modelo de negócios servitizado. O SeMM combina elementos de modelos de negócios e maturidade, fornecendo pontuações de maturidade para diferentes dimensões e componentes do modelo de negócios servitizado. Isso, por sua vez, resulta em uma pontuação média de maturidade de servitização para a empresa.

Afonso *et al.* (2015), desenvolveram o Br-SCMM (Modelo de Maturidade para Cidades Inteligentes), uma ferramenta que visa incentivar municípios brasileiros a identificar seus potenciais e aprimorar suas políticas públicas, otimizando a alocação de recursos. Esse modelo estabelece cinco níveis não incrementais para medir a maturidade das cidades em diversos domínios, como água, educação, energia, governança, habitação, meio ambiente, saúde, segurança, tecnologia e transporte. Os níveis se encaixam na sigla "SMART" e buscam responder cinco questões essenciais sobre cidades inteligentes, permitindo que cada município evolua em suas áreas de maior aptidão e recursos.

Alexander *et al.* (2019), desenvolveram um Modelo de Maturidade de Tecnologia da Informação (TIMM) voltado para lares de idosos, com o objetivo de rastrear diferentes estágios de maturidade em

relação à tecnologia da informação. Os modelos de maturidade de TI fornecem um guia para organizações de cuidados com idosos transformarem gradualmente seus recursos de TI. O estudo consistiu em duas etapas: a primeira envolveu a criação do modelo de maturidade, enquanto a segunda compreendeu três rodadas de questionários aplicados a especialistas em administração de lares de idosos por meio do método Delphi, a fim de avaliar o modelo. Esse modelo abrange sete estágios de maturidade de TI, variando desde a ausência de soluções de TI ou registros eletrônicos (estágio 0) até a utilização de dados pelos residentes ou seus representantes para gerar informações clínicas e autogerenciamento (estágio 6).

Puhar, Vujanović e Krajnc (2021) conduziram uma investigação focada na prontidão das tecnologias de produção de produtos químicos, com ênfase na fabricação de formalina, uma área pouco explorada em pesquisas. O estudo buscou oferecer uma visão abrangente das diferentes rotas de síntese da formalina, empregando a avaliação de TRL (Technology Readiness Level) para determinar o estágio de preparação das tecnologias utilizadas em cada rota de produção. A capacidade de produção e a viabilidade tecnológica foram os principais critérios de avaliação, com os níveis de TRL de 1 a 3 representando estágios iniciais de desenvolvimento, de 4 a 6 indicando experimentos em escala piloto e de 7 a 9 denotando tecnologias em uso comercial crescente.

O estudo de Singh e Gill (2020) abordou o impacto do tempo na maturidade de processos em pequenas e médias empresas (PMEs) indianas de *software* não certificadas pelo CMMI (Capability Maturity Model Integration). Eles utilizaram um questionário baseado no CMMI-DEV v1.3 para avaliar os níveis de maturidade alcançados informalmente. O tempo de existência da PME foi crucial no estudo, dividindo as empresas em estabelecidas há mais ou menos 5 anos. A maturidade foi avaliada com base na adoção e prática de práticas específicas das áreas de processo, resultando em diferentes níveis de maturidade. O estudo identificou áreas-chave de melhoria em diferentes níveis de maturidade.

Os autores Lezama-Nicolas *et al.*, (2018) mostraram a importância do Ciclo de Vida da Tecnologia (TLC) como uma forma de identificar o nível de prontidão da mesma. O método BIMATEM foi desenvolvido baseado no TRL, assim, desde TRLs 1-5, onde os conceitos são observados até validados em laboratório e em ambiente relevante. O TLC crescente engloba TRLs 6-7, onde protótipos são demonstrados, enquanto o TLC maduro está relacionado a TRLs 8-9, quando a tecnologia é implementada.

A revisão de escopo realizada proporcionou importantes *insights* sobre os métodos empregados para mensurar a maturidade tecnológica em diferentes tipos de tecnologias. Durante o processo, foi observado que alguns métodos são combinados, utilizando uma abordagem integrada, enquanto outros são desenvolvidos especificamente para avaliar a maturidade de uma determinada tecnologia. Além disso, a revisão trouxe à tona a maneira como essa mensuração é realizada, destacando a importância de critérios como desempenho, prontidão tecnológica, impacto social e econômico, entre outros.

Ainda assim, com a revisão, conclui-se que os métodos para mensurar a maturidade tecnológica necessitam de critérios/ requisitos e que esses recebem uma pontuação que irá definir o grau de maturidade. Visto isso, é importante ressaltar que mensurar a maturidade de tecnologias mostrou-se importante, bem como os métodos empregados se mostraram satisfatórios para cada estudo. Dessa maneira, destaca-se a importância em entender quais são os critérios importantes do produto para que se possa mensurar a sua maturidade, sendo estes, essenciais na criação de uma metodologia para mensuração de maturidade.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O objetivo inicial da revisão sistemática de literatura (RSL) era identificar os métodos utilizados para avaliar a maturidade tecnológica dos bioinsumos. Caso não se encontrassem métodos específicos para essa avaliação, planejou-se abordar os critérios considerados na mensuração da maturidade dos bioinsumos, bem como compreender o ciclo de desenvolvimento dessas tecnologias. Através da análise da proposta que o TRL fornece, foi possível observar que seria necessário determinar as etapas para avaliar o grau de maturidade da tecnologia em questão.

Esse estágio da pesquisa busca fornecer informações fundamentais para alcançar o objetivo proposto nesse trabalho, que consiste na definição de uma metodologia para mensurar a maturidade tecnológica dos bioinsumos. Nesse sentido, foram formuladas três Questões de Pesquisa (QP) que têm como propósito sintetizar, elucidar e discutir as características pertinentes ao tema dos bioinsumos, conforme evidenciado pela literatura científica. As QPs elaboradas para nortear a revisão são as seguintes:

QP1. Quais os métodos adotados para mensurar maturidade na área de bioinsumos?

QP2. Quais critérios devem ser levados em consideração para mensurar a maturidade dos bioinsumos?

QP3. Qual o ciclo de desenvolvimento dos bioinsumos?

As questões foram elaboradas com o objetivo de obter informações essenciais para a criação de um questionário que aborde os critérios relevantes na mensuração da maturidade tecnológica dos bioinsumos. A seguir será descrito detalhadamente o desenvolvimento da RSL.

Seguindo as diretrizes da RSL a fim de responder as perguntas propostas. A ideia principal de uma revisão sistemática é coletar evidências com base em critérios predeterminados. Uma RSL pode oferecer um equilíbrio entre a identificação ampla de um grande número de publicações e a identificação sistemática de um conjunto menor de estudos que atendam aos critérios de inclusão e possam contribuir para as agendas de pesquisa. (Linnenluecke; Marrone; Singh, 2020).

A elegibilidade desta revisão foi baseada no quadro Tema, Qualificador e Objeto (TQO), conforme apresentado no quadro 2, (Robinson; Saldanha; Mckoy, 2011). As buscas iniciaram definindo as palavras-chave, conforme o que consta no quadro 2, com intuito de responder à pergunta de pesquisa.

Quadro 2 - Elegibilidade TQO para definição de palavras-chave

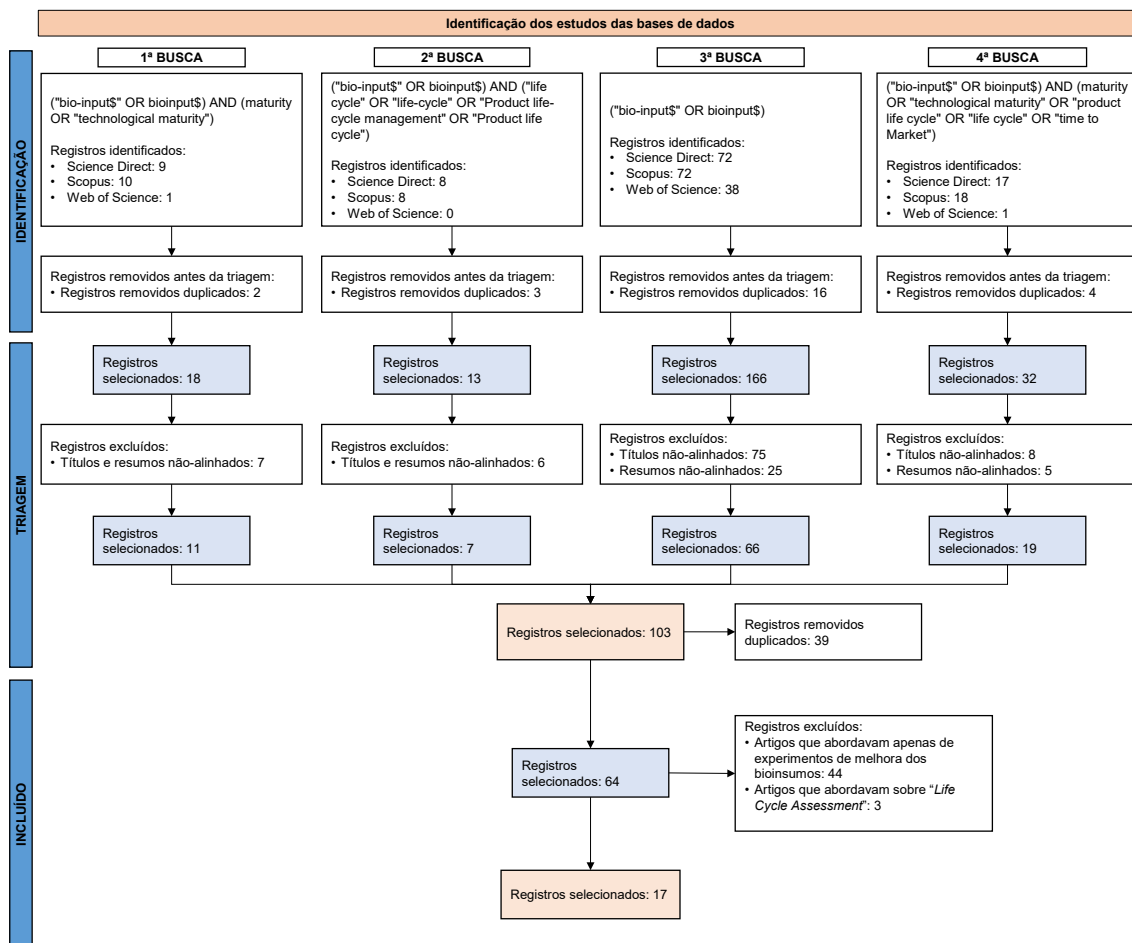
T	Q	O
Tema	Qualificador	Objeto
<i>Technological Maturity</i>	<i>Product Life Cycle</i>	<i>Bioinputs</i>
<i>(maturity or "technological maturity") and ("life cycle" or "life-cycle" OR "Product life-cycle management" or "Product life cycle") and ("bio-input\$" or bioinput\$)</i>		

Fonte: os autores (2022)

Desse modo, a fim de assegurar a utilidade de uma revisão sistemática para os leitores, os autores devem fornecer um relato claro, abrangente e preciso sobre a razão pela qual a revisão foi conduzida, o procedimento adotado para identificar e selecionar os estudos, e os resultados encontrados.

De acordo com o quadro 2, quando realizada a primeira busca, nenhum artigo retornou, logo, novos jogos de palavras foram criados com intuito de trazer artigos para o presente estudo e atender às perguntas de pesquisa. As principais etapas desenvolvidas, após a nova definição de palavras-chave, para obtenção dos resultados são mostradas na FIGURA 2, a mesma mostra um diagrama adaptado de Page *et al.* (2021).

Figura 2 - Diagrama da revisão de literatura realizada para bioinsumos



Fonte: os autores (2022) adaptado PAGE *et al.* (2021)

Para resumir as buscas das palavras-chave, o quadro 3 foi construído para entendimento da figura 2 da RSL.

Quadro 3 - Resumo da nova busca de palavras-chave

Buscas	1	2	3	4
Palavras-chave	<i>("bio-input\$" or bioinput\$) and (maturity or "technological maturity")</i>	<i>("bio-input\$" or bioinput\$) and ("life cycle" or "life-cycle" or "Product life-cycle management" or "Product life cycle")</i>	<i>("bio-input\$" or bioinput\$)</i>	<i>("bio-input\$" or bioinput\$) and (maturity or "technological maturity" or "product life cycle" or "life cycle" or "time to Market")</i>
Science Direct	9	8	72	17
Scopus	10	8	72	18
Web of Science	1	0	38	1
Total	20	16	182	36

Fonte: os autores (2022)

2.1 FASE DE IDENTIFICAÇÃO (FASE 1)

O protocolo RSL se desenvolveu na fase 1. Três bases de dados foram consultadas para fins de análise Science Direct, Scopus e Web of Science. As palavras-chave usadas partiram dos termos usados na área temática e o objetivo da revisão. Algumas pesquisas piloto foram realizadas para identificar e refinar as palavras-chave. Termos cuja inclusão não trouxe resultados foram descartados e, por conta disso, para que a maior parte de artigo viesse realizou-se quatro buscas, conforme mostrado na figura 1, para assim trazer o máximo de artigos que pudessem contribuir para a análise. A pesquisa foi realizada em meados de agosto de 2022 e nas buscas não se limitou em um período de tempo e também em tipos de trabalhos.

Nessa fase, os artigos foram colocados em um gerenciador de referências Mendeley para auxiliar na revisão. Para cada busca, em cada base, resultou numa quantidade n de artigos, que em seguida já foi realizado a exclusão de duplicados, devido a busca ter sido feita em mais de uma base.

2.2 FASE DE TRIAGEM (FASE 2)

A fase 2 é composta pela triagem dos artigos, ou seja, dos artigos que vieram da fase 1 realizou-se a leitura de títulos e, posterior, resumos, para selecionar quais artigos fariam parte da última fase, a de leitura na íntegra. Nesse momento, títulos e resumos que não identificassem como o ciclo de desenvolvimento era abordado nos bioinsumos, bem como métodos adotados para medir maturidade, foram excluídos. É importante destacar que, por conta da quantidade de artigos que foram encontrados nas buscas 1 e 2, títulos e resumos foram lidos simultaneamente.

Posterior a isso, todos as buscas foram unidas para que os artigos fossem lidos da íntegra, da mesma maneira, como vieram de quatro buscas, os registros foram novamente filtrados para identificar duplicados e assim realizar a sua exclusão.

2.3 FASE DE INCLUSÃO (FASE 3)

Nessa fase, e última, os artigos foram lidos na íntegra para identificar as informações com a finalidade de responder as perguntas e atingir o objetivo dessa revisão.

Do total de artigos selecionados, proveniente da fase 2, alguns critérios de exclusão foram formulados como: i) artigos que abordavam apenas experimentos de melhora dos bioinsumos e; ii) artigos que fosse abordado "*Life Cycle Assessment*", seriam excluídos, pois não iriam fornecer informações pertinentes para a pesquisa e para o objetivo proposto. Assim como, critérios de inclusão também foram formulados: i) artigos que fosse relatado como os bioinsumos são tratados durante sua pesquisa e desenvolvimento; ii) artigos que colocasse algum fator determinante para que aquele bioinsumos fosse colocado no mercado; iii) artigos que tratassem especificamente de maturidade e também do ciclo de desenvolvimento do produto.

Nessa fase, os 64 artigos selecionados para leitura na íntegra foram avaliados seguindo os critérios de exclusão e inclusão, totalizando 17 artigos que trazem informações para atender o objetivo da RSL.

3 RESULTADOS

Medir a maturidade tecnológica de um produto ou tecnologia é fundamental para avaliar o seu potencial de mercado e determinar os recursos necessários para o seu desenvolvimento e comercialização.

A medição da maturidade tecnológica é importante para identificar os pontos fortes e fracos do produto ou tecnologia, bem como as oportunidades e desafios do mercado. Além disso, a medição da maturidade tecnológica é um fator crucial para a valoração de tecnologia, pois permite que os investidores determinem o potencial de retorno sobre o investimento e a viabilidade comercial da tecnologia. Além disso, medir a maturidade tecnológica é essencial para a transferência de tecnologia do produto, pois permite que as empresas e os investidores avaliem a capacidade de produção e comercialização do produto ou tecnologia em um mercado específico (Pirola; Cimini; Pinto, 2020). Para medir a maturidade tecnológica de um produto é preciso analisar critérios para assim estabelecer os níveis de maturidade, ou seja, está relacionado ao desenvolvimento do produto (Rafael *et al.*, 2020).

A classe de bioinsumos é ampla e inclui diversos tipos de produtos. No entanto, a literatura não oferece métodos claros para medir a maturidade tecnológica desses produtos, nem aborda especificamente o

ciclo de desenvolvimento dos bioinsumos. Isso evidencia a necessidade de se utilizar conceitos como maturidade tecnológica e ciclo de desenvolvimento de produto para definir os critérios necessários para alcançar o objetivo desejado dessa RSL.

Características que foram possíveis de verificar são as formas como alguns bioinsumos são pesquisados, alguns trabalhos trouxeram como os tipos de bioinsumos passam por um processo até a chegada ao destino final, que, no caso, é o agricultor. Pois os agricultores precisam estar dispostos a comprar e aplicar, bem como estarem convencidos da sua eficácia, os principais fatores contribuintes incluem produção em larga escala, formulação, armazenamento, transporte e inoculação no campo (Adeleke *et al.*, 2022). Os agricultores que forneceram sua opinião sobre a utilidade bem-sucedida do produto (Panpatte *et al.*, 2021).

A qualidade dos bioinsumos é uma questão-chave para alcançar um melhor desempenho das culturas e aumentar o nível de adoção (Atieno *et al.*, 2020). Os autores complementam que o uso do produto com qualidade inconsistente pode trazer resultados com efeitos variados nas culturas, e também os agricultores tendem a perder a confiança nos produtos e na tecnologia em geral.

Atieno *et al.* (2020), coloca que o sistema de garantia de qualidade deve estar em vigor durante todo o processo de produção para garantir que a formulação seja segura, e que essa qualidade não seja perdida durante o armazenamento e nem no transporte. É necessário que ocorra controle de qualidade dos produtos finais e que isso ocorra em laboratórios independentes para garantir os padrões definidos em nível nacional ou internacional quanto à qualidade do produto, segurança e eficácia, para que esta seja atendida.

O sucesso da tecnologia de biofertilizantes, sendo este um bioinsumos muito destacado entre as pesquisas, depende da articulação tripartite entre pesquisa, formulação do produto e comportamento dos agricultores (Reddypriya; Soumare; Balachandar, 2019). Os autores complementam que a reformulação dos padrões de qualidade do biofertilizante é uma necessidade de hora em hora para determinar as linhagens utilizadas para a produção comercial, de modo a garantir sua estabilidade genética. A qualidade é a principal preocupação da tecnologia de biofertilizantes, que muitas vezes leva a um desempenho ruim no campo e, assim, perde a confiança dos agricultores.

Alguns estudos apontaram da importância do tipo de bioinsumo passar pelo processo de análise e testes em laboratório, podendo ser em laboratórios de universidades, pois são experimentos que podem ser combinados com diferentes tipos de ensaios, propondo sempre melhoria na sua eficácia (Agaras *et al.*, 2020) (García *et al.*, 2020) (Helal; El-Khawas; Elsayed, 2022) (Maldaner *et al.*, 2022) (Mundim; Maciel; Mendes, 2022).

Estudos realizados em laboratório são importantes, pois é possível realizar todos os tipos de ensaios, porém alguns autores destacam a necessidade de uma avaliação a campo, é importante realizar estudos em campo, pois consegue extrair situações que em laboratório fica difícil, como por exemplo, o clima, que envolve diferença de temperatura, chuvas, entre outros, sendo esta uma forma de comprovar os resultados que testes de laboratórios trouxeram (Alvarez-Iglesias *et al.*, 2018) (Garcia; Nogueira; Hungria, 2021) (Nguefack *et al.*, 2022). Pardo-Muras *et al.*, (2018) destaca que, é necessário para avaliar a eficácia do bioinsumo sob abordagens de campo realistas, pois o solo pode comprometer o que o resultado de laboratório trouxe.

Herrmann e Lesueur (2013) colocam que a maior parte da literatura relata a avaliação de alguns tipos de bioinsumos sob condições controladas e não em condições de campo. Os autores enfatizam que a comercialização bem-sucedida de novos produtos depende principalmente das ligações entre a pesquisa (para formular o melhor produto), o setor privado (para aumentar a produção, estabelecer um meio economicamente viável e sustentável cadeia de mercado) e o comportamento dos agricultores, sendo estes os usuários finais. Outra questão é buscar que os agricultores mudem o pensamento em relação ao uso de bioinsumos, com isso incentiva pesquisa na área (Sánchez; Ospina; Montoya, 2017).

Implicitamente, ou seja, não houve descrição de forma de clara e objetiva, mas que ficou subentendido, seguindo os conceitos abordados nas seções anteriores, criou-se um ciclo de desenvolvimento dos bioinsumos. Para isso, observou-se o que as pesquisas, descritas acima traziam para o conceito de desenvolvimento do produto, para assim formular uma base para a construção de um método para mensuração de maturidade para os bioinsumos.

Para que uma abordagem seja válida, é importante abordar e considerar todas as fases do ciclo de desenvolvimento de um produto. O ciclo de desenvolvimento de um produto consiste em etapas consecutivas e interligadas que um projeto ou produto passa, desde seu início até a sua conclusão (Siedler *et al.*, 2021, p. 432).

O quadro 4 mostra as etapas do desenvolvimento dos bioinsumos encontradas com os respectivos autores que descrevem em seus trabalhos a respeito do assunto, para posterior montagem da figura 2. O quadro oferece uma visão do processo de desenvolvimento do bioinsumo, fornecendo uma base sólida para avançar nas fases subsequentes do desenvolvimento do produto.

Quadro 4 - Etapas do desenvolvimento dos bioinsumos com os respectivos autores

Etapas do Desenvolvimento	Autores
PESQUISA	(Reddypriya; Soumare; Balachandar, 2019) (Agaras <i>et al.</i> , 2020) (García <i>et al.</i> , 2020) (Helal; El-Khawas; Elsayed, 2022) (Maldaner <i>et al.</i> , 2022) (Mundim; Maciel; Mendes, 2022).
TESTES EM LABORATÓRIO	(Herrmann; Lesueur, 2013) (Reddypriya; Soumare; Balachandar, 2019)
ESTUDOS EM CAMPO	(Alvarez-iglesias <i>et al.</i> , 2018) (Garcia; Nogueira; Hungria, 2021) (Nguefack <i>et al.</i> , 2022)
PRODUÇÃO	(Atieno <i>et al.</i> , 2020) (Adeleke <i>et al.</i> , 2022)
AGRICULTOR	(Sánchez; Ospina; Montoya, 2017) (Reddypriya; Soumare; Balachandar, 2019) (Atieno <i>et al.</i> , 2020) (Panpatte <i>et al.</i> , 2021) (Adeleke <i>et al.</i> , 2022)

Fonte: os autores (2022).

A figura 3 mostra o ciclo de desenvolvimento dos bioinsumos a partir da RSL, na qual mostrou que o seu início se dá por meio de pesquisas, ou seja, a busca na literatura para possíveis desenvolvimento de produtos, no que abrange a classe dos bioinsumos. Seguido por testes em laboratório, pois, por se tratar de um produto que necessita de desenvolvimento por meio de formulações compostas por células microbianas vivas, como é o exemplo do biofertilizante, há necessidade que esses estudos sejam iniciados em laboratórios.

Para que, de fato, os ensaios em laboratório tenham resultados positivos, os testes em campo são necessários, pois fornecem outras condições que o ambiente laboratorial não fornece. Por fim, a produção na indústria e o agricultor, como consumidor final, sendo esses dois os últimos estágios do ciclo de desenvolvimento do produto. O agricultor, como mencionado é o último estágio, pois é ele que define se o produto está apto para atender as suas necessidades ou não.

Figura 3 – Ciclo de desenvolvimento dos bioinsumos a partir da RSL



Fonte: os autores (2023).

Essas fases podem variar em detalhes dependendo do produto específico e do processo adotado. A primeira fase, de pesquisa, é a etapa inicial do desenvolvimento dos bioinsumos. Nessa fase, os cientistas e pesquisadores exploram diferentes fontes naturais, como microrganismos, plantas, extratos vegetais, compostos orgânicos, entre outros, em busca de substâncias bioativas com potencial para promover o

crescimento das plantas, protegê-las contra doenças e pragas, melhorar a qualidade do solo, entre outros benefícios agrícolas.

Após a identificação de potenciais compostos bioativos, eles são submetidos a testes em laboratório. Essa fase envolve a realização de estudos detalhados para avaliar a eficácia do bioinsumo no controle de doenças, promoção do crescimento vegetal, impacto na qualidade do solo, efeitos colaterais, entre outros aspectos relevantes. São utilizados modelos experimentais e técnicas laboratoriais para obter dados científicos sobre o funcionamento do bioinsumo.

Após a fase de testes em laboratório, os bioinsumos promissores avançam para a fase de testes em campo. Nessa etapa, os pesquisadores aplicam os bioinsumos em escala maior em parcelas experimentais em condições de campo real. Eles monitoram os efeitos dos bioinsumos nas plantas, no controle de pragas e doenças, na produtividade das culturas, bem como avaliam os possíveis efeitos ambientais.

Se os testes em campo demonstrarem resultados positivos, a produção em escala comercial dos bioinsumos é iniciada. Nessa fase, são estabelecidos os processos de produção, considerando a formulação do produto final, a escolha dos ingredientes e insumos necessários, bem como as boas práticas de fabricação. A produção pode envolver a fermentação de microrganismos, a extração de compostos de plantas, entre outros métodos, dependendo da natureza do bioinsumo.

Após a produção, os bioinsumos estão prontos para serem disponibilizados aos agricultores. Nessa fase, os agricultores têm a oportunidade de adquirir e testar os bioinsumos em suas lavouras. Eles avaliam o desempenho dos produtos em suas condições específicas, levando em consideração fatores como clima, solo, cultura, manejo agrícola, entre outros. Com base na experiência prática, o agricultor decide se o bioinsumo atende às suas necessidades e se é economicamente viável para o uso contínuo.

É importante ressaltar que esse é um processo geral e que cada fase pode exigir ajustes e iterações, conforme novas informações e descobertas surgem ao longo do desenvolvimento dos bioinsumos. Além disso, regulamentações governamentais podem ser aplicadas para garantir a segurança e eficácia dos bioinsumos antes de serem comercializados.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O escopo da classe de bioinsumos é amplo, incorporando diversos tipos de produtos. Entretanto, a literatura carece de métodos claros para mensurar a maturidade tecnológica desses produtos, bem como de abordagens específicas para seu ciclo de desenvolvimento. Essa lacuna ressalta a importância de empregar conceitos como maturidade tecnológica e ciclo de desenvolvimento na definição dos critérios necessários para alcançar os objetivos da RSL

A compreensão das etapas de desenvolvimento, a necessidade de controle de qualidade, testes em laboratório e estudos em campo, bem como a interação entre pesquisa e setor agrícola, demonstram a complexidade desse campo. Essas descobertas fundamentam a estruturação do ciclo de desenvolvimento dos bioinsumos e, conseqüentemente, embasam a criação de uma metodologia eficaz para a mensuração da maturidade tecnológica desses produtos. Esse arcabouço conceitual tem o potencial de direcionar pesquisas futuras, apoiar a inovação e impulsionar o setor de bioinsumos rumo a uma maior maturidade tecnológica e adoção pelos agricultores.

A compreensão das fases de desenvolvimento dos bioinsumos é uma peça fundamental para guiar o progresso dessa classe de produtos promissores. A literatura proporcionou um vislumbre inicial dessas etapas, lançando luz sobre os estágios que compõem o ciclo de vida dessas inovações agrícolas. Contudo, como toda jornada de pesquisa, a profundidade e a precisão dessas fases requerem a colaboração e a expertise de especialistas do campo. Embora essa revisão tenha avançado na compreensão da maturidade tecnológica dos bioinsumos e delineado o ciclo de desenvolvimento desses produtos, não foram abordados especificamente as restrições metodológicas ou as incertezas inerentes à avaliação da maturidade tecnológica. Além disso, a complexidade desse campo exige uma abordagem colaborativa. Para futuros estudos, recomenda-se uma análise mais detalhada das limitações metodológicas e uma colaboração ativa com profissionais experientes para aprofundar o entendimento das fases do ciclo de desenvolvimento dos bioinsumos.

REFERÊNCIAS

ADELEKE, B. S. *et al.* Strategies to Enhance the Use of Endophytes as Bioinoculants in Agriculture. **Horticulturae**, v. 8, n. 6, p. 498, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8060498>

ADRODEGARI, F.; SACCANI, N. A maturity model for the servitization of product-centric companies. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 31, n. 4, p. 775-797, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1108/JMTM-07-2019-0255>

AFONSO, R. A. *et al.* Brazilian smart cities: using a maturity model to measure and compare inequality in cities. In: **Proceedings of the 16th annual international conference on digital government research**. 2015. p. 230-238. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2757401.2757426>

AGARAS, B. C. *et al.* Biocontrol potential index of pseudomonads, instead of their direct-growth promotion traits, is a predictor of seed inoculation effect on crop productivity under field conditions. **Biological Control**, v. 143, p. 104209, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104209>

AGROLINK. **Mercado de biológicos está se consolidando no Brasil**. 22 mai. 2023. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/noticias/mercado-de-biologicos-esta-se-consolidando-no-brasil_479575.html. Acesso em: 25 ago. 2023.

ALEXANDER, G. L.; POWELL, K.; DEROCHE, C. B.; POPEJOY, L. *et al.* Building consensus toward a national nursing home information technology maturity model. **Journal of the American Medical Informatics Association**, 26, n. 6, p. 495-505, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1093/jamia/ocz006>

ALKHAZALEH, R.; MYKONIATIS, K.; ALAHMER, A. The success of technology transfer in the industry 4.0 era: A systematic literature review. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, v. 8, n. 4, p. 202, 2022.

AL-MATARI, O. M. M. *et al.* Adopting security maturity model to the organizations capability model. **Egyptian Informatics Journal**, 22, n. 2, p. 193-199, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eij.2020.08.001>

AL-MATOUQ, H. *et al.* A Maturity Model for Secure Software Design: A Multivocal Study. **IEEE Access**, 8, p. 215758-215776, 2020. DOI: [10.1109/ACCESS.2020.3040220](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3040220)

ALVAREZ-IGLESIAS, L. *et al.* Faba bean as green manure for field weed control in maize. **Weed Research**, v. 58, n. 6, p. 437-449, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/wre.12335>

ATIENO, M. *et al.* Assessment of biofertilizer use for sustainable agriculture in the Great Mekong Region. **Journal of environmental management**, v. 275, p. 111300, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111300>

BARROS LUNA, T.; SEVERO, E. A.; MEDEIROS, A. M.; MARINHO, L. P. A. Inovação, liderança e práticas ambientais na performance organizacional do setor bancário: Uma Survey no nordeste brasileiro. **Revista Gestão e Desenvolvimento**, v. 20, n. 1, p. 28-53, 2023. DOI: [10.25112/rgd.v20i1.2965](https://doi.org/10.25112/rgd.v20i1.2965)

BEIMS, R. F.; SIMONATO, C. L.; WIGGERS, V. R. Technology readiness level assessment of pyrolysis of tryglyceride biomass to fuels and chemicals. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 112, p. 521-529, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.017>

BEJARANO, J. B. P. *et al.* Open Innovation: A Technology Transfer Alternative from Universities. A Systematic Literature Review. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, p. 100090, 2023.

BERNAL, W. N.; ESPITALETA, K. L. G. Framework for Developing an Information Technology Maturity Model for Smart City Services in Emerging Economies:(FSCE2). **Applied Sciences**, v. 11, n. 22, p. 10712, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/app112210712>

CHAVES, A. O.; DA CRUZ, G. P. Avaliação das produções tecnológicas e de inovação em institutos federais de educação do Brasil. 2023. **Revista Gestão e Desenvolvimento**, v. 20, n. 1, p. 176–197, 2023. DOI: 10.25112/rgd.v20i1.3115

FASI, M. A. An Overview on patenting trends and technology commercialization practices in the university Technology Transfer Offices in USA and China. **World Patent Information**, v. 68, p. 102097, 2022.

GARCIA, M. V. C.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Combining microorganisms in inoculants is agronomically important but industrially challenging: case study of a composite inoculant containing Bradyrhizobium and Azospirillum for the soybean crop. **AMB Express**, v. 11, n. 1, p. 1-13, 2021.

GARCÍA, S. S. *et al.* Parabruckholderia tropica as a plant-growth-promoting bacterium in barley: characterization of tissues colonization by culture-dependent and-independent techniques for use as an agronomic bioinput. **Plant and Soil**, v. 451, n. 1, p. 89-106, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04174-y>

GULBRANSON, C. A.; AUDRETSCH, D. B. Proof of concept centers: accelerating the commercialization of university innovation. **The Journal of technology transfer**, v. 33, p. 249-258, 2008.

HELAL, D. S.; EL-KHAWAS, H. M.; ELSAYED, T. R. Bioactive secondary metabolites extracted from the plant growth promoting bacteria Parabruckholderia tropica. **Egyptian Journal of Chemistry**, v. 65, n. 6, p. 1-2, 2022. DOI: 10.21608/EJCHEM.2021.105421.4858

HERRMANN, L.; LESUEUR, D. Challenges of formulation and quality of biofertilizers for successful inoculation. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 97, n. 20, p. 8859-8873, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5228-8>

JÆGER, B.; HALSE, L. L. The IoT Technological Maturity Assessment Scorecard: A Case Study of Norwegian Manufacturing Companies. **In: Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing**, 2017. cap. Chapter 17, p. 143-150. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-66923-6_17

KAYSER, A. C.; SCHREIBER, D. Inovação nas empresas a partir de projetos colaborativos. **Revista Gestão E Desenvolvimento**, v. 10, n. 2, 2013. DOI: 10.25112/rgd.v10i2.1041

KNAGGS, M. *et al.* Application of systems readiness level methods in advanced fossil energy applications. **Procedia Computer Science**, v. 44, p. 497-506, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.071>

KYRIAKIDOU, V.; MICHALAKELIS, C.; SPHICOPOULOS, T. Assessment of information and communications technology maturity level. **Telecommunications Policy**, v. 37, n. 1, p. 48-62, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2012.08.001>

LEZAMA-NICOLAS, R. *et al.* A bibliometric method for assessing technological maturity: the case of additive manufacturing. **SCIENTOMETRICS**, 117, n. 3, p. 1425-1452, DEC 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-018-2941-1>

LINNENLUECKE, M. K.; MARRONE, M.; SINGH, A. K. Conducting systematic literature reviews and bibliometric analyses. **Australian Journal of Management**, v. 45, n. 2, p. 175-194, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1177/0312896219877678>

MAGNAYE, R. B.; SAUSER, B. J.; RAMIREZ-MARQUEZ, J. E. System development planning using readiness levels in a cost of development minimization model. **Systems Engineering**, v. 13, n. 4, p. 311-323, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1002/sys.20151>

MALDANER, J. *et al.* Bioherbicide and anesthetic potential of Aniba canelilla essential oil, a contribution to the demands of the agricultural sector. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 42, p. 102353, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102353>

MUNDIM, G. S. M.; MACIEL, G. M.; MENDES, G. O. Aspergillus niger as a Biological Input for Improving Vegetable Seedling Production. **Microorganisms**, v. 10, n. 4, p. 674, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10040674>

NEVES, M. F.; CAMBAÚVA, V.; CASAGRANDE, B. P. **Os grandes números do mercado de bioinsumos em 2021. Agrivalle**. Disponível em: <https://www.agrivalle.com.br/marcos-fava/numeros-do-mercado-de-bioinsumos/>. Acesso em: 25 ago. 2023.

PAGE, M. J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **Systematic reviews**, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4>

PANPATTE, D. G. *et al.* Fortified bacterial consortium—A novel approach to control root knot nematode in cucumber (*cucumis sativum*). **Biological Control**, v. 155, p. 104528, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104528>

PIROLA, F.; CIMINI, C.; PINTO, R. Digital readiness assessment of Italian SMEs: case-study research. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, n. 5, p. 1045-1083, 2020.

PUHAR, J. *et al.* Technology Readiness Level Assessment of Formalin Production Pathways. **Chemical Engineering Transactions**, v. 88, p. 607-612, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3303/CET2188101>

RAFAEL, L. D. *et al.* An Industry 4.0 maturity model for machine tool companies. **Technological forecasting and social change**, v. 159, p. 120203, 2020.

RAMIREZ-MARQUEZ, J. E.; SAUSER, B. J. System development planning via system maturity optimization. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 56, n. 3, p. 533-548, 2009. DOI: 10.1109/TEM.2009.2013830.

REDDYPRIYA, P.; SOUMARE, A.; BALACHANDAR, D. Multiplex and quantitative PCR targeting SCAR markers for strain-level detection and quantification of biofertilizers. **Journal of basic microbiology**, v. 59, n. 1, p. 111-119, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/jobm.201800318>

ROBINSON, K. A.; SALDANHA, I. J.; MCKOY, N. A. Development of a framework to identify research gaps from systematic reviews. **Journal of clinical epidemiology**, v. 64, n. 12, p. 1325-1330, 2011.

SÁNCHEZ, Ó. J.; OSPINA, D. A.; MONTOYA, S. Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. **Waste management**, v. 69, p. 136-153, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.012>

SAUSER, B. J. *et al.* A system maturity index for the systems engineering life cycle. **International Journal of Industrial and Systems Engineering**, v. 3, n. 6, p. 673, 2008.

SERGEY, A. B.; ALEXANDR, D. B.; SERGEY, A. Terehov. Proof of concept center—a promising tool for innovative development at entrepreneurial universities. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 166, p. 240-245, 2015.

SIEDLER, C. *et al.* Maturity model for determining digitalization levels within different product lifecycle phases. **Production Engineering**, v. 15, n. 3, p. 431-450, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-021-01044-4>

SINGH, A.; GILL, S. S. Measuring the maturity of Indian small and medium enterprises for unofficial readiness for capability maturity model integration based software process improvement. **Journal of Software: Evolution and Process**, v. 32, n. 9, p. e2261, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/smr.2261>

SINGH, A.; GILL, S. S. Measuring the maturity of Indian small and medium enterprises for unofficial readiness for capability maturity model integration based software process improvement. **Journal of Software: Evolution and Process**, v. 32, n. 9, p. e2261, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/smr.2261>

SUMMITAGRO. **Mercado de bioinsumos cresce e tem futuro promissor no Brasil**. 30 jun. 2023. Disponível em: <https://summitagro.estadao.com.br/sustentabilidade/mercado-de-bioinsumos-cresce-e-tem-futuro-promissor-no-brasil/>. Acesso em: 25 ago. 2023.

VIK, J. *et al.* Balanced readiness level assessment (BRLa): A tool for exploring new and emerging technologies. **Technological Forecasting and Social Change**, 169, p. 120854, 2021/08/01/ 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120854>