

BIOESTIMULANTES E SEU PAPEL NA CONSTRUÇÃO DE UM FUTURO SUSTENTÁVEL

João Gabriel Dumont Negrelli 

Universidade Estadual de Maringá,
Campus Sede
pg404536@uem.br

Vitor Hugo Piva Boeira 

Universidade Estadual de Maringá,
Campus Sede
ra127317@uem.br

Camila Oliveira de Andrade 

Universidade Estadual de Maringá,
Campus Sede
pg404535@uem.br

Natieli Jenifer Mateus Corniani 

Universidade Estadual de Maringá,
Campus Sede
pg404537@uem.br

Julia Calvi Mori 

Universidade Estadual de Maringá,
Campus Sede
juliacmori@gmail.com

Julio Cesar Polonio 

Universidade Estadual de Maringá,
Campus Sede
jcpolonio2@uem.br

Helio Conte 

Universidade Estadual de Maringá,
Campus Sede
hconte@uem.br

Resumo

A crescente demanda por alimentos decorrente do aumento populacional tenderá a aumentar significativamente ao passar dos anos. Consequentemente, métodos cada vez mais eficientes e ecologicamente corretos devem ser implementados com propósito de garantir segurança alimentar para as próximas gerações. Dados da literatura apontam uma insustentabilidade repleta de problemas relacionados ao uso de agroquímicos tradicionais devido a questões ambientais e de saúde. Por consequência, estudos e aplicações voltados para o uso de bioestimulantes no meio agrícola têm se tornado cada vez mais intensos. Assim, o presente trabalho buscou referenciar artigos de até 20 anos, apresentando uma série de dados pertinentes ao uso de bioestimulantes na produção agrícola, focando nas demandas atuais e seus desafios. Os resultados destacam que bioestimulantes são produtos que estimulam processos naturais nas plantas, melhorando a absorção de nutrientes, a eficiência nutricional, a tolerância ao estresse biótico e abiótico e, consequentemente, na qualidade da cultura. Nesse contexto, os microrganismos benéficos associados às plantas desempenham um papel importante na agronomia, uma vez que promovem o crescimento vegetal, aumentam a tolerância ao estresse e ativam mecanismos de defesa. Diante disso, os bioestimulantes oferecem uma alternativa mais sustentável para a agricultura, promovendo a produtividade das culturas de forma segura, reduzindo o uso de agroquímicos recalcitrantes e prejudiciais à saúde e ao ambiente. Portanto, destaca-se a importância dos bioestimulantes na construção de uma agricultura sustentável e na busca por uma economia circular, sendo necessária a continuidade dos estudos para compreensão dos complexos mecanismos de ação desses bioprodutos e estimular o seu uso.

Palavras-chave: Agricultura sustentável, Biocontrole, Bioinsumos, Promoção de crescimento vegetal

BIOSTIMULANTS AND THEIR ROLE IN BUILDING A SUSTAINABLE FUTURE

Abstract

The growing demand for food resulting from population growth is expected to increase significantly in the coming years. Consequently, increasingly efficient and environmentally friendly methods need to be implemented to ensure food security for future generations. Literature data point to an unsustainable scenario filled with problems related to the use of traditional agrochemicals due to environmental and health issues. As a result, studies and applications focused on the use of biostimulants in agriculture have become increasingly intense. Therefore, this study aimed to reference articles from up to 20 years ago, presenting a series of relevant data on the use of biostimulants in agricultural production, focusing on current demands and challenges. The results highlight that biostimulants are products that stimulate natural processes in plants, improving nutrient absorption, nutritional efficiency, tolerance to biotic and abiotic stress, and consequently, crop quality. In this context, beneficial microorganisms associated with plants play an important role in agronomy as they promote plant growth, increase stress tolerance, and activate defense mechanisms. In light of this, biostimulants offer a more sustainable alternative for agriculture, promoting crop productivity in a safe manner, reducing the use of persistent agrochemicals that are harmful to health and the environment. Therefore, the importance of biostimulants in building a sustainable agriculture and striving for a circular economy is emphasized, with the need for further studies to understand the complex mechanisms of action of these bioproducts and to encourage their use.

Keywords: Sustainable agriculture, Biocontrol, Bioinputs, Plant growth promotion.

1. INTRODUÇÃO

Projeções atuais indicam que a população mundial terá uma tendência a aumentar nos próximos anos, com perspectiva para atingir entre 9,7 e 10 bilhões de seres humanos em 2050 (FUKASE; MARTIN, 2020). Neste cenário, um dos grandes desafios modernos é a garantia de segurança alimentar, no qual faz-se necessário maximizar a qualidade e produtividade das culturas (DEL BUONO, 2020). Assim, o desenvolvimento da agricultura se consolida como uma das causas mais importantes para a sobrevivência humana (KOPITTKE et al. 2019).

Em contrapartida, é estimado que as pestes agrícolas tendem a reduzir a produção de alimentos ao redor do mundo entre 18% e 25% ao ano, além dos patógenos que poderão ser responsáveis por mais 10% e 15% desta redução (MOHAMMAD-RAZDARI et al. 2022). Portanto, para alcançar as demandas das lavouras, serão necessárias cerca de 65 mil toneladas de pesticidas e mais de 2,16 milhões de toneladas de fertilizantes minerais anualmente para atingir os rendimentos desejados na agricultura (DAVYDOV et al. 2018).

O uso exacerbado de agroquímicos, além dos resíduos urbanos, de indústrias, entre outros, levam à contaminação do ambiente, um problema que afeta diretamente a cadeia alimentar, ameaçando a segurança ecológica e

à saúde humana (FAYIGA; SAHA, 2016). Para poder solucionar este problema, tem-se destacado a necessidade de uma agricultura sustentável a fim de preservar os agroecossistemas naturais para as gerações futuras, além de outras soluções como o apoio governamental para a dedicação de mais recursos à melhoria ambiental (WAINAINA et al. 2020) e à busca por alternativas relacionadas como o biocontrole, biorremediação e bioinsumos como os biocontroladores e bioestimulantes para a agricultura.

2. METODOLOGIA

De acordo com a legislação da união européia (2019/1009), os microrganismos usados na agricultura são divididos entre: bioestimulantes e biopesticidas (POVEDA; GONZÁLEZ-ANDRÉS, 2021). A definição de bioestimulantes pode ser dita como:

materiais que contêm substâncias e/ou microrganismos, cuja função, quando aplicados às plantas ou à rizosfera, é estimular processos naturais para aumentar/beneficiar a absorção de nutrientes, eficiência de nutrientes, tolerância ao estresse abiótico e/ou qualidade da cultura, independentemente do seu teor de nutrientes (EBIC, 2016).

Já os biopesticidas microbianos são aqueles que protegem a colheita de pestes e doenças, seja de forma direta ou indireta (POVEDA; GONZÁLEZ-ANDRÉS, 2021; POVEDA et al. 2022).

Neste sentido, microrganismos associados aos vegetais, sejam eles endofíticos, epífitos ou rizosféricos, desempenham um papel importante na agronomia. Estes podem formar relações benéficas com as plantas e melhorar sua produtividade por meio de uma fonte direta de nutrientes e substâncias promotoras do crescimento, podem ainda prover aumento na tolerância a estresses bióticos e abióticos assim como na ativação de seus mecanismos de defesa (UMESHA et al. 2018; YADAV et al. 2020).

Portanto, esta revisão visa apresentar e discutir dados publicados nos últimos 20 anos sobre como os bioestimulantes podem agregar na agricultura moderna, com enfoque no aumento da produção de alimentos e na redução da degradação ambiental por insumos agrícolas, além de apresentarem novas oportunidades para produtores, consumidores e indústrias, visando a construção de uma economia circular.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Agroquímicos

Os pesticidas químicos podem ser absorvidos pelo corpo humano através de três meios comuns: inalação pelos pulmões, contato pela pele e ingestão. A forma física do produto, seja sólido, líquido ou gasoso, pode influenciar na absorção (BERTHET et al. 2014). Ainda, se as partículas sólidas do

pesticida são suficientemente pequenas ou permanecem na pele por tempo suficiente, a entrada no corpo pode ser igual à entrada de líquidos ou gases. A forma mais comum de intoxicação é através do contato com a pele. A absorção dérmica pode acontecer através de respingos e/ou derramamentos durante a manipulação do pesticida (MACFARLANE et al. 2013).

Levando em consideração os meios produtivos, o agricultor está sujeito a um risco ainda maior de contaminação, visto que a aplicação dos defensivos será realizada por ele. Além disso, alta exposição intencional, acidental ou ocupacional a pesticidas químicos pode resultar na hospitalização da vítima ou até mesmo na morte (KHURSHEED et al. 2022). De acordo com a Organização Mundial da Saúde, aproximadamente 1.000.000 pessoas sofrem de envenenamento por contato com pesticidas, com uma média de mortes entre 0,4% e 1,9% todo ano (EDDLESTON, 2020, JIA et al. 2020, QIU et al. 2017, THUNDIYIL et al. 2008).

A exposição a pesticidas sintéticos/químicos resulta no desenvolvimento de diferentes distúrbios de saúde aos trabalhadores agrícolas, dentre eles pode-se citar disfunções em glândulas como a tireoide (MINISTÉRIO DA SAÚDE BRASILEIRO, 2022), problemas metabólicos e respiratórios, distúrbios neurológicos, estresse oxidativo, danos genômicos e até mesmo diferentes formas de câncer (CURL et

al. 2020). Os efeitos nocivos dos pesticidas químicos na saúde não se limitam à exposição direta, eles também impactam indiretamente como, por exemplo, através da contaminação das fontes de água podendo afetar diferentes formas de vida (HASSAAN et al. 2020).

Dentre as classes de pesticidas, os organofosforados (OP) são o tipo mais comum representando 45% do mercado mundial de pesticidas (MALI et al. 2023). A presença intensiva de OP no meio ambiente e nos sistemas vivos têm sido uma fonte de preocupação devido à sua toxicidade e propriedades cancerígenas inclusive para animais não-alvo impactando negativamente na saúde ambiental (MALI et al. 2023). Dentre os países, a Índia é responsável por um terço dos casos globais de envenenamento por pesticidas devido à alta taxa de contaminação do solo e água (JAIN et al. 2019). Segundo a literatura, a intoxicação aguda por OP pode causar disfunção colinérgica aguda, fraqueza muscular, convulsões, coma e insuficiência respiratória. Essa classe de pesticidas estimula receptores de acetilcolina, bem como receptores adrenérgicos, acarretando danos no sistema nervoso central e periférico (EDDLESTON et al. 2008). Com isso, paralisias respiratórias e paradas cardíacas são as principais causas de morte para pacientes envenenados pelos OP (FUKUSHIMA et al. 2010). Além disso, estudos demonstram que existe uma relação significativa envolvendo envenenamento agudo causado por OP e doenças cardiovasculares as quais podem

persistir por mais de 6 anos (HUNG et al. 2015).

Além dos OP, outra classe de pesticida são os organoclorados (OCP), substâncias quimicamente estáveis que persistem no meio ambiente e podem se acumular nos tecidos adiposos (WALISZEWSKI et al. 2003). Em humanos, os OCP e/ou seus metabólitos geralmente afetam o sistema nervoso central, alterando as enzimas da membrana nervosa e suas propriedades. Este efeito, consolidado através do envenenamento agudo, pode causar sintomas como convulsões, interrupção da respiração e morte (HASSAAN et al. 2020).

Já a classe de pesticidas carbamatos são ésteres derivados de ácidos dimetil-N-metilcarbâmicos. São menos persistentes que os OCP e os OP, mas também agem inibindo a acetilcolinesterase (GARCIA et al. 2012). A intoxicação por carbamato é comumente causada por ingestão intencional ou exposição cutânea em áreas recentemente tratadas com inseticidas, sendo que os sintomas podem aparecer rapidamente devido à forma como os diferentes carbamatos são processados no corpo (SILBERMAN; TAYLOR, 2022)

3.2 Adubação química tradicional

Para impulsionar o crescimento econômico e garantir a segurança alimentar e nutricional são necessários solos saudáveis, estes auxiliarão ainda na mitigação das mudanças climáticas e redução da poluição difusa (LAL, 2016). Atualmente, os

fertilizantes enriquecem o solo através de macro e micronutrientes de origem sintética. Quando aplicados, estes fertilizantes sintéticos se desmancham em compostos químicos que são absorvidos pelas raízes como nutrientes. Em geral, os fertilizantes possuem um custo-benefício atraente para seus compradores, além de possuírem alta disponibilidade no mercado, fácil transporte e aplicação, entretanto seu uso desenfreado pode trazer diversos problemas (CHEN et al. 2017).

Visando a alimentação da população mundial, é necessário a intensificação da produção agrícola a um novo nível. Tecnologias agrícolas avançadas, como métodos eficientes de fertilização, são requisitados para atender à demanda por alimentos. Porém, o uso excessivo de fertilizantes sintéticos leva a riscos ambientais como danos na estrutura do solo, acidificação, salinização, declínio de nutrientes e produtividade, perturbação da comunidade biótica do solo e redução da atividade enzimática (GOU et al. 2010; BENDER et al. 2016; HASLER et al. 2017).

Devido ao uso relativamente alto dos fertilizantes que contém sódio e potássio, o solo pode ter seu pH alterado. Além disso, o seu uso demasiado desestrutura o balanço natural do ecossistema local (SAVCI, 2012). Após a aplicação de fertilizantes à base de fósforo, a salinidade do meio tenderá a aumentar, o que levará a uma inibição do processo de nitrificação, resultando em uma

menor taxa de conversão de amônia (NH₃) em nitrato e nitrogênio (PIRHADI, 2018; PAHALVI et al., 2021). Já em relação às enzimas, o uso excessivo de fertilizantes tende a desfavorecer a atividade de desidrogenases, prejudicando a saúde do solo local (XIE, et al. 2009).

Em sua maioria, os fertilizantes utilizados para o crescimento e desenvolvimento da planta são ricos em nitrogênio, fósforo e potássio, também chamados de NPK. (NADARAJAN; SUKUMAN, 2021). No entanto, os fertilizantes não estão apresentando os resultados esperados, pois, mais de um terço dos recursos do solo em todo o mundo estão sofrendo degradação devido à agricultura intensiva e ao manejo inadequado da terra (ROJAS et al. 2016).

Sabe-se que a degradação do solo reduz o rendimento das culturas e diminui os serviços ecossistêmicos (LI et al. 2022). Além disso, a falta de insumos de matéria orgânica também pode resultar em uma diminuição gradual de carbono no solo (WANG et al. 2016). Esses fatores corroboram para que haja uma busca por alternativas que resultem na melhor utilização dos macronutrientes e micronutrientes presentes nos solos.

3.3 Formulações de bioestimulantes

Os bioestimulantes são alternativas de formulações naturais que podem ser divididas

em bioestimulantes microbianos e não microbianos com base em suas fontes de origem. Exemplos de fontes de bioestimulantes microbianos são produtos fermentados, consórcio de fungos e bactérias, resíduos orgânicos entre outros. Já exemplos de fontes não-microbiana de bioestimulantes são produtos à base de plantas, substâncias proteicas e ácidos (MALIK et al. 2021).

Recentemente, vários tipos de bioestimulantes de crescimento de plantas estão sendo utilizados globalmente. Diferentes pesquisas mostraram a importância dessas substâncias para aumentar a produção agrícola e protegê-las de vários perigos bióticos, principalmente os bioestimulantes microbianos (BEN MRID et al. 2021).

Para que um agente microbiano bioestimulante, de biocontrole ou biofertilizante seja eficaz, deve ser fabricado visando sua aplicação em lavouras. A formulação ideal deve ser simples, de baixo custo e de fácil transporte. A escolha da forma líquida ou sólida é de suma importância, pois afeta a vida útil e o método de aplicação (MERCADO-BLANCO et al. 2014). Além disso, a preservação da biomassa microbiana durante o processo de fabricação é crucial, e o método escolhido deve priorizá-la. Outros fatores a serem considerados incluem adesão e cobertura de células microbianas no local alvo e sua viabilidade após a aplicação.

Dentre as formulações sólidas, estes podem ser encontrados em grânulos,

microgrânulos, ainda como pó ou pó molhável, enquanto as formulações líquidas podem ser à base de água, óleo ou uma emulsão (BASHAN et al. 2014). Ambas as formas sólidas e líquidas são usadas para fabricar inoculantes bacterianos.

Do ponto de vista da bioformulação, as melhores cepas são bactérias gram-positivas esporuladoras devido à sua alta resistência a vários tratamentos. Da mesma forma, os fungos esporulados são frequentemente adequados para formulações secas, como pó ou grânulos (KAUR et al. 2010; WOO et al. 2014). No entanto, muitos biofertilizantes ou cepas de biocontrole pertencem a bactérias gram-negativas, o que torna a bioformulação mais desafiadora devido a estes microrganismos serem mais sensíveis a condições ambientais (KAMILOVA et al. 2014). Contudo, a literatura ainda relata que as formulações secas de bactérias gram-negativas têm sido bem-sucedidas (YOUNG et al. 2010; MEJRI et al. 2013).

O processo de formulação pode ser um gargalo no desenvolvimento de um produto de biocontrole ou biofertilizante, e prevenir a contaminação é um aspecto fundamental. Um processo de fabricação simples e de baixo custo é desejável, mas produzir a cepa em condições estéreis pode aumentar significativamente os custos (ARORA et al. 2016).

Um importante microrganismo já utilizado comercialmente em diversos lugares

é a bactéria *Azospirillum*, uma bactéria fixadora de nitrogênio que colonizam as raízes de plantas gramíneas, como o milho, e pode atuar como um bioestimulante, promovendo o crescimento e melhorando a absorção de nutrientes pelas plantas, atuando como um

excelente bioestimulante (FUKAMI et al. 2018). Na tabela 1 são demonstrados alguns outros micróbios com capacidade de biocontrole e promoção de crescimento vegetal.

Tabela 1 – Exemplos de microrganismos bioestimulantes com potencial para biocontrole e bioestimulação baseados em dados disponíveis na literatura publicados entre os anos de 2004 e 2022.

Microrganismo	Atuação	Referência
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Solubilização e mineralização de fósforo, produção de fitormônios, sideróforos e antibióticos em milho, trigo;	DEAMBROSI et al. 2004; PARANI et al. 2012
	Biocontrole da ferrugem da bainha (<i>Rhizoctonia Solani</i>) no arroz;	KUMAR et al. 2009
	Biocontrole da ferrugem e podridão causada por <i>Phytophthora capsici</i> em pimenta preta;	NYSANTH et al. 2022
	Biocontrole de fogo bacteriano (<i>Erwinia amylovora</i>);	SHARIFAZIZI et al. 2017; CABREFIGA et al. 2007
<i>Pseudomonas chlororaphis</i>	Biocontrole de <i>Galleria mellonella</i> e <i>Plutella xylostella</i> ;	FLURY et al. 2017
	Produção de compostos fungicidas como 2-hidroxifenazina, ácido 2-hidroxi-fenazina-1-carboxílico e fenazina-1 -ácido carboxílico;	LIU et al. 2016.
<i>Pseudomonas syringae</i>	Controle Mofo-branco, Mofo-cinza, mofo-verde e podridão-de-mucor, pós-colheita em maçãs, peras, e frutas cítricas;	BETTIOL et al. 2012
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Biocontrole de <i>Fusarium spp.</i> em grão-de-bico e gandu <i>Pythium splendens</i> em feijão e <i>Pythium myriotylum</i> em inhame;	SAH et al. 2021
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Promoção de crescimento vegetal em tomates;	JI et al. 2021
	Solubilização de fosfato e de fósforo, produção de compostos antifúngicos e antibacterianos;	LUO et al. 2022
<i>Bacillus megaterium</i>	Solubilização de fósforo em tomates;	YOUSSEF; EISSA. 2019
<i>Azotobacter chroococcum</i>	Melhora a disponibilidade de nitrogênio em milho e brócolis;	ALAFEEA et al. 2019

3.4 O potencial da bioestimulação

Em relação aos bioestimulantes não-microbianos, um exemplo bastante utilizado são os extratos de algas marinhas, substância que contém importantes fontes de diversos compostos antimicrobianos como

fitohormônios, lipídios, carboidratos, proteínas, aminoácidos e osmoprotetores, além de servirem como suplemento que auxiliam no crescimento e no desenvolvimento de mecanismos de defesa inata das plantas (BATTACHARYYA et al.

2015; NABTI *et al.* 2016; CARVALHO *et al.* 2018).

Segundo a literatura, em culturas hortícolas, o uso de bioestimulantes à base de extrato de algas marinhas aumenta o vigor das sementes, como exemplo no feijão (COLLA *et al.* 2015) e pode desencadear a biossíntese de prolina nas folhas durante as condições de seca (PARADIKOVIC *et al.* 2014).

Outro exemplo de bioestimulantes não-microbianos são os compostos fenólicos floroglucina e eckol, isolados da alga marinha *Ecklonia maxima* que apresentaram efeitos estimulatórios no desenvolvimento de partes da planta *Eucomis autumnalis* (AREMU *et al.* 2015). Além disso, em outro estudo envolvendo eckol, foi apresentado a imersão de grãos de *Zea mays* o qual gerou um aumento do enraizamento de suas mudas (RENGASAMY *et al.* 2015).

O acúmulo de compostos fenólicos é um método padrão usado pelas plantas para lidar com vários tipos de estresses abióticos (BHARDWAJ *et al.* 2017). Esses compostos desempenham um papel na ativação de várias vias regulatórias, incluindo transdução de sinal e vias de expressão gênica. Os extratos fenólicos têm sido extensivamente pesquisados por sua capacidade de aliviar estresses abióticos, especialmente estresse de seca e salinidade (LI *et al.* 2013; WAN *et al.* 2014; OZFIDAN-KONAKCI *et al.* 2015).

Estudos demonstraram que a aplicação de ácido gálico pode proteger as plantas de arroz (*Oryza sativa*) contra o estresse osmótico e salino, aumentando a atividade de enzimas antioxidantes que eliminam o peróxido de hidrogênio (H₂O₂) tornando-se assim mais saudáveis (OZFIDAN-KONAKCI *et al.* 2015).

O uso de bioestimulantes microbianos, para biocontrole e biofertilização foi sugerido por vários autores e reconhecido como uma alternativa ecológica para manter a produtividade e a segurança das culturas, minimizando o uso de fertilizantes químicos e pesticidas (SHARMA *et al.* 2020; PIRTTILÄ *et al.* 2021). Verificou-se que vários processos moleculares desempenham um papel na resposta de uma planta a microrganismos simbióticos, levando a um aumento de metabólitos secundários. Esse aumento de compostos promotores da saúde se deve à capacidade da planta de reagir a estressores ambientais, como estresse abiótico e patógenos (GANUGI *et al.* 2021).

A colonização competitiva do espaço e a persistência bem-sucedida nas zonas radiculares são pré-requisitos para a resistência efetiva de um micróbio de biocontrole aos fitopatógenos (LUGTENBERG; KAMILOVA, 2009). Esses microrganismos se estabelecem através da capacidade de formar colônias em biofilmes duradouros nas raízes das plantas, impedindo assim a contaminação por fitopatógenos

(RAAIJ MAKERS *et al.* 2010; ABDALLAH *et al.* 2018; JI *et al.* 2021).

Além disso, o uso de bioestimulantes microbianos também têm sido associado à melhoria da qualidade dos produtos agrícolas, uma vez que a ativação do sistema de defesa da planta induzida pela presença desses microrganismos pode levar a um aumento na produção de compostos bioativos, como antioxidantes, flavonoides e polifenóis. Esses compostos podem ter um impacto positivo na saúde humana, devido às suas propriedades anti-inflamatórias, antitumorais e neuroprotetoras (CHEN *et al.* 2020; GARCÍA-SÁNCHEZ *et al.* 2021). Portanto, o uso de bioestimulantes microbianos pode ser uma estratégia promissora para a produção agrícola sustentável e para a promoção da saúde humana.

Sendo bem perceptível no ano de 2019, houve um crescimento significativo de mais de 70% na fabricação de produtos biológicos destinados ao controle de pragas e doenças agrícolas no Brasil, movimentando cerca de R\$ 464,5 milhões, comparado aos R\$ 262,4 milhões registrados em 2017. Esse resultado foi considerado o mais expressivo da história do setor no país e superando o aumento percentual observado no mercado internacional (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA, 2019).

A indústria agrícola global está mudando rapidamente para formas mais

sustentáveis de aumentar a produtividade e proteger as plantações, levando a um mercado crescente de produtos biológicos agrícolas, como bioestimulantes, biopesticidas e biofertilizantes. O mercado para esses produtos a base biológica deve atingir US\$ 19,5 bilhões até 2031, com o mercado de bioestimulantes avaliado em US\$ 7,5 bilhões e o mercado de biopesticidas avaliado em US\$ 12 bilhões (IDTECHEX, 2021), desta forma o estudo e desenvolvimento de pesquisas na área são essenciais para atender as perspectivas de mercado e atingir uma agricultura mais sustentável.

4. CONCLUSÕES

Conforme a população mundial aumenta, novos desafios para a agricultura se apresentam e, conseqüentemente, alternativas cada vez mais eficientes devem ser estudadas e aprofundadas. Entre esses novos estudos, o uso de bioestimulantes se destacam, apresentando-se como uma metodologia eficaz permitindo o uso dos recursos naturais envoltos no meio agrícola de forma sustentável, preservando o mesmo para as gerações futuras. Desta forma, encontramos diversos problemas relativos aos agroquímicos, a adubação tradicional e o efeito desses produtos no agricultor e no ecossistema local. Isso indica uma necessidade urgente de mudanças na agricultura tradicional.

Para isso, os bioestimulantes apresentam-se como ótimos agentes biológicos extremamente versáteis e variados, fornecendo vantagens econômicas ao incrementar na produtividade da planta, além de benefícios ambientais, ao remover a necessidade de introdução de químicos em meio ao plantio. Com base no nosso estilo de vida insustentável, é importante trazer novas metodologias e abordagens, para que as comunidades agrícolas deixem de lado as práticas tradicionais as quais não serão capazes de nos sustentar no futuro.

A agricultura já conta com bioestimulantes e agentes de biocontrole promissores que podem promover o desenvolvimento das plantas através de vários mecanismos que fornecem uma base teórica para a aplicação racional e eficaz de bioestimulantes na agricultura. Entretanto, é necessário que mais estudos em campo sejam desenvolvidos visando um aprofundamento cada vez maior no tema, além de permitir uma melhor introdução dos bioestimulantes nos meios agrícolas.

REFERÊNCIAS

- ABDALLAH, D.B.; FRIKHA-GARGOURI, O.; TOUNSI, S. Rizospheric competence, plant growth promotion and biocontrol efficacy of *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* Nstrain 32a. **Biol. Control**, v. 124, p. 61–67, 2018.
- ALAFEEA, R. A. A.; ALAMERY, A. A.; KALAF, I. T. Effect of biofertilizers on increasing the efficiency of using chemical fertilizers on the yield component of maize (*Zea mays* L.). **Plant Archives**, v. 19, n. 2, p. 303-306, 2019.
- AREMU, A. O. et al. Physiological role of phenolic biostimulants isolated from brown seaweed *Ecklonia maxima* on plant growth and development. **Planta**, v. 241, n. 6, p. 1313–1324, 12 fev. 2015.
- ARORA, N.K.; MISHRA, J. Prospecting the roles of metabolites and additives in future bioformulations for sustainable agriculture. **Applied Soil Ecology**, v. 107, p. 405-407, 2016.
- BASHAN, Y. et al. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013). **Plant and Soil**, v. 378, n. 1–2, p. 1–33, 19 maio 2014.
- BATTACHARYYA, D.; BABGOHARI, M. Z.; RATHOR, P.; PRITHIVIRAJ, B. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 39-48, 2015.
- BENDER, S. F.; WAGG, C.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A. An Underground Revolution: Biodiversity and Soil Ecological Engineering for Agricultural Sustainability. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 31, n. 6, p. 440–452, jun. 2016.
- BERTHET, A. *et al.* Human skin in vitro permeation of bentazon and isoproturon formulations with or without protective

clothing suit. **Archives of Toxicology**, v. 88, n. 1, p. 77–88, 3 jan. 2014.

BETTIOL, W. et al. Produtos comerciais à base de agentes de biocontrole de doenças de plantas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2012. 155 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 88). ISSN: 1517-5111.

BHARDWAJ, R. D.; KAUR, L.; SRIVASTAVA, P. Comparative evaluation of different phenolic acids as priming agents for mitigating drought stress in wheat seedlings. Proceedings of the National Academy of Sciences, **India Section B: Biological Sciences**, v. 87, n. 4, p. 1133-1142, 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária, Assuntos, Notícias, **Controle Biológico**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/feffmercado-de-biodefensivos-cresce-em-mais-de-50-no-brasil>. Acessado em 20 de fevereiro de 2023.

CABREFIGA, J. et al. Mechanisms of antagonism of *Pseudomonas fluorescens* EPS62e against *Erwinia amylovora*, the causal agent of fire blight. **International Microbiology**, v. 10, n. 2, p. 123-132, 2007.

CALCAGNILE, Matteo et al. *Bacillus velezensis* MT9 and *Pseudomonas chlororaphis* MT5 as biocontrol agents against citrus sooty mold and associated insect pests. **Biological Control**, v. 176, p. 105091, 2022.

CARVALHO, M. E. A.; CASTRO, P. R.; GAZIOLA, S. A.; AZEVEDO, R. A. Is seaweed extract an elicitor compound? Changing proline content in drought-stressed bean plants. **Comun. Sci.**, v. 9, p. 292-297, 2018.

CHEN, D. et al. Long-term application of manures plus chemical fertilizers sustained high rice yield and improved soil chemical and bacterial properties. **European Journal of Agronomy**, v. 90, p. 34–42, 1 out. 2017.

COLLA, G. et al. Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. **Sci. Hortic.**, v. 196, p. 28-38, 2015.

CURL, C. L. et al. Synthetic Pesticides and Health in Vulnerable Populations: Agricultural Workers. **Current Environmental Health Reports**, v. 7, n. 1, p. 13–29, 20 mar. 2020.

DAVYDOV, R. et al. The application of pesticides and mineral fertilizers in agriculture. **MATEC Web of Conferences**, v. 245, p. 11003, 5 dez. 2018.

DEAMBROSI, E.; MÉNDEZ, R.; ÁVILA, S. Eluacion de efectos del uso de rizofos en el cultivo de arroz. In: **Manejo De Suelos Y Nutrición Vegetal III: Fertilización**, Cap. 3, p. 39-42, 2004.

DEL BUONO, D. Can biostimulants be used to mitigate the effect of anthropogenic climate change on agriculture? It is time to respond. **Science of The Total Environment**, v. 751, p. 141763, jan. 2021.

EDDLESTON, M. Acute pesticide poisoning: a major global health problem. **World Health Organization**, 2020.

EDDLESTON, M. *et al.* Management of acute organophosphorus pesticide poisoning. **The Lancet**, v. 371, n. 9612, p. 597–607, fev. 2008.

FAYIGA, A. O.; SAHA, U. K. Soil pollution at outdoor shooting ranges: Health effects, bioavailability and best management practices. **Environmental Pollution**, v. 216, p. 135–145, set. 2016.

FLURY, P. *et al.* Antimicrobial and Insecticidal: Cyclic Lipopeptides and Hydrogen Cyanide Produced by Plant-Beneficial *Pseudomonas* Strains CHA0, CMR12a, and PCL1391 Contribute to Insect Killing. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, 2017.

FUKAMI, J.; CERZINI, P.; HUNGRIA, M. Azospirillum: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Expr**, v. 8, p. 73, 2018.

FUKASE, E.; MARTIN, W. Economic growth, convergence, and world food demand and supply. **World Development**, v. 132, p. 104954, ago. 2020.

FUKUSHIMA H, WATANABE T, ASAI H, YADA N, ITO S, SEKI T, UEYAMA T, URIZONO Y, NISHIO K, OKUCHI K. Out-of-hospital cardiac arrest caused by acute intoxication. **Chudoku Kenkyu**. 2010 Mar;23(1):41-6. PMID: 20380321.

GANUGI, P.; MARTINELLI, E.; LUCINI, L. Microbial biostimulants as a sustainable approach to improve the functional quality in plant-based foods: a review. **Current Opinion in Food Science**, v. 41, p. 217-223, 2021.

GARCIA, F.P., ASCENCIO, S.Y.C., OYARZUN, J.G., HERNANDEZ, A.C., ALAVARADO, P.V., Pesticides: classification, uses and toxicity. Measures of exposure and genotoxic risks. **J. Res. Environ. Sci. Toxicol**, 1(11), 279-293, 2012.

GOU, M.; WANG, X.; JIN, Z.; ZHANG, F. Nutrient stoichiometry of plant growth and litter decomposition in a phosphorus limited forest. **Acta Oecologica**, v. 36, n. 1, p. 11-16, 2010.

GOVERNO DO BRASIL. Entenda o que é a tireoide e a importância de ficar atento com seu funcionamento adequado. **Ministério da Saúde, EBSEH**, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/ebserh/pt-br/comunicacao/noticias/entenda-o-que-e-a-tireoide-e-a-importancia-de-ficar-atento-com-seu-funcionamento-adequado>. Acesso em: 10 jan. 2023.

HASSAAN, M. A.; EL NEMR, A. Pesticides pollution: Classifications, human health impact, extraction and treatment techniques. **The Egyptian Journal of Aquatic Research**, v. 46, n. 3, p. 207–220, set. 2020.

HUNG, D.-Z. *et al.* The Long-Term Effects of Organophosphates Poisoning as a Risk Factor of CVDs: A Nationwide Population-Based Cohort Study. **PLOS ONE**, v. 10, n. 9, p. e0137632, 4 set. 2015.

IDTECHX, **Biostimulants and Biopesticides 2021-2031: Technologies, Markets and Forecasts**. Disponível em: <https://www.idtechex.com/es/research-report/biostimulants-and-biopesticides-2021-2031-technologies-markets-and-forecasts/773>. Acessado em 20 de Fevereiro de 2023.

JAIN, M. *et al.* Advances in detection of hazardous organophosphorus compounds using organophosphorus hydrolase based biosensors. **Critical Reviews in Toxicology**, v. 49, n. 5, p. 387–410, 28 maio 2019.

JI, C. L. *et al.* Genomic analysis reveals potential mechanisms underlying promotion of tomato plant growth and antagonism of soilborne pathogens by *Bacillus amyloliquefaciens* Ba13. **Microbiology Spectrum**, v. 9, n. 3, p. e01615-21, 2021.

JIA, Y.; SUN, Y.; MENG, F.; LIU, Y.; LIU, B.; LIU, J. Trends and challenges of global pesticide research from 1997 to 2016: a bibliometric analysis. **PeerJ**, v. 8, e9563, 2020.

KAMILOVA, F.; OKON, Y.; DE WEERT, S.; HORA, K. Commercialization of Microbes: Manufacturing, Inoculation, Best Practice for Objective Field Testing, and Registration. **Principles of Plant-Microbe Interactions**. Proceedings of the 6th International Symposium on Plant-Soil Interactions at Low pH, p. 319-327, 2014.

KAUR, R.; KAUR, J.; S. SINGH, R. Nonpathogenic *Fusarium* as a Biological Control Agent. **Plant Pathology Journal**, v. 9, n. 3, p. 79–91, 15 jun. 2010.

KHURSHEED, A. *et al.* Plant based natural products as potential ecofriendly and safer biopesticides: A comprehensive overview of their advantages over conventional pesticides, limitations and regulatory aspects. **Microbial Pathogenesis**, v. 173, p. 105854, dez. 2022.

KOOLAYAN, S.; PARANI, K.; SAHA, B. Prospects of Using Phosphate Solubilizing *Pseudomonas* as Bio Fertilizer. **European Journal of Biological Sciences**, v. 4, n. 2, p. 25-31, 2012. Disponível em: [https://www.idosi.org/ejbs/4\(2\)12/6.pdf](https://www.idosi.org/ejbs/4(2)12/6.pdf). Acesso em: 01 abr. 2023.

KOPITTKE, P. M. *et al.* The role of plant breeding in ensuring global food security in the face of climate change. **Food and Energy Security**, v. 8, n. 4, e00181, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fes3.181>. Acesso em: 10 jan. 2023.

KUMAR, K. *et al.* Evaluation of commercially available PGPR for control of rice sheath blight caused by *Rhizoctonia solani*. **Journal of Pure and Applied Microbiology**, [S.l.], v. 3, n. 2, p. 485-488, 2009.

Lal, Rattan, 2016. Soil health and carbon management. **Food Energy Secur.** 5 (4), 212–222. <https://doi.org/10.1002/fes3.2016.5.issue-410.1002/fes3.96>

LI, K. *et al.* Evaluating the effects of agricultural inputs on the soil quality of smallholdings using improved indices. **CATENA**, v. 209, p. 105838, fev. 2022.

LIU, K., HU, H., WANG, W., & ZHANG, X. Genetic engineering of *Pseudomonas chlororaphis* GP72 for the enhanced production of 2-Hydroxyphenazine. **Microbial Cell Factories**, v. 15, n. 1, p. 131, jul. 2016.

LUGTENBERG, B.; KAMILOVA, F. Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annu. Rev. Microbiol.*, v. 63, p. 541-556, 2009.

LUO, L. *et al.* *Bacillus amyloliquefaciens* as an excellent agent for biofertilizer and biocontrol in agriculture: An overview for its mechanisms. **Microbiological Research**, v. 259, p. 127016, 2022.

MACFARLANE, E. *et al.* Dermal Exposure Associated with Occupational End Use of Pesticides and the Role of Protective Measures. **Safety and Health at Work**, v. 4, n. 3, p. 136–141, set. 2013.

MALI, H. *et al.* Organophosphate pesticides an emerging environmental contaminant: Pollution, toxicity, bioremediation progress, and remaining challenges. **Journal of Environmental Sciences**, v. 127, p. 234–250, maio 2023.

MALIK, A. *et al.* Biostimulant-Treated Seedlings under Sustainable Agriculture: A Global Perspective Facing Climate Change. **Agronomy**, v. 11, n. 1, p. 14, 23 dez. 2020.

MEJRI, D.; GAMALERO, E.; SOUISSI, T. Formulation development of the deleterious rhizobacterium *Pseudomonas trivialis* X33d for biocontrol of brome (*Bromus diandrus*) in durum wheat. **Journal of Applied Microbiology**, v. 114, p. 219-228, 2013.

MOHAMMAD-RAZDARI, A. *et al.* Recent advances in E-monitoring of plant diseases. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 201, p. 113953, abr. 2022.

NABTI, E.; JHA, B.; HARTMANN, A. Impact of seaweeds on agricultural crop production as biofertilizer. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 14, n. 5, p. 1119-1134, 2016.

NADARAJAN, S.; SUKUMARAN, S. Chemistry and toxicology behind chemical fertilizers. **Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture**, p. 195–229, 2021.

OZFIDAN-KONAKCI, C.; YILDIZTUGAY, E.; KUCUKODUK, M. Protective roles of exogenously applied gallic acid in *Oryza sativa* subjected to salt and osmotic stresses: effects on the total antioxidant capacity. **Plant Growth Regul.**, v. 75, n. 1, p. 219-234, 2015.

PAHALVI, H. N. *et al.* Chemical Fertilizers and Their Impact on Soil Health. **Microbiota and Biofertilizers, Vol 2**, p. 1–20, 2021.

PARAĐIKOVIĆ, N.; TKALEC, M.; ZELJKOVIĆ, S.; VINKOVIĆ, T. Biostimulant application in transplants production of *Allium sativum* L. and *Rosa canina* L. In: Proceedings of the Fifth International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2014", Jahorina, **Bosnia and Herzegovina**, 23-26 October 2014. p. 694.

PIRHADI, M. IMPACT OF SOIL SALINITY ON DIVERSITY AND COMMUNITY OF SUGARCANE ENDOPHYTIC PLANT GROWTH PROMOTING BACTERIA (SACCHARUM OFFICINARUM L. VAR. CP48). **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 16, n. 1, p. 725–739, 2018.

PIRTTILÄ, A. M.; MOHAMMAD PARAST TABAS, H.; BARUAH, N.; KOSKIMÄKI, J. J. Biofertilizers and Biocontrol Agents for Agriculture: How to Identify and Develop New Potent Microbial Strains and Traits. **Microorganisms**, v. 9, n. 4, p. 817, 2021.

POVEDA, J. *et al.* Activation of sweet pepper defense responses by novel and known biocontrol agents of the genus *Bacillus* against *Botrytis cinerea* and *Verticillium dahliae*. **European Journal of Plant Pathology**, v. 164, n. 4, p. 507–524, 5 set. 2022.

POVEDA, J., GONZÁLEZ-ANDRÉS, F. *Bacillus* as a source of phytohormones for use in agriculture. **Appl. Microbiol. Biotechnol.**, v. 105, 8629–8645 (2021).

QIU, W.; WEI, S.; LIU, G.; WANG, H.; YAO, Q.; YUAN, J.; ZHANG, X.; SONG, H.; YANG, Y. Review of pesticide poisoning in China. **Toxicology**, v. 373, p. 10-15, 2017.

RENGASAMY, K. R. R. *et al.* Eckol Improves Growth, Enzyme Activities, and Secondary Metabolite Content in Maize (*Zea mays* cv. Border King). **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 34, n. 2, p. 410–416, 3 fev. 2015.

ROJAS, R. V. *et al.* Healthy soils: a prerequisite for sustainable food security.

Environmental Earth Sciences, v. 75, n. 3, p. 180, 23 fev. 2016.

SAH, Stuti; KRISHNANI, Shweena; SINGH, Rajni. Pseudomonas mediated nutritional and growth promotional activities for sustainable food security. **Current Research in Microbial Sciences**, v. 2, p. 100084, 2021.

SAVCI, S. Investigation of Effect of Chemical Fertilizers on Environment. **APCBEE Procedia**, v. 1, p. 287–292, 2012.

SHARIFAZIZI, M.; HARIGHI, B.; SADEGHI, A. Evaluation of biological control of *Erwinia amylovora*, causal agent of fire blight disease of pear by antagonistic bacteria. **Biological Control**, v. 104, p. 28-34, 2017.

SHARMA, V.; KAUR, J.; SHARMA, S. Plant growth promoting rhizobacteria: potential for sustainable agriculture. **Biotechnol. Veg.**, v. 20, n. 3, p. 157-166, 2020.

SILBERMAN J, TAYLOR A. Carbamate Toxicity. In: StatPearls . Treasure Island (FL): **StatPearls Publishing**; Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482183/> Acessado em 10 de março de 2023.

THUNDIYIL, J. G.; STOIKER, B.; SCHNABEL, G. Pesticide toxicity index - a tool for assessing potential toxicological hazard of pesticide active ingredients. **Environmental Contamination and Toxicology**, v. 25, p. 1-8, 2008.

UMESHA, S.; K. SINGH, P.; P. SINGH, R. Microbial Biotechnology and Sustainable Agriculture. **Biotechnology for Sustainable Agriculture**, p. 185–205, 2018.

WAINAINA, S. *et al.* Resource recovery and circular economy from organic solid waste using aerobic and anaerobic digestion technologies. **Bioresource Technology**, v. 301, p. 122778, abr. 2020.

WALISZEWSKI, S. M. *et al.* Comparison of Organochlorine Pesticide Levels in Human Adipose Tissue of Inhabitants from Veracruz and Puebla, Mexico. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 58, n. 1, p. 230–236, 26 jan. 2010.

WAN, Y. Y. *et al.* Caffeic acid pretreatment enhances dehydration tolerance in cucumber seedlings by increasing antioxidant enzyme activity and proline and soluble sugar contents. **Scientia Horticulturae**, v. 173, p. 54-64, 2014.

WANG, N. *et al.* Adoption of eco-friendly soil-management practices by smallholder farmers in Shandong Province of China. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 62, n. 2, p. 185–193, 3 mar. 2016.

WOO, S. L. *et al.* Trichoderma-based Products and their Widespread Use in Agriculture. **Open Mycol. J.**, v. 8, p. 71-126, 2014.

XIE, W. *et al.* Short-term effects of copper, cadmium and cypermethrin on dehydrogenase activity and microbial functional diversity in soils after long-term mineral or organic fertilization. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 129, n. 4, p. 450–456, fev. 2009.

YADAV, A. K.; KHARE, P.; SAHAY, H.; YADAV, M. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): Prospects and Challenges for Sustainable Agriculture. In: **Advances in PGPR Research**. Springer, Cham, 2020. p. 1-16.

YOUNG, S. D.; TOWNSEND, R. J.; SWAMINATHAN, J.; O'CALLAGHAN, M. *Serratia entomophila* coated seed to improve ryegrass establishment in the presence of grass grubs. N. Zeal. **Plant Prot.**, v. 63, p. 229-234, 2010.

YOUSSEF, M. A.; EISSA, M. A. Comparison between organic and inorganic nutrition for tomato. **Journal of Plant Nutrition**, v. 40, n. 13, p. 1900-1907, 2017.