

IRRADIAÇÃO E BIOINSUMOS NA PROTEÇÃO DE PLANTAS: UM MAPEAMENTO EXPLORATÓRIO DA LITERATURA

Greissi Tente Giraldi¹; Luis Felipe Medeiro Alves²; Elaine Fernanda dos Santos³.

¹Centro Universitário Internacional (Uninter), Curitiba, PR.

<http://lattes.cnpq.br/5917356069351284>

²Universidade de São Paulo (USP/IPEN) e Centro Universitário Internacional (Uninter), São Paulo, SP.

<http://lattes.cnpq.br/8154557253212194>

³Formédica, Curitiba, PR.

<http://lattes.cnpq.br/9833541834599924>

PALAVRAS-CHAVE: Controle biológico. Hormese. Metabolismo secundário.

ÁREA TEMÁTICA: Agricultura Sustentável.

DOI: 10.47094/IIICOBRAP.2026/RE/12

INTRODUÇÃO

A busca por sistemas agrícolas mais sustentáveis tem impulsionado estratégias capazes de reduzir a dependência de insumos químicos convencionais sem comprometer o manejo fitossanitário. Nesse contexto, destacam-se os bioinsumos, que incluem agentes microbianos utilizados no controle de pragas e doenças e produtos naturais de origem vegetal, como os óleos essenciais, cujos metabólitos secundários podem apresentar atividades antimicrobiana e antioxidante (ZANTAR et al., 2015; EL-DESOUKY IBRAHIM; AHMED, 2026). Paralelamente, a radiação ionizante vem sendo investigada como ferramenta para o aprimoramento de agentes de controle biológico, uma vez que a indução de variabilidade pode possibilitar a seleção de linhagens microbianas com maior atividade antagonista, produção de metabólitos bioativos ou tolerância a condições ambientais adversas (AFSHARMANESH et al., 2014; ABBASI et al., 2016; ROSTAMI; GHORBANI; SHAHBAZI, 2024).

Outra possibilidade está relacionada aos efeitos de baixas doses de radiação, que podem desencadear respostas estimulatórias ou adaptativas, fenômeno denominado hormese. Em plantas, essas respostas podem envolver alterações fisiológicas, ativação de sistemas antioxidantes e mecanismos de defesa, além de modificações no metabolismo secundário (VOLKOVA; BONDARENKO; KAZAKOVA, 2022), com possíveis repercussões sobre a produção e o perfil de compostos bioativos, como fenólicos, terpenoides e alcaloides (MURTHY et al., 2024). A existência dessas diferentes interfaces evidencia a importância

de compreender como irradiação, respostas vegetais e bioinsumos vêm sendo investigados e em que medida essas estratégias convergem na literatura científica para a proteção de plantas.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi analisar a literatura científica relacionada ao emprego da irradiação e sua interface com bioinsumos na proteção de plantas, para identificar suas principais aplicações, tendências e lacunas de pesquisa.

METODOLOGIA

O estudo apresenta uma abordagem quali-quantitativa, de natureza básica, com objetivos exploratórios e descritivos e, quanto aos procedimentos técnicos, caracteriza-se como pesquisa bibliográfica. O levantamento foi realizado por meio de busca exploratória da literatura científica disponível em bases e plataformas de acesso público, utilizando combinações de termos relacionados à irradiação, radiação gama, bioinsumos, controle biológico, hormese, metabolismo secundário, óleos essenciais e proteção de plantas.

Foram selecionados estudos relacionados à aplicação da radiação ionizante no aprimoramento de agentes de controle biológico, às respostas horméticas em plantas, às alterações no metabolismo secundário e aos efeitos da irradiação sobre produtos naturais com potencial fitossanitário. Os trabalhos foram analisados quanto ao objetivo do estudo, aplicação da irradiação e principais resultados, sendo posteriormente organizados em uma matriz exploratória de evidências. A análise permitiu agrupar a literatura em eixos temáticos e identificar possíveis pontos de convergência e lacunas entre as diferentes aplicações da irradiação na proteção vegetal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

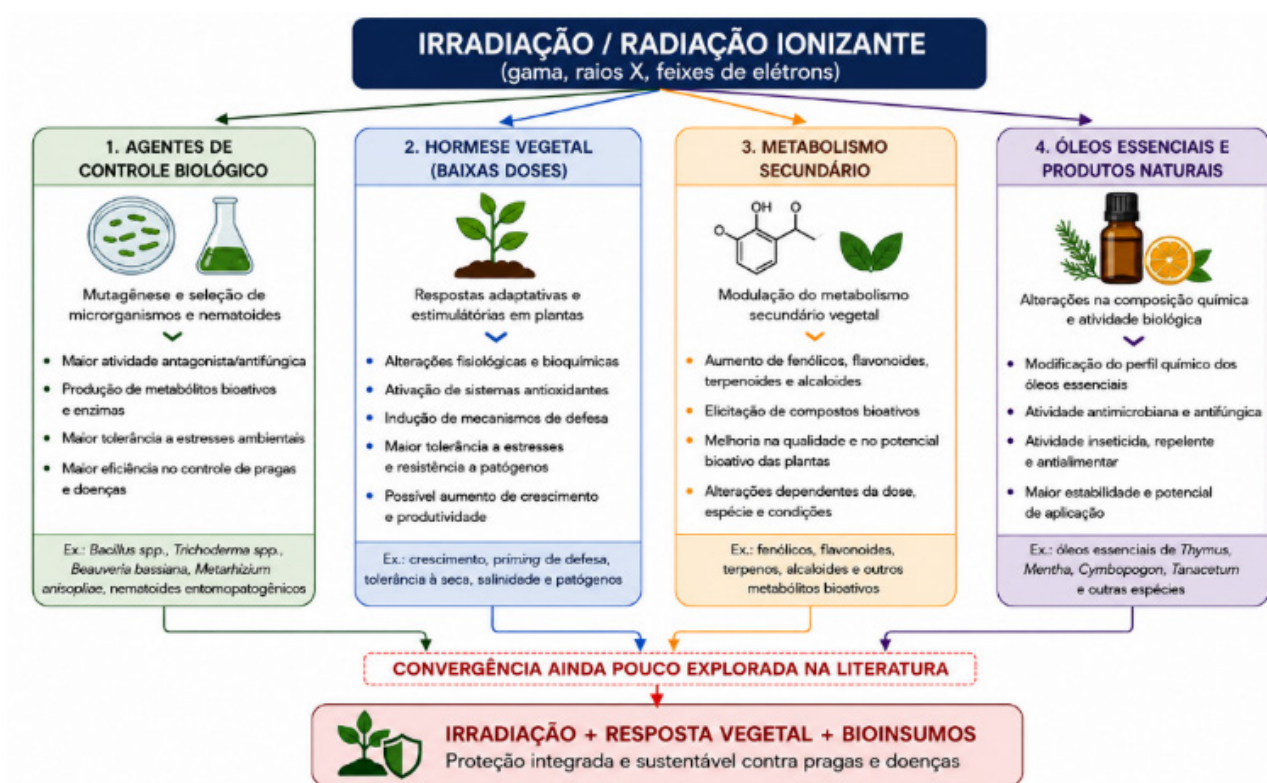
O mapeamento exploratório evidenciou quatro principais eixos de aplicação da irradiação relacionados à proteção vegetal: **(i)** aprimoramento de agentes de controle biológico; **(ii)** hormese e respostas adaptativas em plantas; **(iii)** alterações no metabolismo secundário; e **(iv)** modificações na composição ou atividade biológica de óleos essenciais e produtos naturais (VOLKOVA; BONDARENKO; KAZAKOVA, 2022; ROSTAMI; GHORBANI; SHAHBAZI, 2024; ZANTAR et al., 2015) (Quadro 1).

Quadro 1: Síntese das evidências sobre irradiação e sua interface com a proteção vegetal.

Ano	Objeto de estudo	Aplicação da irradiação	Principal evidência	Eixo
2014	<i>Bacillus subtilis</i> × <i>Aspergillus flavus</i>	Mutagênese gama	Mutantes apresentaram maior potencial de biocontrole e redução de aflatoxina	Bioagentes
2015	Óleos de <i>Thymus vulgaris</i> e <i>Mentha pulegium</i>	10–30 kGy	Alterações na composição e aumento de atividade antimicrobiana (Gram-negativas)	Óleos essenciais
2017	Nematoides entomopatogênicos × <i>Spodoptera littoralis</i>	Baixa dose gama	2 Gy aumentaram a eficácia dos agentes entomopatogênicos	Bioagentes
2022	Plantas	Baixas doses ionizantes	Hormese associada a crescimento, tolerância a estresses e fitoquímicos	Hormese
2022	Fungos endofíticos × <i>Spodoptera littoralis</i>	Irradiação de esporos	Intensificação das atividades antialimentar e larvícida	Bioagentes
2024	<i>Trichoderma harzianum</i> e <i>Bacillus velezensis</i>	Mutagênese gama	Mutantes apresentaram potencial no controle de <i>Meloidogyne javanica</i>	Bioagentes
2024	Plantas/metabólitos	Baixas doses gama	Evidências de eliciação do metabolismo especializado	Metabolismo secundário
2026	Óleo essencial de <i>Cymbopogon citratus</i>	Irradiação gama (5–20 kGy)	Alterações fitoquímicas e aumento das atividades antioxidante e antibacteriana	Óleos essenciais
2027	<i>Nicotiana tabacum</i> (três variedades)	2,5–20 Gy	Hormese no desenvolvimento inicial, dependente da variedade	Hormese

Fonte: Elaborado pelos autores a partir do mapeamento exploratório da literatura científica (2026).

Figura 1: Principais interfaces entre irradiação e proteção vegetal identificadas no mapeamento exploratório da literatura.



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Entre os estudos analisados, destacaram-se aplicações da radiação gama para indução de variabilidade e seleção de agentes biológicos, incluindo *Trichoderma*, *Bacillus*, fungos e nematoides entomopatogênicos. As evidências indicam potencial para aumento da atividade antagonista, produção de metabólitos e eficiência de controle (AFSHARMANESH et al., 2014; ABBASI et al., 2016; SAYED; SHAIRRA, 2017; HAZAA et al., 2022; ROSTAMI; GHORBANI; SHAHBAZI, 2024; ROSTAMI et al., 2024). Paralelamente, estudos com baixas doses de radiação demonstraram respostas horméticas em plantas, envolvendo alterações fisiológicas, sistemas antioxidantes, tolerância a estresses e metabolismo secundário (VOLKOVA; BONDARENKO; KAZAKOVA, 2022; MURTHY et al., 2024; ALVES et al., 2027). Também foram identificadas modificações na composição e na bioatividade de óleos essenciais após irradiação, com manutenção ou aumento das atividades antimicrobiana e antioxidante (ZANTAR et al., 2015; EL-DESOUKY IBRAHIM; AHMED, 2026).

Apesar das evidências encontradas individualmente nesses eixos, observou-se menor ocorrência de estudos que integrem diretamente irradiação, respostas horméticas das plantas e utilização de bioinsumos. As janelas de dose também diferem: a mutagênese de agentes microbianos emprega tipicamente de 0,25 a 3,5 kGy (ROSTAMI; GHORBANI; SHAHBAZI, 2024), enquanto a hormese vegetal ocorre de unidades a centenas de grays (VOLKOVA; BONDARENKO; KAZAKOVA, 2022), de modo que um protocolo

integrado exige exposições calibradas para cada componente. A estrutura das evidências identificadas sugere, portanto, que a investigação de possíveis efeitos complementares ou sinérgicos entre essas estratégias constitui uma lacuna e uma perspectiva promissora para o desenvolvimento de abordagens integradas de proteção vegetal (Figura 1).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento exploratório da literatura demonstrou que a irradiação apresenta diferentes possibilidades de aplicação associadas à proteção vegetal, destacando-se seu emprego no aprimoramento de agentes de controle biológico, na indução de respostas horméticas em plantas e na modulação do metabolismo secundário e da atividade biológica de produtos naturais, incluindo os óleos essenciais. As evidências analisadas indicam, portanto, que a tecnologia nuclear pode atuar de forma complementar às estratégias biológicas de manejo de pragas e doenças. Apesar dos avanços observados nesses diferentes eixos, ainda são limitados os estudos que investigam sua integração, especialmente quanto aos possíveis efeitos aditivos ou sinérgicos entre a hormese induzida por baixas doses de radiação, os mecanismos de defesa vegetal e a ação de bioinsumos. Essa lacuna evidencia uma perspectiva promissora para futuras pesquisas, voltadas ao desenvolvimento de estratégias integradas que associem tecnologias nucleares e ferramentas biológicas para uma proteção vegetal mais eficiente e sustentável.

PRINCIPAIS REFERÊNCIAS

ABBASI, Sakineh et al. **Biocontrol activities of gamma induced mutants of *Trichoderma harzianum* against some soilborne fungal pathogens and their DNA fingerprinting.** *Iranian Journal of Biotechnology*, v. 14, n. 4, p. 260–269, 2016. <https://doi.org/10.15171/ijb.1224>

AFSHARMANESH, Hamideh et al. **Improvement in biocontrol activity of *Bacillus subtilis* UTB1 against *Aspergillus flavus* using gamma-irradiation.** *Crop Protection*, v. 60, p. 83–92, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.02.013>

ALVES, Luis Felipe Medeiro et al. **Physiological hormesis induced by low-dose gamma radiation in *Nicotiana tabacum* L.: varietal differences in early stress response.** *Radiation Physics and Chemistry*, v. 250, 114279, 2027. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2026.114279>

EL-DESOUKY IBRAHIM, Wael; AHMED, Nermien Z. **Impact of gamma irradiation on lemongrass (*Cymbopogon citratus*): phytochemical content, antioxidant and antibacterial activity.** *BMC Biotechnology*, v. 26, 13, 2026. <https://doi.org/10.1186/s12896-025-01090-1>

HAZAA, Magdia A. et al. **Bioprospecting endophytic fungi for antifeedants and larvicides**

and their enhancement by gamma irradiation. *AMB Express*, v. 12, 120, 2022. <https://doi.org/10.1186/s13568-022-01461-3>

MURTHY, Hosakatte Niranjana et al. **Production of specialized metabolites in plant cell and organo-cultures: the role of gamma radiation in eliciting secondary metabolism.** *International Journal of Radiation Biology*, v. 100, n. 5, p. 678–688, 2024. <https://doi.org/10.1080/09553002.2024.2324469>

ROSTAMI, Mahsa; GHORBANI, Abozar; SHAHBAZI, Samira. **Gamma radiation-induced enhancement of biocontrol agents for plant disease management.** *Current Research in Microbial Sciences*, v. 7, 100308, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2024.100308>

ROSTAMI, Mahsa et al. **Optimizing sustainable control of Meloidogyne javanica in tomato plants through gamma radiation-induced mutants of Trichoderma harzianum and Bacillus velezensis.** *Scientific Reports*, v. 14, 17774, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68365-z>

SAYED, R. M.; SHAIRRA, Souad A. **Enhancing the efficacy of entomopathogenic nematodes by gamma radiation in controlling Spodoptera littoralis larvae.** *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, v. 10, n. 2, p. 97–102, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2016.12.005>

VOLKOVA, Polina; BONDARENKO, Ekaterina; KAZAKOVA, Elizaveta. **Radiation hormesis in plants.** *Current Opinion in Toxicology*, v. 30, 100334, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2022.02.007>

ZANTAR, Said et al. **Effect of gamma irradiation on chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of Thymus vulgaris and Mentha pulegium essential oils.** *Radiation Physics and Chemistry*, v. 115, p. 6–11, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2015.05.019>