

AS JANELAS DE DOSE DAS APLICAÇÕES AGROPECUÁRIAS DA RADIAÇÃO IONIZANTE EM UM ÚNICO EIXO

Luis Felipe Medeiro Alves¹; Greissi Tente Giraldi²; Valter Arthur³.

¹Universidade de São Paulo (USP/IPEN) e Centro Universitário Internacional (Uninter), São Paulo, SP.

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

²Centro Universitário Internacional (Uninter), Curitiba, PR.

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

³Universidade de São Paulo (USP/CENA), Piracicaba, SP.

<http://lattes.cnpq.br/4352244824716787>

PALAVRAS-CHAVE: Hormese. Radiossensibilidade. Tratamento quarentenário.

ÁREA TEMÁTICA: Tecnologia e Produção

DOI: 10.47094/IIICOBRAP.2026/RE/15

INTRODUÇÃO

A radiação ionizante entra na cadeia agropecuária por finalidades que, à primeira vista, não têm em comum mais que o agente físico. A mesma fonte de cobalto-60 que estimula o desenvolvimento inicial de sementes serve para esterilizar machos de moscas-das-frutas, para desinfestar frutas destinadas à exportação e para reduzir a carga microbiana de carnes. Cada finalidade tem literatura própria, terminologia própria e faixas de dose próprias, e é raro que um trabalho trate de mais de uma.

As normas que regem a prática definem a janela de dose sem fixar números. A Resolução RDC 21/2001 determina que a dose mínima absorvida seja suficiente para alcançar a finalidade pretendida e que a máxima seja inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais ou os atributos sensoriais do alimento (LEVY; SORDI; VILLAVICENCIO, 2020). O Codex Alimentarius (2003) emprega a mesma construção e acrescenta o teto geral de 10 kGy, que pode ser excedido quando necessário a uma finalidade tecnológica legítima. As duas transferem ao usuário a determinação dos limites, e a literatura aplicada os informa uma finalidade por vez, de modo que não há onde verificar se as janelas se ordenam nem o que fixaria essa ordem.

OBJETIVO

Reunir em um único eixo de dose as janelas relatadas para as principais finalidades agropecuárias da radiação ionizante e verificar se a ordem em que se dispõem corresponde à radiosensibilidade do organismo ou do tecido que cada finalidade precisa atingir.

METODOLOGIA

O estudo tem abordagem quali-quantitativa, natureza básica, objetivos exploratório e descritivo e, quanto aos procedimentos técnicos, caracteriza-se como pesquisa bibliográfica. Foram consultadas revisões de referência e normas técnicas de cada finalidade reunida no Quadro 1. De cada fonte registraram-se a janela de dose tal como a fonte a enuncia, o alvo biológico que a dose precisa atingir e a referência.

As janelas foram convertidas para gray quando a fonte reportava quilogray, sem recálculo de limites, e ordenadas pelo limite inferior. Limites abertos são impressos como tais no Quadro 1 e, nas contagens agregadas, valem pelo numeral enunciado, o que afeta apenas a janela da esterilização de artrópodes. A comparação foi feita contra as faixas de dose letal mediana por grupo taxonômico compiladas por Bakri, Mehta e Lance (2005). Duas exclusões foram deliberadas: uma finalidade à qual a fonte brasileira atribui a mesma faixa de outra, e a mutagênese vegetal para cultivares, que tem literatura própria. Os dados compilados estão disponíveis com os autores mediante solicitação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

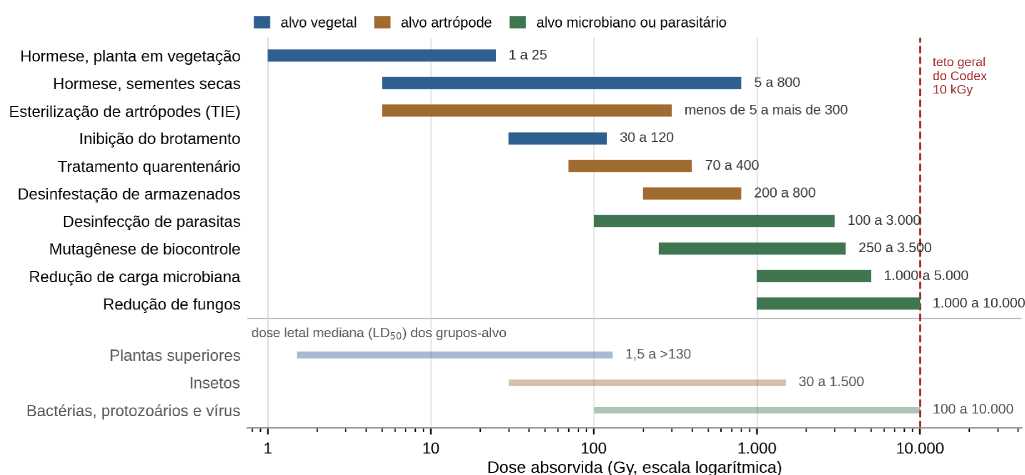
O levantamento reuniu 10 janelas de dose, que vão de 1 Gy, na hormese de plantas em vegetação, a 10.000 Gy, na redução de fungos em grãos, café e farinhas, uma amplitude de 4 ordens de grandeza (Quadro 1).

Quadro 1: Janelas de dose das finalidades agropecuárias da radiação ionizante, com o alvo biológico de cada uma

Finalidade	Janela de dose	Alvo que a dose precisa atingir	Fonte
Hormese, planta em vegetação e <i>in vitro</i>	1 a 25 Gy	Tecido em divisão, por sinalização redox e hormonal	VOLKOVA; BONDARENKO; KAZAKOVA (2022)
Hormese, sementes secas	5 a 800 Gy	Embrião quiescente, menos radiosensível que o tecido em divisão	VOLKOVA; BONDARENKO; KAZAKOVA (2022)
Esterilização de artrópodes (TIE)	menos de 5 a mais de 300 Gy	Células germinativas do adulto a ser liberado	BAKRI; MEHTA; LANCE (2005)
Inibição do brotamento	30 a 120 Gy	Meristema apical da gema em repouso	LEVY; SORDI; VILLAVICENCIO (2020)
Tratamento quarentenário	70 a 400 Gy	Ovos e larvas da praga regulada	HALLMAN; BLACKBURN (2016)
Desinfestação de armazenados	200 a 800 Gy	Insetos adultos e imaturos no produto	LEVY; SORDI; VILLAVICENCIO (2020)
Desinfecção de parasitas	100 a 3.000 Gy	Helmintos e protozoários encistados	LEVY; SORDI; VILLAVICENCIO (2020)
Mutagênese de biocontrole	250 a 3.500 Gy	Genoma microbiano, mantida a viabilidade	ROSTAMI; GHORBANI; SHAHBASI (2024)
Redução de carga microbiana	1.000 a 5.000 Gy	População bacteriana vegetativa	LEVY; SORDI; VILLAVICENCIO (2020)
Redução de fungos	1.000 a 10.000 Gy	Esporos e micélio fúngico	LEVY; SORDI; VILLAVICENCIO (2020)

Fonte: Elaborado pelos autores a partir das fontes indicadas (2026).

Figura 1: As mesmas 10 janelas em escala logarítmica de dose, com as faixas de dose letal mediana dos grupos-alvo para comparação



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

As janelas se ordenam pelo alvo. Tomados os limites como cada fonte os enuncia, a média dos centros geométricos das janelas de alvo vegetal é de 42,7 Gy, a das janelas de alvo artrópode é de 202,0 Gy e a das janelas de alvo microbiano ou parasitário é de 1.720,4 Gy. A mesma ordem aparece nas faixas de dose letal mediana compiladas por Bakri, Mehta e Lance (2005): 1,5 a mais de 130 Gy para plantas superiores, 30 a 1.500 Gy para insetos e 100 a 10.000 Gy para bactérias, protozoários e vírus. A dose exigida cresce na mesma ordem em que cresce a resistência do grupo-alvo nessa compilação.

O estado do alvo desloca a janela dentro de um mesmo grupo. Em plantas, a resposta hormética ocorre entre 1 e 25 Gy quando a irradiação incide sobre a planta em vegetação e entre 5 e 800 Gy quando incide sobre sementes secas, um fator de 32 no limite superior, porque a semente quiescente é menos radiossensível que o tecido em divisão (VOLKOVA; BONDARENKO; KAZAKOVA, 2022). Em tabaco, doses de 2,5 a 20 Gy aplicadas a sementes produziram hormese dependente da variedade (ALVES et al., 2027).

No tratamento quarentenário os dois limites têm origens distintas. A dose mínima é fixada pela praga regulada: o valor genérico de 400 Gy para Insecta, exceto pupas e adultos de Lepidoptera, está aprovado para todo produto exportado aos Estados Unidos, e abaixo dele há propostas para grupos específicos, como 70 Gy para o gênero *Anastrepha* (HALLMAN, 2013) e uma de 250 Gy para ovos e larvas de Lepidoptera que a Convenção Internacional de Proteção dos Vegetais recusou por falta de dados (HALLMAN et al., 2013). O teto vem da tolerância da mercadoria, e produtos são comercializados após receber doses que excedem consideravelmente o mínimo exigido (HALLMAN; BLACKBURN, 2016).

A ordem existe, mas não separa as finalidades: 26 dos 45 pares de janelas se sobrepõem, de modo que uma dose isolada não identifica a finalidade a que serve. A dose letal mediana, além disso, mede letalidade, e três das finalidades reunidas não pretendem matar o alvo: a hormese sinaliza, a esterilização preserva o adulto liberado e a mutagênese, a viabilidade da linhagem. A comparação situa as janelas na escala de radiossensibilidade do alvo, sem estabelecer que cada finalidade corresponda a uma fração fixa da dose letal. A faixa de LD50 citada tampouco cobre helmintos, e o limite que ela dá a plantas superiores é aberto, acima de 130 Gy, o que importa porque a hormese em sementes vai a 800 Gy: aquele LD50 foi medido em plantas, e a semente quiescente resiste muito mais. Taxa de dose, tensão de oxigênio e temperatura também deslocam as janelas.

A consequência prática aparece quando duas finalidades entram no mesmo protocolo: a mutagênese de agentes de biocontrole ocupa de 250 a 3.500 Gy (ROSTAMI; GHORBANI; SHAHBAZI, 2024) e a hormese em sementes secas termina em 800 Gy, de modo que as duas janelas se cruzam entre 250 e 800 Gy. Nenhuma das fontes reunidas mostra que os dois ótimos caiam nessa faixa, o que um protocolo integrado precisaria demonstrar antes de tratar semente e inoculante com uma única exposição (Figura 1).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As finalidades agropecuárias da radiação ionizante ocupam janelas de dose ordenadas pelo alvo biológico, e a ordem reproduz a escala de radiosensibilidade dos grupos-alvo: quanto mais simples o organismo a ser atingido, maior a dose exigida. Este levantamento acrescenta a comparação entre finalidades no mesmo eixo, com o alvo de cada uma explicitado. Não fornece a janela para protocolos que tratem mais de um alvo na mesma operação, e a sobreposição parcial das janelas torna essa lacuna verificável.

PRINCIPAIS REFERÊNCIAS

- ALVES, L. F. M. 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. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2026.114279.
- BAKRI, A.; MEHTA, K.; LANCE, D. R. Sterilizing insects with ionizing radiation. In: DYCK, V. A.; HENDRICH, J.; ROBINSON, A. S. (org.). *Sterile insect technique: principles and practice in area-wide integrated pest management*. Dordrecht: Springer, 2005. p. 233-268. DOI: 10.1007/1-4020-4051-2_9.
- CODEX ALIMENTARIUS. General standard for irradiated foods: CODEX STAN 106-1983, Rev. 1-2003. Roma: FAO/OMS, 2003.
- HALLMAN, G. J. Rationale for a generic phytosanitary irradiation dose of 70 Gy for the genus *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae). *Florida Entomologist*, v. 96, n. 3, p. 989-990, 2013. DOI: 10.1653/024.096.0336.
- HALLMAN, G. J.; BLACKBURN, C. M. Phytosanitary irradiation. *Foods*, v. 5, n. 1, 8, 2016. DOI: 10.3390/foods5010008.
- HALLMAN, G. J. et al. The case for a generic phytosanitary irradiation dose of 250 Gy for *Lepidoptera* eggs and larvae. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 89, p. 70-75, 2013. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2013.03.046.
- LEVY, D.; SORDI, G. M. A. A.; VILLAVICENCIO, A. L. C. H. Irradiação de alimentos no Brasil: revisão histórica, situação atual e desafios futuros. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, v. 8, n. 3, p. 01-16, 2020. DOI: 10.15392/bjrs.v8i3.1241.
- ROSTAMI, M.; GHORBANI, A.; SHAHBAZI, S. Gamma radiation-induced enhancement of biocontrol agents for plant disease management. *Current Research in Microbial Sciences*, v. 7, 100308, 2024. DOI: 10.1016/j.crmicr.2024.100308.
- VOLKOVA, P. Yu.; BONDARENKO, E. V.; KAZAKOVA, E. A. Radiation hormesis in plants. *Current Opinion in Toxicology*, v. 30, 100334, 2022. DOI: 10.1016/j.cotox.2022.02.007.