Revista Perquirere, vol. 23, n. 2: 55-63, 2026
© Centro Universitário de Patos de Minas
https://revistas.unipam.edu.br/index.php/perquirere

Tratamento de sementes de soja tratadas com silício e sua influência na qualidade durante o período de armazenamento

Treatment of soybean seeds with silicon and its influence on quality during the storage period

CECÍLIA ISABEL DA SILVA CRUZEIRO
Discente de Agronomia (UNIPAM)
ceciliaisabel@unipam.edu.br

WELLINGTON FERRARI DA SILVA
Professor orientador (UNIPAM)
wellingtonferrari@unipam.edu.br

Resumo: A qualidade fisiológica das sementes é fundamental para o estabelecimento inicial da cultura da soja, sendo o tratamento de sementes uma prática amplamente utilizada para melhorar o desempenho das plântulas. Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência de diferentes doses de silício no tratamento de sementes de soja e seus efeitos sobre a qualidade fisiológica durante o armazenamento. O experimento foi conduzido no Laboratório Núcleo de Pesquisas e Análises de Sementes do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), utilizando sementes da cultivar 6822 IPRO. Foram avaliadas cinco doses de silício (0, 2, 4, 6 e 8 g kg^{-1} de sementes) e três períodos de armazenamento (0, 20 e 40 dias), em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Avaliaram-se germinação, comprimento da parte aérea e da raiz. Doses de silício (2 e 4 g kg^{-1}) mantiveram a germinação e favoreceram o crescimento das plântulas, enquanto a maior dose (8 g kg^{-1}) reduziu a germinação ao longo do armazenamento.
Palavras-chave: *Glycine max*; vigor de sementes; micronutrientes; germinação; armazenamento.

Abstract: The physiological quality of seeds is essential for the initial establishment of soybean crops, and seed treatment is a widely used practice to improve seedling performance. This study aimed to evaluate the influence of different silicon doses in soybean seed treatment and their effects on physiological quality during storage. The experiment was conducted at the Seed Research and Analysis Center Laboratory of the University Center of Patos de Minas (UNIPAM), using seeds of the 6822 IPRO cultivar. Five silicon doses were evaluated (0, 2, 4, 6, and 8 g kg^{-1} of seeds), along with three storage periods (0, 20, and 40 days), in a completely randomized design with four replications. Germination, shoot length, and root length were evaluated. Silicon doses of 2 and 4 g kg^{-1} maintained germination and favored seedling growth, whereas the highest dose, 8 g kg^{-1}, reduced germination throughout the storage period.
Keywords: *Glycine max*; seed vigor; micronutrients; germination; storage.

1 INTRODUÇÃO

A soja (Glycine max (L.) Merrill) destaca-se como uma das culturas agrícolas mais relevantes no cenário mundial, desempenhando papel essencial na produção de proteína vegetal, óleo comestível e biocombustíveis. Além disso, constitui importante componente na alimentação animal e humana, sendo considerada uma das principais commodities agrícolas globais. Na safra 2025/2026, a área cultivada com soja no país está estimada em aproximadamente 48,7 a 49,1 milhões de hectares, com produção projetada em cerca de 176 a 178 milhões de toneladas, podendo alcançar valores próximos a 180 milhões de toneladas, dependendo das condições climáticas e produtivas. A produtividade média nacional é estimada em aproximadamente 3.600 a 3.675 kg ha^{-1}, consolidando novos recordes de produção e rendimento da cultura no país (CONAB, 2026).

Nesse contexto, a utilização de sementes de alta qualidade é um dos fatores mais determinantes para o sucesso da implantação da cultura. A qualidade de sementes é definida por um conjunto de atributos físicos, genéticos, fisiológicos e sanitários que influenciam diretamente o desempenho das plântulas no campo. Sementes com elevado vigor e capacidade germinativa favorecem o estabelecimento inicial das plantas, proporcionando emergência uniforme e maior potencial produtivo da lavoura (França Neto; Krzyzanowski; Costa, 2020; Marco-Filho, 2020).

Entre as tecnologias empregadas para maximizar o desempenho das sementes, destaca-se o tratamento de sementes, prática amplamente utilizada na agricultura moderna. O tratamento consiste na aplicação de substâncias químicas, biológicas ou nutricionais diretamente nas sementes, com o objetivo de protegê-las contra patógenos, pragas e condições adversas durante as fases iniciais de desenvolvimento da planta. Além da proteção fitossanitária, essa prática pode incluir a aplicação de micronutrientes e bioestimulantes, os quais contribuem para o incremento da germinação, vigor e desenvolvimento inicial das plântulas (Menten; Moraes, 2021).

Nos últimos anos, a utilização de micronutrientes no tratamento de sementes tem despertado crescente interesse devido ao seu potencial em melhorar o desempenho fisiológico das sementes e otimizar o estabelecimento das culturas. Entre esses elementos, o silício (Si) tem se destacado por apresentar efeitos benéficos no crescimento e desenvolvimento vegetal. Embora não seja classificado como elemento essencial para a maioria das plantas superiores, diversos estudos têm demonstrado que o silício desempenha funções importantes na fisiologia vegetal, especialmente na mitigação de estresses bióticos e abióticos (Coskun *et al*., 2019; Hussain *et al*., 2021).

O silício é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, estando presente principalmente na forma de silicatos e dióxido de silício (SiO_2). No sistema solo-planta, esse elemento pode ser absorvido pelas raízes e posteriormente acumulado nos tecidos vegetais, principalmente nas paredes celulares, promovendo maior rigidez estrutural e fortalecendo os tecidos vegetais. Essa deposição de silício pode atuar como barreira física contra a penetração de patógenos e insetos praga, além de contribuir para a regulação do balanço hídrico e para o aumento da eficiência fotossintética das plantas (Islam *et al*., 2020; Coskun *et al*., 2019).

Além dos efeitos estruturais, o silício pode atuar na ativação de mecanismos bioquímicos de defesa vegetal. Estudos recentes indicam que a presença desse elemento pode estimular a produção de compostos fenólicos, lignina e fitoalexinas, substâncias associadas aos mecanismos de defesa das plantas contra patógenos. Dessa forma, o silício pode contribuir para o aumento da resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos, como déficit hídrico, ataques de insetos e infecções causadas por microrganismos fitopatogênicos (Coskun *et al*., 2019; Ranjan *et al*., 2021).

No caso específico da cultura da soja, diversos estudos têm demonstrado que a aplicação de silício pode resultar em melhorias no crescimento vegetativo, incremento da matéria seca, aumento do número de vagens e maior tolerância a condições ambientais adversas. Além disso, evidências científicas sugerem que o fornecimento desse elemento pode contribuir para o aumento da eficiência fotossintética e para o fortalecimento da estrutura celular das plantas, refletindo em melhorias no desenvolvimento e na produtividade da cultura (Oliveira *et al*., 2024).

Uma estratégia promissora para a utilização do silício na agricultura consiste na sua aplicação por meio do tratamento de sementes. Essa técnica permite disponibilizar o elemento desde os estágios iniciais de desenvolvimento da planta, favorecendo o estabelecimento da cultura e aumentando a eficiência de utilização dos nutrientes. O tratamento de sementes com micronutrientes apresenta diversas vantagens operacionais, como maior uniformidade na distribuição dos nutrientes, redução das perdas por lixiviação e maior eficiência agronômica quando comparado a aplicações convencionais via solo ou foliar (Menten; Moraes, 2021).

Entretanto, apesar dos benefícios associados ao tratamento de sementes, um fator importante a ser considerado é o efeito do armazenamento sobre a qualidade fisiológica das sementes tratadas. Durante o período de armazenamento, as sementes estão sujeitas a processos de deterioração fisiológica decorrentes de fatores como temperatura, umidade relativa e atividade metabólica residual. Esses fatores podem comprometer a germinação, o vigor e o desempenho das sementes no campo, especialmente em espécies oleaginosas como a soja, que apresentam maior susceptibilidade à deterioração devido ao elevado teor de lipídios (Marcos-Filho, 2020; Carvalho; Nakagawa, 2022).

Nesse contexto, torna-se fundamental compreender a interação entre o tratamento de sementes e o período de armazenamento, visando garantir a manutenção da qualidade fisiológica das sementes até o momento da semeadura. Dessa forma, a investigação do uso do silício no tratamento de sementes de soja e seus efeitos sobre a qualidade fisiológica durante o armazenamento pode contribuir significativamente para o desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficientes e sustentáveis na produção agrícola.

Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes doses de silício no tratamento de sementes de soja e seus efeitos sobre a qualidade fisiológica durante o armazenamento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório Núcleo de Pesquisas e Análise de Sementes do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM) durante os meses de maio a julho de 2025. Foram utilizadas sementes da cultivar de soja 6822 IPRO, fornecidas por uma empresa idônea da região da cidade de Patos de Minas (MG), Brasil.

O experimento foi realizado seguindo o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos e três períodos de armazenamento das sementes (0, 20 e 40 dias após o tratamento), totalizando 60 parcelas experimentais. Os tratamentos consistiram em aplicações nas sementes de soja com o elemento mineral silício (ácido silícico). As doses utilizadas para cada tratamento estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Tratamentos referentes ao experimento com aplicação de silício.
Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, Minas Gerais

Tratamentos	Doses g. kg^{-1} de sementes
T_1	0
T_2	2
T_3	4
T_4	6
T_5	8

Fonte: dados da pesquisa, 2026.

Em seguida foram executados os procedimentos a seguir. Inicialmente, antes da aplicação dos tratamentos, foi realizada a caracterização fisiológica do lote de sementes por meio do teste padrão de germinação e da determinação do teor de água das sementes, conforme as metodologias descritas nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

Determinação do teor de umidade das sementes: o teor de água nos grãos de sementes de soja foi determinado através de um medidor de umidade, modelo GEHAKA G800. Os resultados serão expressos em porcentagem (base úmida).

Teste de germinação padrão: realizado utilizando-se quatro subamostras de 50 sementes cada. As sementes foram distribuídas aleatoriamente em papel germitest, previamente umedecidos com uma quantidade de água equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco, em seguida colocadas para germinar em Germinador ELETROLAB (controlador de temperatura microprocessado) mantidas a 25°C. A avaliação foi realizada no oitavo dia após a semeadura, segundo os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

Após a caracterização inicial do lote, procedeu-se à aplicação dos tratamentos com silício nas sementes de soja, seguindo a metodologia da Tabela 1. As sementes foram distribuídas aleatoriamente em papel germitest, previamente umedecidos com uma quantidade de água equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco. Os rolos de cada tratamento foram colocados juntos em sacos plásticos transparentes e amarrados; posteriormente, foram acondicionados em germinador ELETROLAB (controlador de temperatura microprocessado), mantidos a 20°C. As avaliações foram realizadas no 8º

dia após a semeadura, segundo os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

Após o teste de germinação, realizou-se a análise de crescimento de plântulas. Nas plântulas normais de cada tratamento e repetição, foram medidas a raiz e a parte aérea com auxílio de uma régua graduada em centímetros, sendo os resultados expressos em cm plântula^{-1}.

As médias foram submetidas à análise de variância através do programa computacional SISVAR e posteriormente submetidas ao teste de Tukey, a nível de 5% de significância (Ferreira, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 demonstra os resultados referentes ao teor de umidade e às porcentagens de germinação antes do tratamento com silício. Esses resultados de germinação são favoráveis e estão dentro das normas das Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

Tabela 2: Valores do teor de umidade (TU) e germinação padrão para sementes de soja. Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, Minas Gerais

Cultivar	TA	Germinação
	(%)	(%)
6822 IPRO	10	94

Fonte: dados da pesquisa, 2026.

A germinação das sementes de soja tratadas com silício apresentou variação significativa entre os tratamentos e períodos de armazenamento (Tabela 3). No período inicial de armazenamento (0 dias), observou-se maior percentual de germinação no tratamento controle (T1), com 90%, diferindo estatisticamente do tratamento T4 (57%), que apresentou o menor valor. Os tratamentos T2 (79%), T3 (75%) e T5 (66%) apresentaram germinação intermediária, não diferindo estatisticamente do tratamento controle.

Após 20 dias de armazenamento, verificou-se tendência de redução das diferenças entre os tratamentos. Os valores de germinação variaram entre 70% (T5) e 86% (T1), sem diferenças estatísticas expressivas entre a maioria dos tratamentos, indicando relativa estabilidade da qualidade fisiológica das sementes nesse período.

No período de 40 dias de armazenamento, observou-se redução da germinação em alguns tratamentos, especialmente na maior dose de silício (T5), que apresentou apenas 59%, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Os tratamentos T1 (86%), T2 (78%), T3 (73%) e T4 (71%) mantiveram valores superiores, não diferindo estatisticamente entre si.

De modo geral, os resultados indicam que doses mais elevadas de silício podem exercer efeito negativo sobre a germinação das sementes durante o armazenamento, especialmente após períodos prolongados. Esse comportamento pode estar associado ao fato de que concentrações elevadas de determinados nutrientes aplicados diretamente

às sementes podem provocar efeitos fitotóxicos ou interferir no processo de embebição, comprometendo o metabolismo inicial da germinação (Marcos-Filho, 2020; Bewley *et al*., 2013). Durante o armazenamento, sementes de soja, por apresentarem elevado teor de lipídios, são particularmente suscetíveis a processos de deterioração fisiológica, os quais podem comprometer a integridade das membranas celulares e reduzir o potencial germinativo ao longo do tempo (Carvalho; Nakagawa, 2022; Marcos-Filho, 2020).

O comprimento da parte aérea das plântulas apresentou variações em função das doses de silício e do período de armazenamento (Tabela 3). No período de 0 dias, os tratamentos T1 e T5 apresentaram os maiores valores de comprimento da parte aérea (9 cm), porém não diferiram estatisticamente dos demais tratamentos.

Após 20 dias de armazenamento, observou-se maior variação entre os tratamentos. A maior média foi observada no tratamento T5 (9 cm), enquanto T1 apresentou redução no comprimento da parte aérea (7 cm). Os tratamentos T2, T3 e T4 apresentaram valores intermediários (8 cm).

No período de 40 dias de armazenamento, verificou-se aumento do comprimento da parte aérea nos tratamentos T3 (10 cm) e T4 (11 cm), diferindo estatisticamente entre si e dos demais tratamentos. Essa diferença parte do pressuposto de um possível efeito estimulante do silício no crescimento inicial das plântulas em doses intermediárias. Por outro lado, os tratamentos T1 e T5 apresentaram menores valores (7 cm).

Esses resultados sugerem que doses de 6 g kg^{-1} de silício podem favorecer o crescimento da parte aérea das plântulas durante períodos mais longos de armazenamento. O silício pode ser acumulado nas paredes celulares das plantas, aumentando a rigidez estrutural dos tecidos e contribuindo para maior sustentação e crescimento vegetal (Epstein, 1999; Coskun *et al*., 2019) Além disso, esse elemento pode atuar na regulação de processos fisiológicos, incluindo a atividade antioxidante, a eficiência fotossintética e o equilíbrio hídrico, fatores que contribuem para o desenvolvimento inicial das plântulas (Ma; Yamaji, 2015; Hussain *et al*., 2021; Luyckx *et al*., 2017).

Tabela 3: Germinação (G), comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento raiz tratadas com silício. Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, Minas Gerais

	Tratamentos	Períodos de Armazenamento (dias)		
	Silício (g kg^{-1} sementes)	0	20	40
G (%)	T_1	90 a	86 a	86 a
	T_2	79 ab	81 a	78 a
	T_3	75 ab	78 ab	73 a
	T_4	57 b	76 ab	71 ab
	T_5	66 ab	70 b	59 b
CV (%)		17,4	6,37	11,6
DMS		14,10	5,42	9,2
CPA (cm)	T_1	9 a	7 b	7 c
	T_2	7 a	8 ab	9 b
	T_3	8 a	8 ab	10 b
	T_4	7 a	8 ab	11 a

	T_5	9 a	9 a	7 c
CV (%)		11,81	7,51	9,78
DMS		2,1	1,3	1,9
CR (cm)	T_1	7 ab	8 a	7 b
	T_2	5 b	7 a	11 a
	T_3	6 ab	7 a	9 ab
	T_4	5 b	8 a	11 a
	T_5	7 a	7 a	7 b
CV (%)		15,98	25,08	15,14
DMS		2,1	3,97	3,1

*Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, em cada período de armazenamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. T_1 – (0 g kg^{-1} sementes); T_2 – (2 g kg^{-1} sementes); T_3 – (4 g kg^{-1} sementes); T_4 – (6 g kg^{-1} sementes); T_5 – (8 g kg^{-1} sementes); CV = Coeficiente de variação; DMS = Diferença mínima significativa.

O comprimento da raiz das plântulas também apresentou variação significativa entre os tratamentos e períodos de armazenamento, como consta na Tabela 3. No período inicial (0 dias), os tratamentos T1, T3 e T5 apresentaram os maiores comprimentos radiculares (7 cm), diferindo estatisticamente de T2 e T4, que apresentaram menor crescimento radicular (5 cm).

Após 20 dias de armazenamento, observou-se uniformidade entre os tratamentos, com valores variando entre 7 e 8 cm, sem diferenças estatísticas significativas entre as doses de silício.

Entretanto, após 40 dias de armazenamento, houve aumento expressivo do comprimento da raiz nos tratamentos T2, T3 e T4, que atingiram valores entre 9 e 11 cm, com destaque para T2 e T4 (11 cm). O tratamento T5 apresentou valor inferior (7 cm), semelhante ao controle.

Esses resultados indicam que doses intermediárias de silício podem estimular o desenvolvimento radicular das plântulas após períodos mais prolongados de armazenamento, enquanto doses mais elevadas podem limitar esse efeito. O desenvolvimento do sistema radicular é fundamental para o estabelecimento inicial das plantas, uma vez que raízes mais desenvolvidas proporcionam maior capacidade de absorção de água e nutrientes (Taiz *et al*., 2017). Estudos indicam que o silício pode contribuir para o crescimento radicular ao melhorar a integridade estrutural dos tecidos vegetais, reduzir danos oxidativos e aumentar a tolerância das plantas a diferentes estresses ambientais (Zargar *et al*., 2019; Coskun *et al*., 2019; Islam *et al*., 2020).

Considerando os períodos de armazenamento, verificou-se que a germinação apresentou tendência de redução ao longo do tempo em alguns tratamentos, especialmente nas doses mais elevadas de silício. Por outro lado, as variáveis de crescimento de plântulas (comprimento da parte aérea e da raiz) apresentaram, em alguns casos, aumento ao longo do armazenamento, principalmente nos tratamentos com doses intermediárias de silício.

De forma geral, os resultados indicam que o armazenamento por até 40 dias não compromete significativamente o vigor das sementes tratadas com doses moderadas de silício, podendo inclusive favorecer o crescimento inicial das plântulas. Resultados semelhantes foram observados em estudos que demonstram que o silício pode

contribuir para o aumento do vigor inicial das plantas e para a mitigação de estresses fisiológicos durante as fases iniciais de desenvolvimento (Coskun *et al*., 2019; Hussain *et al*., 2021; Zargar *et al*., 2019). Entretanto, doses elevadas podem resultar em efeitos negativos sobre a germinação e o desenvolvimento inicial, evidenciando a importância da definição de doses adequadas no tratamento de sementes.

4 CONCLUSÃO

O tratamento de sementes de soja com silício nas doses de 2 e 4 g kg^{-1} preservou a germinação e favoreceu o crescimento inicial das plântulas durante 40 dias de armazenamento. A dose de 8 g kg^{-1} reduziu a germinação e não promoveu benefícios ao desenvolvimento inicial.

REFERÊNCIAS

BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. Seeds: Physiology of development, germination and dormancy. 3. ed. New York: **Springer**, 2013. DOI: 10.1007/978-1-4614-4693-4.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análises de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes**: ciência, tecnologia e produção. 6 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2022.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2025/26**. Brasília, 2026.

COSKUN, D.; DESHMUKH, R.; SONAH, H.; MENZIES, J. G.; REYNOLDS, O.; MA, J. F.; KRONZUCKER, H. J.; BÉLANGER, R. R. The controversies of silicon's role in plant biology. **New Phytologist**, v. 221, n. 1, p. 67-85, 2019. DOI: https://doi.org/10.1111/nph.15343.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 50, 641-664. 1999. DOI: http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.641.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema de análise computacional. Para efeitos fixos do tipo Split Plot. **Revista brasileira de Biometria**, [*S. l.*], v. 37, n. 4, p. 529-535, dez. 2019.

FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; COSTA, N. P. **Seed vigor and soybean crop establishment**. Londrina: Embrapa, 2020.

HUSSAIN, S.; MUMTAZ, M.; MANZOOR, S.; LI, S.; AHMED, I.; SKALICKÝ, M.; BRESTIC, M.; RASTOGI, A.; ULHASSAN, Z.; SHAFIG, I.; ALLAKHVERDIEV, S. I.; KHURSHID, H.; YANG, W.; LIU, W. Foliar application of silicon improves growth of soybean by enhancing carbon metabolism under shading conditions. **Plant Hysiology and Biochemistry**, 159, 43–52. 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.053.

ISLAM, W.; TAYYAB, M.; KHALIL, F.; HUA, Z.; HUANG, Z.; CHEN, H. Y. H. Silicon-mediated plant defense against pathogens and insect pests. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 168, p. 104641, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104641

LUYCKX, M; HAUSMAN, J-F.; LUTTS, S.; GUERRIERO, G. Silicon and Plants: Current Knowledge and Technological Perspectives. **Front. Plant Sci**. 8:411. 2017. DOI: 10.3389/fpls.2017.00411

MA, J. F.; YAMAJI, N. A cooperative system of silicon transport in plants. **Trends in Plant Science**, 20(7), 435-442. 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.04.007.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2020.

MENTEN, J. O. M.; MORAES, M. H. D. Tratamento de sementes na agricultura moderna. **Seed News**, 2021.

OLIVEIRA, C. F.; COSTA, K. S. Q.; MELO, M. P.; LIMA, H. C.; CORDOVIL, H. P. L.; MOREIRA, A. V. P.; MELO, N. C.; MORAES, F. K. C.; FERREIRA, R. L. C.; CRUZ, F. J. R.; FEITOSA, E. O.; SOUZA, L. C.; NASCIMENTO, V. R. Growth of soybean plants cultivated in soil and fertilized with silicon. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/1519-6984.284663.

RANJAN, A.; SINHA, R.; BALA, M.; PAREEK, A.; SINGLA-PAREEK, S.L.; SINGH, A. K. Silicon-mediated abiotic and biotic stress mitigation in plants: Underlying mechanisms and potential for stress resilient agriculture. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 163, p. 15-25, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.044

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Plant Physiology and Development** (6th ed.). Sinauer Associates / Oxford University Press. 2017. DOI: https://doi.org/10.1093/hesc/9780197614204.001.0001

ZARGAR, S. M.; MAHAJAN, R.; BHAT, J. A.; NAZIR, M.; DESHMUKH, R. Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. 3 **Biotech**, v. 9, n. 3, p. 73, 2019. DOI: 10.1007/s13205-019-1613-z