

Tolerância do trigo submetido a diferentes teores de alumínio em solução nutritiva

Tolerance of wheat subjected to different aluminum concentrations in nutritive solution

LAYSA CRISTINA DE MELO SILVA

Discente de Agronomia (UNIPAM)
lcmelos322@unipam.edu.br

MAURICIO ANTÔNIO DE OLIVEIRA COELHO

Professor orientador (UNIPAM)
mauricioac@unipam.edu.br

Resumo: O trigo é um cereal de ampla aplicabilidade, cuja produção tem sido objeto de crescente interesse científico com o objetivo de maximizar sua produtividade. Um dos principais fatores limitantes para o cultivo do trigo no Brasil é a toxicidade do alumínio presente no solo, que inibe o alongamento celular e compromete o crescimento radicular. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a tolerância do trigo a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do UNIPAM, em Patos de Minas – MG, entre julho e setembro de 2024. Utilizou-se a cultivar MGS-BRILHANTE, desenvolvida pela EPAMIG. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), com sete tratamentos e cinco repetições, totalizando 35 unidades experimentais. Os tratamentos consistiram em diferentes doses de alumínio em solução nutritiva: T1 – sem adição de Al^{3+} ; T2 – 2 mg L^{-1} de Al^{3+} ; T3 – 4 mg L^{-1} ; T4 – 6 mg L^{-1} ; T5 – 8 mg L^{-1} ; T6 – 10 mg L^{-1} ; e T7 – controle. Foram utilizados vasos tipo jardineira com capacidade de sete litros. Semeou-se 16 plantas por linha, sendo realizado o desbaste aos 20 dias, mantendo-se 10 plantas por linha. As soluções foram aplicadas semanalmente após o desbaste, na proporção de 100 mL por vaso. Avaliaram-se altura de planta, massa seca da parte aérea e das raízes, volume radicular e número de espigas. Os dados foram submetidos à análise de variância e ajustados por modelos de regressão, considerando-se 5% de significância. Os resultados indicaram ausência de diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos para todas as variáveis analisadas, sugerindo que, nas condições do presente estudo, a cultivar apresenta tolerância à toxicidade por alumínio.

Palavras-chave: alumínio; solução nutritiva; toxicidade; trigo.

Abstract: Wheat is a cereal with wide applicability, and its production has been the focus of increasing scientific interest aiming to maximize productivity. One of the main limiting factors for wheat cultivation in Brazil is aluminum toxicity in the soil, which inhibits cell elongation and compromises root growth. In this context, the present study aimed to evaluate the tolerance of wheat to different aluminum concentrations in nutrient solution. The experiment was conducted in a greenhouse at UNIPAM, in Patos de Minas – MG, from July to September 2024. The cultivar used was MGS-BRILHANTE, developed by EPAMIG. A randomized block design (RBD) was employed, with seven treatments and five replicates, totaling 35 experimental units. The treatments consisted of different concentrations of aluminum in nutrient solution: T1 – no addition of Al^{3+} ; T2 – 2 mg L^{-1} of Al^{3+} ; T3 – 4 mg L^{-1} ; T4 – 6 mg L^{-1} ; T5 – 8 mg L^{-1} ; T6 – 10 mg L^{-1} ; and T7 – control. Planter-type pots with a capacity of seven liters were used. Sixteen plants were

sown per row, with thinning performed at 20 days, maintaining ten plants per row. Nutrient solutions were applied weekly after thinning, in a volume of 100 mL per pot. The variables evaluated were plant height, shoot and root dry mass, root volume, and number of spikes. Data were subjected to analysis of variance and fitted to regression models at a 5% significance level. The results indicated no statistically significant differences among treatments for any of the evaluated variables, suggesting that, under the conditions of this study, the cultivar exhibits tolerance to aluminum toxicity.

Key-words: aluminum; nutrient solution; toxicity; wheat.

1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum sativum* L.) é um dos cereais de maior importância cultivados pelo ser humano, destacando-se por sua relevância tanto na alimentação quanto na economia. Trata-se de uma cultura amplamente disseminada, cultivada em diferentes regiões do mundo, sob variados climas e condições geográficas (Kolcheski *et al.*, 2019). Essa importância se justifica pelo fato de o trigo constituir a principal matéria-prima para a produção de alimentos consumidos diariamente, como pães, bolos, biscoitos e massas. Nesse contexto, o estudo desse cereal mostra-se relevante para a compreensão de suas características agrônômicas e potencialidades de aplicação (Manfron; Lazzarotto; Medeiros, 1993; Scheuer *et al.*, 2011).

Segundo dados da CONAB (2023), a produção brasileira de trigo na safra 2022/2023 foi de 10.817,5 mil toneladas. Contudo, esse volume ainda é insuficiente para suprir a demanda nacional, estimada em cerca de 16.557,9 mil toneladas anuais, sendo necessário importar aproximadamente 5 mil toneladas. Na safra atual, embora tenham sido registradas adversidades climáticas em algumas regiões produtoras, a condição geral das lavouras é considerada satisfatória, embora inferior àquela observada na safra excepcional de 2022 (CONAB, 2023).

Um dos fatores que limitam o aumento da produtividade do trigo no Brasil é a toxicidade do alumínio, a qual provoca a interrupção do crescimento radicular em razão da inibição do alongamento celular (Kerridge, 1969). Segundo Camargo, Felício e Rocha Júnior (1987), grande parte dos solos brasileiros apresenta acidez elevada, sendo composta por formas de alumínio solúvel ou trocável, que inibem o crescimento das raízes na maioria das variedades de trigo, resultando em menor perfilhamento das plantas e consequente redução da produtividade.

De acordo com Camargo e Oliveira (1981), a toxicidade do alumínio não constitui o único fator limitante em solos ácidos. No entanto, os métodos disponíveis para distinguir plantas tolerantes e sensíveis a determinados níveis de alumínio nesses solos ainda carecem de precisão. Ademais, as partes da planta mais diretamente afetadas, as raízes, são de difícil observação e avaliação em condições de campo. Estudos indicam que o crescimento radicular, especialmente nos estágios iniciais de desenvolvimento, pode ser influenciado por diversos fatores, como força iônica (concentração de sais), pH, temperatura e disponibilidade de fósforo na solução nutritiva, quando há presença de Al^{3+} (Ali, 1973; Camargo; Oliveira, 1981; Camargo; Oliveira; Lavorenti, 1981; Camargo, 1984; Moore, 1974; Moore *et al.*, 1976).

Um recurso que pode contribuir para o aumento da tolerância das plantas ao alumínio é a utilização de soluções nutritivas, as quais constituem sistemas homogêneos nos quais os nutrientes essenciais são disponibilizados às plantas, geralmente na forma iônica e em proporções adequadas. Em condições normais, todos os nutrientes presentes na solução são absorvidos pelas raízes em quantidades suficientes para suprir as exigências fisiológicas da planta. (Cometti, 2006). Posto isso, o presente projeto tem como objetivo avaliar a tolerância do trigo a diferentes teores de alumínio.

2 METODOLOGIA

2.1 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO

O experimento foi instalado na casa de vegetação do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), localizada no município de Patos de Minas – MG, no mês de julho de 2024. A área experimental situa-se nas coordenadas geográficas 18°34' de latitude Sul, 46°31' de longitude Oeste e 815 metros de altitude. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo tropical de altitude (Cwa), com precipitação média anual em torno de 1400 mm (SOUZA *et al.*, 2005), temperatura média anual de 21,1 °C, máxima anual de 27,8 °C e mínima anual de 16,3 °C, conforme dados da Estação Meteorológica de Sertãozinho (EPAMIG), localizada no referido município.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), com sete tratamentos e cinco repetições, totalizando 35 unidades experimentais. Os tratamentos consistiram em seis concentrações de alumínio (0, 2, 4, 6, 8 e 10 mg L⁻¹ de Al³⁺) em solução nutritiva, além de um tratamento adicional, no qual não houve aplicação da solução. Cada parcela foi composta por cinco linhas, com sete vasos tipo jardineira (capacidade de sete litros) por linha. As concentrações utilizadas estão detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1: Tratamentos utilizados no experimento: “Tolerância do trigo submetido a diferentes teores de alumínio em solução nutritiva”. Safra 2024/25
Centro Universitário de Patos de Minas, UNIPAM. Patos de Minas – MG, 2025

Tratamento	Doses (mg L ⁻¹ de Al ³⁺)
T1	0
T2	2
T3	4
T4	6
T5	8
T6	10
T7	Controle

Fonte: dados da pesquisa, 2025.

A adubação não foi necessária, considerando que a análise do solo indicou alta fertilidade natural. As características químicas da amostra de solo utilizada estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Análise química do solo da área coletada para implantação e condução do experimento “Tolerância do trigo submetido a diferentes teores de alumínio em solução nutritiva”. Safra 2024/25. Centro Universitário de Patos de Minas, UNIPAM Patos de Minas - MG 2025

M.O.	pH	P-Meh	P-Rem	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	CTC _T	V%
dag Kg ⁻¹	H ₂ O	mg dm ⁻³			cmolc dm ⁻³					%
2,66	5,90	7,48	16,49	264,13	3,60	1,90	0,01	2,20	8,38	73,73

Fonte: dados da pesquisa, 2025.

As soluções nutritivas foram aplicadas a cada quinze dias, totalizando sete aplicações durante o período experimental. A composição das soluções seguiu os princípios propostos por Hoagland e Arnon (1950), conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3: Composição da solução nutritiva de acordo com Hoagland e Arnon, 1950.

Fertilizantes/Sais da solução estoque	Concentração da solução estoque	Completo	N - Volume da solução	P - estoque por L	K - da solução	Ca - estoque	Mg - por L	S da solução final
1-KH ₂ PO ₄ (Mol L-1)	136,09	1	1	-	-	1	1	1
2-KNO ₃ (Mol L-1)	101,11	5	-	5	-	5	3	3
3-Ca (NO ₃) ₂ 5H ₂ O (Mol L-1)	236,16	5	-	5	5	-	4	4
4-MgSO ₄ .7H ₂ O (Mol L-1)	247,47	2	2	2	2	2	-	-
5-KCl (Mol L-1)	74,56	-	5	1	-	-	2	2
	(g por L de água)						mL L ⁻¹	
6-CaCl ₂ 2H ₂ O (Mol L-1)	147,02	-	5	-	-	-	1	1
7-NH ₄ H ₂ PO ₄ (Mol L-1)	115,31	-	-	-	1	-	-	-
8-NH ₄ NO ₃ (Mol L-1)	80,04	-	-	-	2	5	-	-
9-(NH ₄) ₂ SO ₄ (Mol L-1)	132,14	-	-	-	-	-	2	-
10-MgNO ₃ .6H ₂ O (Mol L-1)	256,43	-	-	-	-	-	-	2
11-Solução de micros (*)		1	1	1	1	1	1	1
12-Solução Fe EDTA (**)		1	1	1	1	1	1	1

(*) - Em 1L: 2,86 g H₃BO₃; 1,81 g MnCl₂.4H₂O; 0,10 g ZnCl₂; 0,04 g CuCl₂; 0,02 g H₂MoO₄H₂O. (**) - 24,9 g FeSO₄.7H₂O ou 24,25 g de FeCl₂.6H₂O; 33,2g EDTA-Na; 89 mL NaOH 1N completar em 800 mL H₂O. Arejar uma noite ao abrigo da luz, completar a 1 L de água.

Para a adição de alumínio, utilizou-se sulfato de alumínio (Al₂(SO₄)₃), sendo as doses aplicadas conforme os tratamentos descritos na Tabela 1.

2.2 AVALIAÇÕES

As avaliações foram realizadas no Laboratório e Central de Análises de Fertilidade do Solo (CEFERT), localizado no Campus I do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM. As análises abrangeram: massa seca de raízes, perfilhos e espigas; comprimento da parte aérea; volume de raízes; e número de espigas, aos 90 dias após o plantio.

A determinação do comprimento da parte aérea e do número de espigas foi realizada dez dias antes da desmontagem do experimento. Para a mensuração do comprimento da parte aérea, utilizou-se uma fita métrica. O número de espigas foi quantificado com base na contagem total por vaso.

A avaliação da massa seca foi conduzida utilizando-se as mesmas plantas analisadas nas demais variáveis morfológicas. As amostras vegetais (raízes, perfilhos e espigas) foram acondicionadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa com ventilação controlada, a 65 °C, até atingirem massa constante. Posteriormente, a pesagem foi realizada em balança de precisão, obtendo-se os valores de matéria seca.

O volume radicular foi estimado com o uso de provetas de 1 L, previamente preenchidas com 700 mL de água. As raízes foram imersas na água, sendo registrado o volume deslocado, correspondente ao volume das raízes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados apresentados na Tabela 4, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre as doses de alumínio, nem entre estas e o tratamento controle, para as variáveis analisadas. Tal resultado pode ser atribuído à elevada fertilidade do solo utilizado no experimento, a qual pode ter atenuado os efeitos tóxicos do alumínio. Além disso, os dados sugerem uma possível tolerância da cultivar de trigo utilizada aos teores de alumínio aplicados.

Tabela 4: Resultados estatísticos no experimento: “Tolerância do trigo submetido a diferentes teores de alumínio em solução nutritiva”. Safra 2024/25
Centro Universitário de Patos de Minas, UNIPAM. Patos de Minas, 2025

Tratamentos	VR (mL)	MSPA (g)	MSR (g)	CPA (cm)	NE	MSE (g)
0 mg L ⁻¹ Al ³⁺	77 ^{NS}	25,21 ^{NS}	14,13 ^{NS}	72 ^{NS}	24 ^{NS}	18,58 ^{NS}
2 mg L ⁻¹ Al ³⁺	77	25,63	18,75	77	22	18,87
4 mg L ⁻¹ Al ³⁺	79	25,60	15,91	75	22	19,72
6 mg L ⁻¹ Al ³⁺	86	25,60	16,47	73	23	18,25
8 mg L ⁻¹ Al ³⁺	95	24,57	17,44	73	22	17,53
10 mg L ⁻¹ Al ³⁺	79	24,55	17,46	72	22	18,46
Controle	70	23,21	16,87	74	22	17,34

*NS: médias não significativas estatisticamente pelo modelo de Regressão a 5%.

*Legenda: VR: volume de raiz; MSPA: massa seca de parte aérea; MSR: massa seca de raiz; CPA: comprimento de parte aérea; NE: número de espigas por vaso; MSE: massa seca de espigas por vaso.

Camargo, Camargo e Souza (1983), ao avaliarem o crescimento de 22 cultivares de arroz em solução nutritiva com cinco diferentes concentrações de alumínio, observaram que as plantas consideradas tolerantes apresentaram bom desenvolvimento do sistema radicular, além de maior capacidade de absorção de água e nutrientes em maiores profundidades durante períodos de seca. Complementarmente, Diniz e Calbo (1990) verificaram que o aumento da concentração de sais na solução nutritiva atenuou os efeitos inibitórios do Al³⁺ sobre o crescimento das raízes, o que pode ser atribuído à redução da atividade iônica do alumínio em meio mais concentrado.

Por outro lado, Camargo *et al.* (2006) constataram que o crescimento das raízes primárias centrais foi progressivamente reduzido com o aumento das concentrações de alumínio na solução nutritiva. Além disso, identificaram a suscetibilidade de cultivares não tolerantes, como o trigo comum IAC-350, cujo meristema apical radicular apresentou paralisação irreversível após 48 horas de exposição a soluções contendo 10 mg L⁻¹ de alumínio.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sob as condições específicas deste estudo, os teores de alumínio aplicados não promoveram efeitos significativos sobre o desenvolvimento do trigo, evidenciando a tolerância da cultivar utilizada à toxicidade do alumínio.

REFERÊNCIAS

ALI, S. M. E. **Influence of cations on aluminum toxicity in wheat (*Triticum aestivum* Vill., Host)**, 1973. 102 f. Tese (Doutorado) - Curso de Soil Science, Oregon State University, Corvallis, 1973. Disponível em: https://ir.library.oregonstate.edu/concern/graduate_thesis_or_dissertations/qf85nf94c

CAMARGO, C. E. de O. O pH das soluções nutritivas no comportamento de cultivares de trigo à toxicidade de alumínio. **Bragantia**, v. 43, n. 2, p. 327-335, 1984. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87051984000200005>.

CAMARGO, C. E. de O.; CAMARGO, O. B. de A.; SOUZA, D. M. de. Tolerância de cultivares de arroz a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva. **Bragantia**, v. 42, n. 1, p. 191-201, 1983. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87051983000100017>.

CAMARGO, C. E. de O.; FELÍCIO, J. C.; FERREIRA FILHO, A. W. P.; LOBATO, M. T. V. Tolerância de genótipos de trigo comum, trigo duro e tritcale à toxicidade de alumínio em soluções nutritivas. **Bragantia**, v. 65, n. 1, p. 43-53, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87052006000100007>.

CAMARGO, C. E. de O.; FELÍCIO, J. C.; ROCHA JÚNIOR, L. S. Trigo: tolerância ao alumínio em solução nutritiva. **Bragantia**, v. 46, n. 2, p. 183-190, 1987. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87051987000200003>.

CAMARGO, C. E. de O.; OLIVEIRA, O. F. de. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. **Bragantia**, v. 40, n. 1, p. 21-31, 1981. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87051981000100003>.

CAMARGO, C. E. de O.; OLIVEIRA, O. F. de; LAVORENTI, A. Efeito de diferentes concentrações de sais em solução nutritiva na tolerância de cultivares de trigo à toxicidade de alumínio. **Bragantia**, v. 40, n. 1, p. 93-101, 1981. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87051981000100008>.

COMETTI, N. N. *et al.* Soluções nutritivas: formulação e aplicações. In: FERNANDES, M. S. (ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. p. 89-114.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 9 (nono levantamento), junho. 2023.

DINIZ, V. P. M.; CALBO, M. E. R. Efeito da aplicação foliar de fósforo sobre a toxidez de alumínio em plantas de tomate. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 2, n. 2, p. 57-61, 1990.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. L. **The water culture methods for growing plants without soil**. Berkeley, California Agriculture Experiment Station, 1950. 32p. (Bulletin, 347).

KERRIDGE, P. C. **Aluminum toxicity in wheat (*Triticum aestivum* Vill., host)**. 1968. Tese (Doutorado) - Curso de Soils, Oregon State University, [S. l.], 1969.

KOLCHESKI, J. *et al.* Análise financeira da cultura de trigo na safra 2017/2018 em propriedade familiar no nordeste do RS. *In: IX SIEPEX - SALÃO INTEGRADO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO*, 9., 2019, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: UERGS, 2019.

MANFRON, P. A.; LAZZAROTTO, C.; MEDEIROS, S. L. P. TRIGO - Aspectos agrometeorológicos. **Ciência Rural**, v. 23, n. 2, p. 233-239, ago. 1993. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84781993000200021>.

MOORE, D. P. *et al.* Screening wheat for aluminum tolerance. *In: WORKSHOP ON PLANT ADAPTATION TO MINERAL STRESS IN PROBLEM SOILS*, Beltsville, 1976. **Proceedings...** Ithaca: Cornell University, 1976. p.287-295.

MOORE, D. P. Physiological effects of pH on plant roots. *In: CARSON, E.W. (Ed.). The plant root and its environment*, Charlottesville, VA: University Press of Virginia, 1974. p.135-151.

SCHEUER, P. M. *et al.* Trigo: características e utilização na panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. 2, p. 211-222, 30 jun. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v13n2p211-222>.