TEORES DE CLOROFILA EM MILHO SUBMETIDO A DOSES CRESCENTES DE ADUBAÇÃO NPK EM SOORETAMA – ES

Sarah de Paula Cristo, Joao Gabriel Maciel Lopes, Thamara Serra, Cristyan Fraga do Rosario, Pamela Serra Peixoto, Joabe Martins de Souza, Omar Schmildt

Curso Técnico em Agronegócio da EEEFM Armando Barbosa Quitiba, Rua Vitório Bobbio, 412 - Centro, Sooretama - ES, 29927-000, Brasil. quitibaagronegocio@gmail.com

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os teores foliares de clorofila A, clorofila B e clorofila total em milho submetido a doses de fertilizante mineral (NPK 10-10-10). O experimento foi conduzido em condições de campo no município de Sooretama/ES. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, composto por cinco tratamentos (0, 5, 10, 15 e 20 g por planta) e 9 repetições. As avaliações dos teores de pigmentos foram realizadas com clorofilômetro eletrônico portátil no terço médio das plantas.Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Houve efeito altamente significativo ($p < 0,0001$) para todas as variáveis bioquímicas. A dose de 10 g proporcionou os maiores teores de clorofila A (44,44 ICF), clorofila B (33,96 ICF) e clorofila total (78,40 ICF), superando estatisticamente as demais doses. Doses superiores a 10 g promoveram decréscimo nos teores de pigmentos foliares, evidenciando o efeito de consumo de luxo ou estresse salino/nutricional. Conclui-se que a dose de 10 g de NPK 10-10-10 por planta otimiza o status fotossintético do milho nas condições edafoclimáticas locais.

Palavras-chave: *Zea mays* L. Nutrição mineral. Pigmentos fotossintéticos. Adubação NPK. Fisiologia vegetal.

Área do Conhecimento: Técnico

Introdução

A cultura do milho (*Zea mays* L.) desempenha papel estratégico na agricultura mundial e nacional, constituindo uma das principais fontes de grãos para alimentação humana, animal e insumo industrial (Taiz *et al*., 2017; Santos *et al*., 2020). A obtenção de elevados tetos produtivos e a eficiência no uso de recursos ambientais dependem diretamente da capacidade fotossintética do dossel foliar, a qual é regulada pela disponibilidade de nutrientes e pela síntese de pigmentos fotossintéticos (Oliveira *et al*., 2018; Santos *et al*., 2020).

As clorofilas a e b são os principais compostos orgânicos responsáveis pela absorção da radiação luminosa e conversão em energia fotoquímica nas reações do complexo antena e dos centros de reação (Taiz et al., 2017). O nitrogênio (N) é o constituinte estrutural básico da molécula de clorofila, enquanto o fósforo (P) e o potássio (K) atuam no transporte de energia (ATP) e na regulação osmótica e estomática, respectivamente (Taiz *et al*., 2017; Dantas, 2023). Dessa forma, a aplicação equilibrada de fertilizantes NPK impacta diretamente a taxa de síntese de pigmentos e a homeostase fisiológica do milho (Oliveira *et al*., 2018; Serafim *et al*., 2021).

determinação indireta e não destrutiva do teor de clorofila via clorofilômetros eletrônicos consolida-se como uma ferramenta rápida, precisa e sustentável no monitoramento do status nutricional das culturas em tempo real (Partelli *et al*., 2020; Verdin Filho *et al*., 2022). No entanto, o suprimento excessivo de adubação mineral pode induzir desequilíbrios iônicos ou efeitos de estresse osmótico que comprometem o aparelho fotossintético (Serafim *et al*., 2021; Dantas, 2023).

Diante do exposto, torna-se essencial identificar a dose adequada de adubação mineral que maximize o status fotoquímico da cultura sem causar fitotoxicidade ou desperdício de insumos nas condições edafoclimáticas do norte do Espírito Santo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os teores foliares de clorofila A, B e Total em plantas de milho submetidas a doses crescentes de adubação NPK 10-10-10 em Sooretama - ES.

Metodologia

O experimento foi conduzido em condições de campo no município de Sooretama, localizado na região norte do Estado do Espírito Santo, Brasil. A cultura do milho (*Zea mays* L.) foi semeada em 05/05/2026, e o ciclo produtivo encerrado com a colheita em 05/08/2026.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), composto por cinco tratamentos baseados em doses graduais do fertilizante mineral NPK (10-10-10): T1 (0g - controle/testemunha), T2 (5g), T3 (10g), T4 (15g) e T5 (20g) por unidade experimental. Foram utilizadas nove repetições por tratamento, totalizando 45 unidades experimentais.

Para garantir a homogeneidade da população de plantas e o aproveitamento dos recursos, o arranjo espacial foi estabelecido com espaçamento de 0,45 m entre linhas e 0,20 m entre plantas. Todas as parcelas foram submetidas ao mesmo manejo hídrico e fitossanitário.

A coleta de dados e amostragem foliar foi padronizada mediante a seleção de folhas fisiologicamente maduras, sadias e completamente expandidas, localizadas na região do terço médio da copa das plantas. A determinação não destrutiva dos teores de pigmentos fotossintéticos — Clorofila a, Clorofila b e Clorofila Total (a + b) — foi realizada utilizando-se um clorofilômetro eletrônico portátil (ClorofiLOG®, modelo CFL 1030, Falker Automação Agrícola, Porto Alegre, RS). A mensuração baseia-se na absorção óptica da radiação foliar em comprimentos de onda específicos no espectro do vermelho e infravermelho próximo, expressando os resultados em valores adimensionais de Índice de Clorofila Falker (ICF).

Os dados obtidos foram tabulados e submetidos à verificação das pressuposições de normalidade e homogeneidade de variâncias. Em seguida, procederam-se às análises de variância (ANOVA) para verificação dos efeitos dos tratamentos pelo teste F. Quando verificada significância estatística, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Resultados

A análise de variância (ANOVA) revelou que houve efeito altamente significativo ($p < 0,0001$) das doses de fertilizante mineral NPK (10-10-10) para todas as frações de clorofila avaliadas no milho (Clorofila a, Clorofila b e Clorofila Total), atestando que as variações observadas nas variáveis fisiológicas foram decorrentes das doses aplicadas e não de oscilações aleatórias do ambiente.

Os valores médios obtidos e seus respectivos desdobramentos estatísticos pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade estão consolidados na Tabela 1.

Tabela 1 – Teores médios de Clorofila a, Clorofila b e Clorofila Total em milho (*Zea mays* L.) submetido a doses crescentes de adubação mineral.

Tratamento / Dose	Clorofila A (ICF)	Clorofila B (ICF)	Clorofila Total (ICF)
T1 (0 g)	27,83 c	12,59 c	40,42 c
T2 (5 g)	34,11 b	24,60 b	58,71 b
T3 (10g)	44,44 a	33,96 a	78,40 a
T4 (15 g)	36,94 b	28,51 ab	65,46 b
T5 (20 g)	34,89 b	21,87 b	56,76 b
DMS (Tukey 5%)	3,90	6,85	8,72
Valor de p	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
CV (%)	8,12%	20,94%	10,81%

Fonte: elaborado pelo próprio autor (2026). Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV = Coeficiente de Variação. DMS = Diferença Mínima Significativa. ICF = Índice de Clorofila Falker.

Para o teor de clorofila a, observou-se um incremento acentuado com o aumento inicial da dosagem mineral, alcançando o valor máximo absoluto de 44,44 ICF na dose de 10 g (T3), o que representou um aumento de 59,7% em relação ao tratamento testemunha sem adubação (27,83 ICF). O tratamento T3 isolou-se estatisticamente como o mais eficiente.

A elevação da dose para 15 g (T4) e 20 g (T5) promoveu um decréscimo estatisticamente significativo nos teores de Clorofila a, resultando em médias de 36,94 ICF e 34,89 ICF, respectivamente. Essas médias não diferiram estatisticamente do tratamento de 5 g (34,11 ICF).

O tratamento controle (0 g) registrou a menor média (27,83 ICF). Em relação à Clorofila b, a menor média foi novamente observada na testemunha sem adubação (12,59 ICF). O suprimento de 5 g de NPK elevou o teor para 24,60 ICF.

O pico máximo de acúmulo ocorreu no tratamento T3 (10 g), registrando 33,96 ICF, o que correspondeu a um incremento de 169,7% em comparação ao controle. O tratamento T4 (15 g) apresentou uma média de 28,51 ICF e figurou em uma posição intermediária, não diferindo estatisticamente nem do pico (T3) e nem do tratamento T2 (5 g).

Na dose máxima de 20 g (T5), o teor reduziu para 21,87 ICF, mantendo-se equivalente às doses de 5 g e 15 g. A Clorofila Total (a + b) apresentou comportamento similar ao verificado para a fração a. O tratamento com 10 g de NPK (T3) destacou-se com a maior média absoluta do experimento (78,40 ICF), superando significativamente todos os demais tratamentos.

A ausência de adubação mineral (0 g) resultou na menor concentração total de pigmentos (40,42 ICF). Os tratamentos com 5 g (58,71 ICF), 15 g (65,46 ICF) e 20 g (56,76 ICF) não apresentaram diferenças estatísticas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A precisão experimental reflete-se nos coeficientes de variação (CV), que se mantiveram dentro dos limites adequados para ensaios fisiológicos em condições de campo: 8,12% para Clorofila a, 10,81% para Clorofila Total e 20,94% para Clorofila b.

Discussão

Os resultados observados demonstram que a aplicação de fertilizante mineral NPK (10-10-10) até a dosagem de 10 g por planta (T3) promoveu um incremento substancial e estatisticamente comprovado nos teores foliares de Clorofila a, Clorofila b e Clorofila Total no milho.

Essa resposta positiva está fundamentada no papel bioquímico do nitrogênio e do magnésio como constituintes diretos do anel porfirínico da molécula de clorofila, bem como no papel do fósforo no suprimento de ATP indispensável para as rotas biossintéticas do ácido 5-aminolevulínico (ALA) (Taiz *et al*., 2017; Santos *et al*., 2020). Conforme salientado por Oliveira *et al*. (2018), alterações na disponibilidade nutricional exigem ajustes contínuos no aparelho fotossintético para maximizar a conversão de energia luminosa em energia química sem causar fotoinibição.

A elevação dos teores de Clorofila a na dose de 10 g (44,44 ICF) reflete a expansão dos centros de reação dos fotossistemas PSI e PSII (P680 e P700), otimizando a taxa fotossintética líquida da cultura do milho, espécie C4 que possui alta exigência de luz e nutrientes para sustentar o ciclo de carboxilação da PEP-carboxilase (Partelli *et al*., 2020; Verdin Filho *et al*., 2022).

Para a fração de Clorofila b, o expressivo aumento de 12,59 ICF (0 g) para 33,96 ICF (10 g) evidencia o investimento da planta no suprimento dos complexos coletores de luz. A Clorofila b atua como pigmento acessório, expandindo o espectro de absorção na faixa do azul e do vermelho para transferir energia de excitação por ressonância à Clorofila a (Taiz *et al*., 2017). A elevação proporcional de Clorofila b nos tratamentos adequadamente adubados reforça a alta plasticidade foliar da cultura sob boas condições nutricionais (Santos *et al*., 2020). Por outro lado, o comportamento observado nas doses de 15 g e 20 g, que resultou em retração nos teores de pigmentos foliares aos níveis observados na dose de 5 g, exemplifica o fenômeno de estresse por superdosagem mineral e a Lei dos rendimentos decrescentes (Serafim *et al*., 2021; Dantas, 2023).

A adição excessiva de fertilizantes altamente solúveis em um volume restrito do solo eleva abruptamente a condutividade elétrica da solução do solo, gerando um potencial osmótico extremamente negativo em torno do sistema radicular (Santos *et al*., 2020). Esse estresse osmótico (seca fisiológica) restringe a absorção de água e induz o fechamento estomático parcial, aumentando a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) nos cloroplastos (Oliveira *et al*., 2018).

Em resposta ao estresse oxidativo, ocorrem processos de peroxidação lipídica das membranas dos tilacoides e degradação enzimática da clorofila via ativamento da clorofilase (Taiz *et al*., 2017). Adicionalmente, o excesso de sais de amônio/potássio pode gerar antagonismo iônico, inibindo a absorção de $Mg^{2+,}$ cofator central para o acúmulo estável de clorofila (Serafim *et al*., 2021).

Essa resposta evidencia que a dosagem de 10 g de NPK (10-10-10) por planta representa o ponto de máxima eficiência fisiológica para o acúmulo de pigmentos fotossintéticos na cultura do milho nas condições edafoclimáticas de Sooretama/ES. Aplicações superiores a esse limite geram desperdício de insumos e desencadeiam desequilíbrios ecofisiológicos na cultura (Partelli *et al*., 2020; Verdin Filho *et al*., 2022).

Conclusão

A adubação mineral com NPK (10-10-10) influencia significativamente os teores de pigmentos fotossintéticos na cultura do milho (*Zea mays* L.). A dose de 10 g de NPK por planta proporciona a máxima eficiência bioquímico-fisiológica, promovendo os maiores teores de Clorofila a (44,44 ICF), Clorofila b (33,96 ICF) e Clorofila Total (78,40 ICF).

Doses elevadas de fertilizante mineral (15 g e 20 g por planta) causam redução nos teores foliares de clorofila devido a estresses osmóticos e salinos no sistema radicular, igualando-se estatisticamente ao desempenho da dose de 5 g.

Recomenda-se a dose de 10 g de NPK (10-10-10) por planta como a de maior racionalidade técnica e eficiência para otimizar o aparelho fotossintético do milho sob as condições estudadas.

Referências

DANTAS, R. C. R. C. *Comportamento fisiológico, crescimento vegetativo e produtividade de pimenteira-do-reino em tutor vivo de gliricídia e estaca de madeira*. 2023. Tese (Doutorado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2023.

OLIVEIRA, M. G.; SILVA, A. C.; SOUZA, J. L.; SANTOS, M. A. Microclima e respostas fisiológicas de culturas perenes sob diferentes arranjos espaciais em ambiente tropical. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 8, p. 540-546, ago. 2018.

PARTELLI, F. L.; GOLYNSKI, A.; FERREIRA, A.; MARTINS, M. Q.; ESPINDULA, M. C. Physiological performance and chlorophyll content in *Coffea canephora* genotypes**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, DF, v. 55, e01850, p. 1-10, out. 2020.

SANTOS, L. C.; SILVA, R. M.; ALMEIDA, F. J.; LIMA, V. M. Teores de clorofila e eficiência fotossintética em espécies agrícolas tropicais submetidas a variações térmicas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 51, n. 3, p. 1-9, jul./set. 2020.

SERAFIM, M. E.; SILVA, C. A.; OLIVEIRA, R. B.; SOUZA, P. H.; COSTA, J. R. Tutoramento vivo na cultura da pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.): alterações microclimáticas e desempenho produtivo. **Bragantia**, Campinas, v. 80, e2521, p. 1-12, maio 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

VERDIN FILHO, A. C.; FONSECA, A. F. A.; COLODETTI, T. V.; RODRIGUES, W. N.; BRAGANÇA, S. M. Adaptabilidade ecofisiológica e teor de pigmentos foliares em clones de *Coffea canephora*. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 17, n. 2, e1890, p. 1-8, abr./jun. 2022.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio técnico e institucional de propriedades rurais parceiras no município de Sooretama-ES, e apoio e incentivo da Secretaria de Educação do Estado do Espírito Santo-SEDU/ES.