



Desenvolvimento Morfológico Inicial de Plântulas de Milho (*Zea Mays*) Submetidos a Doses de Nitrogênio

*Initial Morphological Development of Maize (*Zea Mays*) Seedlings Submitted to Nitrogen Levels*

Arthur Koch Ribeiro

Graduanda em Engenharia Agrônoma pela Faculdade Patos de Minas (FPM).

Hendryk Persan

Graduanda em Engenharia Agrônoma pela Faculdade Patos de Minas (FPM).

Unilson Gomes Pereira

Orientador e professor do curso de Engenharia Agrônoma pela Faculdade Patos de Minas (FPM).

Resumo: O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura de grande importância econômica, sendo influenciado pelo manejo nutricional, especialmente pela adubação nitrogenada, essencial para a síntese de proteínas, clorofila e enzimas. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de doses crescentes de nitrogênio (0, 45, 90 e 135 kg ha⁻¹) sobre o desenvolvimento morfológico inicial das plântulas de milho, considerando altura, número de folhas, diâmetro de colmo, comprimento de raiz e massa fresca total. O experimento foi conduzido em vasos plásticos com solo latossolo vermelho distrófico, na cultivar MG711 PWU, em Patos de Minas, Minas Gerais, utilizando-se delineamento em blocos casualizados com quatro tratamentos e cinco repetições. A ureia foi aplicada em cobertura, enquanto a adubação de base consistiu em fertilizante 08-30-10. Aos 40 dias após a semeadura, foram coletados dados sobre altura da parte aérea, número de folhas, diâmetro do colmo, comprimento de raízes e massa fresca das plantas. A análise estatística foi realizada por ANOVA a 5% de significância, seguida de ajuste de regressão polinomial cúbica para relacionar doses de nitrogênio e respostas morfológicas. Os resultados indicaram aumento significativo em todos os parâmetros avaliados com o incremento da dose de nitrogênio, evidenciando maior altura das plantas (15,16 a 42,36 cm), número de folhas (6,02 a 9,52), diâmetro de colmo (1,60 a 5,58 cm), comprimento radicular e massa fresca total (19,72 a 29,32 g). Observou-se que a aplicação adequada de nitrogênio favoreceu o crescimento vegetativo, o desenvolvimento foliar e radicular, e o acúmulo de biomassa, refletindo maior vigor inicial das plântulas. Conclui-se que o fornecimento progressivo de nitrogênio promoveu respostas positivas no desenvolvimento morfológico das plântulas, indicando que doses mais elevadas, dentro do intervalo estudado, são eficazes para otimizar o estabelecimento inicial do milho sob as condições estudadas.

Palavras-chave: doses; incremento; milho; nitrogênio.

Abstract: Maize (*Zea mays* L.) is an economically important crop, with its growth strongly influenced by nutrient management, particularly nitrogen fertilization, which is essential for the synthesis of proteins, chlorophyll, and enzymes. The objective of this study was to evaluate the effects of increasing nitrogen doses (0, 45, 90, and 135 kg ha⁻¹) on the initial morphological development of maize seedlings, considering plant height, leaf number, stem diameter, root length, and total fresh biomass. The experiment was conducted in plastic pots filled with dystrophic red latosol, using the MG711 PWU cultivar, in Patos de Minas, Minas Gerais, Brazil, following a randomized complete block design with four treatments and five replications. Urea was applied as topdressing, while a base fertilization of 08-30-10 was applied at sowing. Forty days after sowing, data were collected on plant height, leaf number,

stem diameter, root length, and fresh biomass. Statistical analysis was performed using ANOVA at 5% significance, followed by cubic polynomial regression to assess the relationship between nitrogen doses and morphological responses. Results showed a significant increase in all evaluated parameters with higher nitrogen doses, with plant height ranging from 15.16 to 42.36 cm, leaf number from 6.02 to 9.52, stem diameter from 1.60 to 5.58 cm, root length, and total fresh biomass from 19.72 to 29.32 g. Appropriate nitrogen application enhanced vegetative growth, leaf and root development, and biomass accumulation, reflecting greater initial seedling vigor. It is concluded that progressive nitrogen supply positively influenced the morphological development of maize seedlings, indicating that higher doses, within the studied range, are effective in optimizing early crop establishment under the conditions evaluated.

Keywords: doses; increment; maize; nitrogen.

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas mais importantes do mundo, desempenhando papel fundamental na alimentação humana e animal, além de servir como matéria-prima para diversos setores industriais. A produção dessa cultura está fortemente associada a práticas de manejo que visam garantir o crescimento e desenvolvimento das plantas desde os estágios iniciais. Entre os fatores que mais influenciam o desempenho inicial das plântulas, o nitrogênio destaca-se como um nutriente essencial, pois participa da síntese de proteínas, clorofila e enzimas fundamentais para o metabolismo vegetal (Batista *et al.*, 2019).

O desenvolvimento morfológico inicial das plântulas de milho compreende a formação de raízes, caules e folhas, sendo decisivo para a capacidade da planta de absorver nutrientes e água do solo. A qualidade desse desenvolvimento influencia diretamente o sucesso da cultura, visto que plantas bem estabelecidas têm maior resistência a estresses ambientais e melhor aproveitamento da radiação solar. Estudos demonstram que diferentes doses de nitrogênio podem afetar significativamente a taxa de crescimento e a morfologia das plântulas, alterando características como número de folhas, comprimento de raiz e área foliar, fatores que se refletem na produtividade final da cultura (Oliveira; Caetano, 2015).

Outro fator relevante é a interação entre densidade de plantas e dose de nitrogênio, pois a competição entre indivíduos por luz, água e nutrientes pode amplificar ou reduzir os efeitos da adubação. Ensaios em diferentes regiões mostram que a densidade populacional influencia a eficiência do uso de nitrogênio, sendo essencial ajustar as doses conforme o espaçamento e o número de plantas por hectare. Dessa forma, a avaliação da resposta das plântulas a diferentes doses de nitrogênio deve considerar também as condições de plantio, permitindo recomendações mais precisas para maximizar o desenvolvimento inicial (Oliveira; Caetano, 2015).

O nitrogênio é um dos nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, desempenhando papel central na síntese de aminoácidos, proteínas, clorofila e enzimas que regulam o metabolismo vegetal. Em culturas como o milho (*Zea mays* L.), o nitrogênio influencia diretamente o vigor

das plântulas, a formação do sistema radicular, a expansão foliar e a capacidade de absorção de água e outros nutrientes (Silva, 2025).

As doses de nitrogênio aplicadas às culturas têm efeito direto sobre o desenvolvimento morfológico das plântulas, podendo promover crescimento insuficiente quando em quantidade limitada ou crescimento vegetativo excessivo quando em excesso. Estudos demonstram que a resposta das plantas às diferentes doses varia conforme o genótipo, a densidade populacional, a fonte de nitrogênio e as características do solo, sendo necessário determinar a dose ideal que maximize o crescimento inicial (Junior; Freitas; Rezende, 2021).

A justificativa do presente estudo está baseada na importância de compreender os efeitos das diferentes doses de nitrogênio sobre o desenvolvimento inicial permite otimizar a fertilização, reduzir custos de produção e minimizar impactos ambientais, garantindo um cultivo sustentável e economicamente viável.

Assim, o problema de pesquisa que norteou o estudo foi: Avaliar quais são os efeitos das diferentes doses de nitrogênio no desenvolvimento morfológico inicial das plântulas de milho, considerando parâmetros como altura, biomassa radicular e número de folhas?

Diante do exposto, o objetivo foi avaliar os efeitos de doses crescentes de nitrogênio, nas doses de 0, 45, 90 e 135 kg ha, sobre o desenvolvimento morfológico inicial das plântulas de milho em detrimento a altura de planta, número de folhas, diâmetro de colmo, crescimento de raiz e massa fresca total.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização experimental

O experimento foi implantado em agosto de 2025, no município de Patos de Minas, Minas Gerais, em propriedade particular. A região está a uma altitude média de 850 metros, apresentando clima tropical de altitude (Cwa), segundo a classificação de Köppen-Geiger (Weather Spark, 2025). Esse clima é caracterizado por verões chuvosos e invernos secos, com precipitação média anual de 1.400 mm. Durante o período do experimento, foram registrados dados meteorológicos, com temperaturas médias variando entre 18°C e 26°C.

Descrição dos tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro tratamentos e cinco repetições, totalizando 20 parcelas experimentais. Os tratamentos são descritos na tabela 1.

Tabela 1 - Tratamentos aplicados, consistindo em diferentes doses de nitrogênio, expressas em kg ha^{-1} , em experimento realizado em Patos de Minas, Minas Gerais, 2025.

Tratamento	Dose de N (kg ha^{-1})	Dose de ureia (kg ha^{-1})
T1 – Controle	0	0
T2 – Dose baixa	45	100
T3 – Dose intermediária	90	200
T4 – Dose Alta	135	300

Fonte: dados da pesquisa, 2025.

Condições Experimentais

A ureia protegida será aplicada em cobertura, diretamente sobre o solo próximo à base das plantas, após a emergência das plântulas. Essa prática visa fornecer o nitrogênio de forma gradual, permitindo maior absorção pelas raízes e reduzindo perdas por volatilização e lixiviação.

O experimento foi conduzido em vasos plásticos com capacidade de 4 litros, preenchidos com solo do tipo latossolo vermelho distrófico, previamente coletado e analisado para garantir uniformidade química e física. Este tipo de solo é caracterizado por baixa fertilidade natural, boa drenagem e textura média, permitindo o desenvolvimento adequado das plântulas e o controle das variáveis experimentais relacionadas ao crescimento inicial da cultura. Além da adubação nitrogenada em cobertura, será realizada a adubação de plantio/base utilizando o fertilizante formulado 08-30-10, aplicado na dose de 300 kg ha^{-1} .

A cultivar utilizada foi a MG711 PWU, reconhecida pelo seu bom desempenho em condições de solo e clima típicos da região de Patos de Minas, MG. Esta variedade apresenta elevada capacidade de estabelecimento inicial, boa resposta à adubação nitrogenada, sendo adequada para ensaios que objetivam avaliar o efeito de diferentes doses de nitrogênio sobre o desenvolvimento morfológico das plântulas.

Parâmetros avaliados

Aos 40 dias após a semeadura, foram realizadas avaliações detalhadas do desenvolvimento morfológico das plântulas de milho, considerando diferentes parâmetros relacionados ao crescimento e ao vigor das plantas.

A altura da parte aérea foi determinada utilizando-se uma régua milimetrada, medindo-se a distância do colo da planta (ponto de inserção da raiz com o caule) até a extremidade da folha mais alta, posicionando o instrumento de forma vertical e padronizada em todas as repetições. Esse parâmetro permitiu avaliar o alongamento vegetativo inicial das plântulas.

O número de folhas foi contado manualmente em cada plântula, considerando todas as folhas completamente expandidas visíveis acima do colo da planta. Esse

dado foi fundamental para verificar a taxa de emissão foliar e, consequentemente, a velocidade de desenvolvimento das plantas.

O comprimento das raízes foi aferido após a retirada cuidadosa da plântula do vaso, realizada por meio de lavagem suave do substrato para evitar danos ao sistema radicular. Em seguida, mediu-se a distância da base do colo até a extremidade da raiz principal, garantindo maior precisão na avaliação do crescimento subterrâneo.

O diâmetro do colmo foi mensurado na região basal do caule, próximo ao colo, utilizando-se um paquímetro de precisão. Essa medida foi importante para estimar a robustez estrutural da plântula e sua capacidade de sustentação.

Por fim, a massa fresca da planta foi obtida imediatamente após a coleta, separando-se a parte aérea e o sistema radicular. Ambas as frações foram pesadas em balança analítica, garantindo maior exatidão nos valores obtidos. Esse parâmetro possibilitou avaliar o acúmulo de biomassa total nas diferentes partes da planta.

Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5% de significância. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de regressão linear, permitindo avaliar a relação entre a dose de nitrogênio aplicada e os parâmetros morfológicos das plântulas (Ferreira, 2019).

REVISÃO DE LITERATURA

A Cultura do Milho no Brasil e no Mundo

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais cultivados e consumidos no mundo, desempenhando papel estratégico tanto na segurança alimentar quanto na economia global. Sua importância está relacionada à versatilidade de uso, sendo destinado à alimentação humana, produção de ração animal e matéria-prima para diversos segmentos industriais, como a produção de etanol e amidos modificados. No Brasil, a cultura ocupa posição de destaque, movimentando o agronegócio e representando parcela significativa da produção agrícola nacional, com impacto direto na geração de renda e emprego (EMBRAPA, 2024).

No cenário internacional, os Estados Unidos, a China e o Brasil figuram entre os maiores produtores e consumidores de milho, respondendo por grande parte da produção mundial. O Brasil tem consolidado sua posição como um dos principais exportadores do grão, atendendo a mercados estratégicos como a Ásia e o Oriente.

Médio, o que contribui para o fortalecimento da balança comercial. Em 2023, as exportações brasileiras de milho registraram crescimento expressivo, consolidando o país como segundo maior exportador mundial, atrás apenas dos Estados Unidos (Brasil, 2024).

Em termos de sistemas produtivos, o milho é cultivado em diferentes modalidades, que variam de acordo com as condições edafoclimáticas e as

tecnologias empregadas. No Brasil, destacam-se o milho de safra verão e a “safrinha”, esta última responsável pela maior parte da produção nacional, além de áreas irrigadas e cultivos orgânicos em menor escala. Quanto às cultivares, predominam os híbridos e os transgênicos, que apresentam maior produtividade, resistência a pragas e tolerância a estresses bióticos e abióticos, atendendo às exigências do mercado e da agricultura moderna (EMBRAPA, 2024).

Apesar dos avanços tecnológicos, a cultura do milho enfrenta desafios significativos. Entre eles estão a oscilação dos preços internacionais, o aumento do custo dos insumos, as perdas causadas por pragas e doenças, além dos impactos das mudanças climáticas, que afetam diretamente a produtividade. Nesse contexto, as perspectivas apontam para a crescente adoção de tecnologias digitais, sistemas de agricultura de precisão, melhoramento genético e práticas sustentáveis, que buscam conciliar produtividade, redução de custos e mitigação dos impactos ambientais (CEPEA, 2024).

Importância do Nitrogênio no Crescimento Vegetal

O nitrogênio é considerado um dos nutrientes mais importantes para o desenvolvimento das plantas, sendo essencial para a formação de compostos orgânicos fundamentais, como aminoácidos, proteínas, clorofila, ácidos nucleicos e diversas enzimas que participam dos processos metabólicos. Sua presença adequada garante o crescimento vegetativo vigoroso e a manutenção da fotossíntese, impactando diretamente no acúmulo de biomassa e no potencial produtivo das culturas (Epstein; Bloom, 2006).

A deficiência de nitrogênio nas plantas manifesta-se, em geral, pela coloração amarelada (clorose) das folhas mais velhas, decorrente da mobilidade do nutriente, além da redução no crescimento, menor emissão de folhas e baixa produtividade. Por outro lado, o excesso de nitrogênio pode causar desequilíbrios nutricionais, maior suscetibilidade a pragas e doenças, atraso na maturação e acamamento em culturas de porte ereto, comprometendo a colheita e a qualidade dos grãos (Carvalho, 2022).

As principais fontes de nitrogênio utilizadas na adubação são a ureia, o nitrato de amônio e o sulfato de amônio, cada uma com características específicas quanto à solubilidade, concentração de N e comportamento no solo. A ureia é a fonte mais utilizada mundialmente devido ao seu elevado teor de nitrogênio (45%), enquanto o nitrato de amônio apresenta liberação mais rápida e maior eficiência em determinadas condições. Já o sulfato de amônio, além do nitrogênio, fornece enxofre, nutriente essencial ao metabolismo vegetal (Dias; Fernandes, 2006).

No solo, o nitrogênio passa por transformações complexas que compõem o chamado ciclo do nitrogênio, envolvendo processos como mineralização, nitrificação, lixiviação, desnitrificação e volatilização. Esses processos influenciam diretamente a disponibilidade do nutriente para as plantas e estão sujeitos a fatores como temperatura, umidade, textura e pH do solo. O manejo adequado da adubação nitrogenada é, portanto, fundamental para reduzir perdas, aumentar a eficiência do uso do nutriente e garantir altas produtividades agrícolas (Souza, 2018).

Desenvolvimento Morfológico Inicial de Plântulas

O desenvolvimento morfológico inicial das plântulas constitui uma etapa decisiva no ciclo de vida das culturas agrícolas, uma vez que estabelece as bases para o crescimento e para a expressão do potencial produtivo. Esse processo inicia-se a partir da germinação, momento em que ocorre a absorção de água pela semente e a subsequente ativação do metabolismo celular. A radícula é a primeira estrutura a emergir, dando início à formação do sistema radicular primário, responsável pela fixação da plântula ao solo e pelo início da absorção de nutrientes essenciais. Em seguida, o coleóptilo emerge em direção à superfície, promovendo a proteção da primeira folha até sua completa expansão, etapa que marca o início da autotrofia e da fotossíntese (Galvão; Borém; Pimentel, 2017).

Essa fase inicial é crítica porque dela depende a uniformidade do estande, fator intimamente relacionado ao rendimento final. Plântulas vigorosas, com raízes bem desenvolvidas e parte aérea equilibrada, possuem maior capacidade de explorar o solo em busca de água e nutrientes, além de estabelecer vantagem competitiva frente às plantas daninhas. Além disso, um estabelecimento rápido e uniforme reduz a suscetibilidade a pragas e patógenos do solo, garantindo melhor adaptação às condições ambientais. Por outro lado, plântulas que apresentam atraso no desenvolvimento ou desuniformidade no crescimento podem comprometer significativamente o desempenho da cultura, uma vez que a competição intraespecífica se intensifica, ocasionando perdas de produtividade (Klein; Simonetti, 2023).

O ambiente exerce papel determinante no sucesso do desenvolvimento inicial. A temperatura adequada do solo é fundamental para a ativação das enzimas envolvidas no processo de germinação, sendo que valores abaixo ou acima da faixa ideal podem retardar a emergência ou provocar falhas no estande. A umidade também é um fator crucial, já que a água atua tanto na hidratação dos tecidos quanto como veículo de transporte de nutrientes. A luminosidade, por sua vez, é essencial logo após a emergência, pois assegura o início do processo fotossintético e o estabelecimento da plântula autotrófica. Além desses fatores, a aeração do solo e sua estrutura física influenciam diretamente o crescimento radicular, podendo favorecer ou restringir o aprofundamento das raízes (Monteiro, 2004).

A qualidade da semente constitui outro fator chave para o desenvolvimento morfológico inicial. Sementes com alto vigor fisiológico apresentam maior velocidade de germinação e emergência, resultando em plântulas mais uniformes e resistentes a estresses ambientais. Além do vigor, a sanidade das sementes é igualmente relevante, pois infecções por fungos e bactérias podem comprometer a germinação e o desenvolvimento inicial. A disponibilidade de nutrientes, especialmente nitrogênio, fósforo e potássio, desempenha papel essencial nesse estágio. O fósforo, por exemplo, é fundamental para a formação do sistema radicular, enquanto o nitrogênio favorece o crescimento vegetativo da parte aérea e o potássio contribui para o equilíbrio osmótico e a regulação estomática (Galvão; Borém; Pimentel, 2017).

Para compreender e avaliar o desempenho das plântulas em sua fase inicial, diversos indicadores morfológicos são utilizados em experimentos agrônômicos. Entre os principais, destacam-se a altura da parte aérea, o número de folhas emitidas, a área foliar, o comprimento das raízes e a razão raiz/parte aérea. Além disso, a determinação da massa fresca e da massa seca das diferentes partes da planta fornece informações importantes sobre o acúmulo de biomassa e a eficiência no aproveitamento dos recursos disponíveis. Esses parâmetros são amplamente empregados em pesquisas voltadas para o melhoramento genético, para a avaliação de fertilizantes e bioestimulantes, e para o estudo das respostas das culturas a diferentes condições edafoclimáticas (Klein; Simonetti, 2023).

Doses de Nitrogênio e Eficiência de Uso

A resposta das culturas agrícolas à adubação nitrogenada está diretamente relacionada às doses aplicadas, sendo o nitrogênio considerado um dos nutrientes mais limitantes à produtividade. Em geral, o incremento de doses de nitrogênio promove aumento na produção de biomassa e de grãos até determinado ponto, a partir do qual ocorre estabilização ou mesmo queda no rendimento devido ao excesso do nutriente. Estudos têm demonstrado que, em culturas como o milho, há resposta linear crescente em baixas doses, mas a partir de níveis médios e altos, a resposta se torna quadrática, indicando o ponto de máxima eficiência econômica. Assim, a definição da dose ideal deve considerar não apenas o potencial produtivo da cultivar, mas também as características edafoclimáticas e o manejo empregado (Epstein; Bloom, 2006).

A eficiência de uso do nitrogênio (EUN) é um indicador importante para avaliar a capacidade das plantas em absorver e converter o nutriente em produção. Em termos gerais, a EUN pode ser expressa pela relação entre a quantidade de grãos produzidos e o nitrogênio aplicado ou absorvido. Esse índice é influenciado por fatores como a fonte utilizada, o manejo da aplicação, as condições ambientais e as propriedades do solo. Solos arenosos, por exemplo, apresentam maior risco de lixiviação, reduzindo a eficiência, enquanto solos argilosos tendem a reter o nutriente por mais tempo, favorecendo seu aproveitamento. Além disso, a época de aplicação é determinante: aplicações parceladas em momentos de maior demanda fisiológica da cultura costumam resultar em maior EUN em comparação a aplicações únicas no plantio (Carvalho, 2022).

Para maximizar a eficiência de uso do nitrogênio, diversas práticas de manejo vêm sendo estudadas e aplicadas no campo. O parcelamento da adubação é uma estratégia amplamente adotada, pois permite disponibilizar o nutriente de acordo com as fases de maior exigência da planta, reduzindo perdas por volatilização e lixiviação. O uso de inibidores de urease e de nitrificação também tem se destacado como alternativa promissora, uma vez que retardam as transformações químicas do nitrogênio no solo, prolongando sua disponibilidade. Outra prática de relevância crescente é a fertirrigação, que possibilita fornecer o nutriente de forma contínua e precisa, otimizando a absorção pelas raízes. A forma de aplicação também influencia os resultados: a adubação incorporada ao solo tende a apresentar maior eficiência

em comparação à aplicação a lanço na superfície, sobretudo em condições de baixa umidade (Souza, 2018).

O uso ineficiente do nitrogênio acarreta consequências econômicas e ambientais significativas. Do ponto de vista econômico, a aplicação em excesso ou em condições inadequadas representa desperdício de insumos, aumentando os custos de produção sem retorno proporcional em produtividade. No aspecto ambiental, a baixa eficiência pode resultar na lixiviação de nitratos para o lençol freático, comprometendo a qualidade da água, além da emissão de gases de efeito estufa, como o óxido nitroso, durante os processos de desnitrificação (Dias; Fernandes, 2006).

Interação entre Densidade de Plantas e Adubação Nitrogenada

A densidade populacional de plantas é um dos principais fatores de manejo agrônomo, determinando o número de indivíduos por hectare em função do híbrido utilizado, do sistema de cultivo e do espaçamento adotado. A escolha adequada da densidade depende do porte da cultivar, da capacidade de perfilhamento, do ciclo da cultura e da disponibilidade de recursos ambientais e nutricionais. Híbridos de milho modernos, por exemplo, foram desenvolvidos para suportar maiores populações por área devido à sua arquitetura foliar mais ereta e maior eficiência no aproveitamento da radiação solar. Assim, definir a densidade ideal para cada condição de cultivo é essencial para garantir a máxima expressão do potencial genético das plantas (Epstein; Bloom, 2006).

O aumento da densidade de plantas pode intensificar a competição por recursos, especialmente luz, água e nutrientes. Em populações mais elevadas, as plantas tendem a desenvolver maior estiolamento, modificando sua arquitetura e reduzindo a penetração da luz no dossel. Essa competição também afeta o crescimento radicular, uma vez que a exploração do solo por nutrientes e água ocorre de forma mais intensa. Quando não há equilíbrio entre a densidade populacional e a oferta de insumos, podem ocorrer reduções significativas na produtividade, além de maior variabilidade no desenvolvimento das plantas dentro da mesma área (Carvalho, 2022).

A interação entre densidade de plantas e adubação nitrogenada é um ponto estratégico no manejo agrícola. Em densidades elevadas, a demanda por nitrogênio aumenta consideravelmente, exigindo ajustes nas doses aplicadas para evitar limitações nutricionais que comprometam o rendimento. Diversos estudos demonstram que, quando associada a doses adequadas de nitrogênio, a elevação da densidade populacional pode resultar em maiores produtividades, devido ao melhor aproveitamento da radiação solar e ao maior número de espigas por hectare. Entretanto, em condições de baixa disponibilidade de nitrogênio, densidades elevadas tendem a reduzir o desempenho da cultura, evidenciando a importância da adequação conjunta entre esses dois fatores de manejo (Souza, 2018).

Essa relação é particularmente relevante em ambientes heterogêneos, nos quais as respostas podem variar em função da fertilidade do solo, da textura, da

umidade e da disponibilidade hídrica. Solos mais arenosos, por exemplo, apresentam maior risco de lixiviação do nitrogênio, exigindo estratégias diferenciadas de parcelamento e incorporação. Em contrapartida, solos argilosos, com maior capacidade de retenção, permitem melhor sincronização entre a disponibilidade do nutriente e a absorção pelas plantas. Assim, tanto a densidade populacional quanto a adubação nitrogenada devem ser ajustadas de acordo com as características edafoclimáticas de cada região (Dias; Fernandes, 2006).

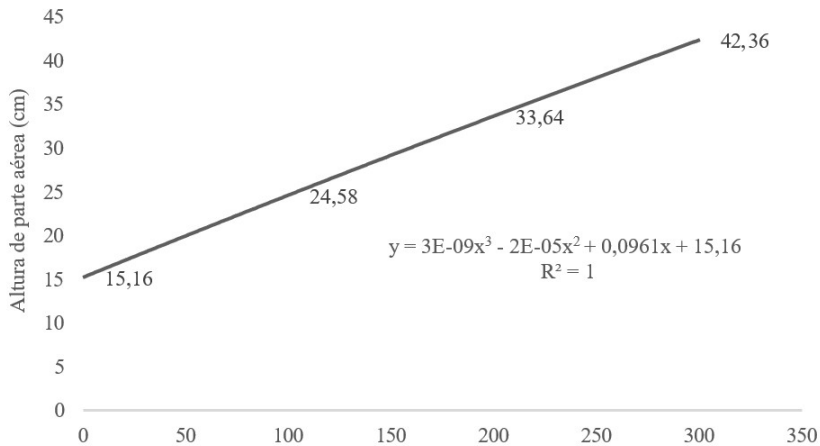
O manejo integrado da densidade de plantas e da adubação nitrogenada tem como objetivo maximizar a produtividade e, ao mesmo tempo, otimizar a eficiência no uso dos insumos. Para isso, é fundamental considerar o potencial produtivo do híbrido, as condições ambientais locais e o custo dos fertilizantes. O uso de ferramentas de agricultura de precisão, associado ao monitoramento da fertilidade do solo e à aplicação localizada de nitrogênio, permite ajustar a oferta de nutrientes em função da variabilidade espacial da área cultivada. Dessa forma, alcança-se não apenas maior retorno econômico para o produtor, mas também menor impacto ambiental decorrente do uso excessivo de fertilizantes nitrogenados (Carvalho, 2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir da avaliação dos efeitos das diferentes doses de nitrogênio (0, 45, 90 e 135 kg ha⁻¹) sobre o desenvolvimento morfológico inicial das plântulas de milho (*Zea mays* L.). Os dados analisados referem-se aos parâmetros de altura de planta, número de folhas, diâmetro de colmo, comprimento de raiz e massa fresca total, que refletem diretamente o vigor e o crescimento das plântulas.

Foi aplicado o teste F (ANOVA) ao nível de 5% de significância, o qual indicou existência de diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos para os parâmetros avaliados. Diante disso, procedeu-se ao ajuste de modelos de regressão para caracterizar a relação entre as doses de nitrogênio e as respostas morfológicas; entre os modelos testados, a regressão polinomial de grau 3 (regressão cúbica) apresentou o melhor ajuste, com base nos critérios de ajuste (R^2 ajustado) e análise gráfica dos resíduos.

Gráfico 1 – Altura de parte aérea de milho submetido a diferentes doses de ureia posicionadas em cobertura em experimento realizado em Patos de Minas, Minas Gerais, 2025.

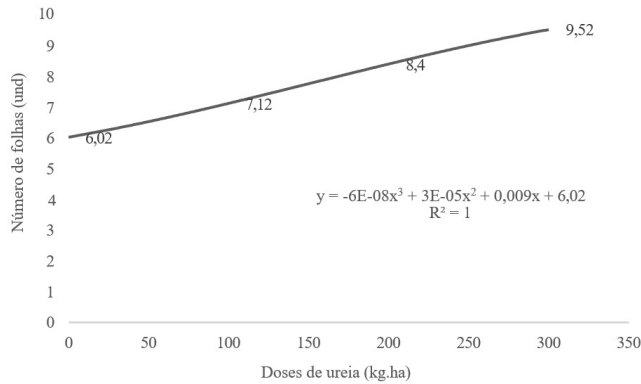


Fonte: autores próprios, 2025.

O gráfico apresentado ilustra o efeito das diferentes doses de ureia (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹) sobre a altura da parte aérea das plântulas de milho (*Zea mays* L.) aos 40 dias após a semeadura. Observa-se uma tendência crescente e bem definida, em que o aumento das doses de nitrogênio promove elevação significativa na altura média das plantas, variando de 15,16 cm no tratamento controle (sem adubação) até 42,36 cm na maior dose aplicada (300 kg ha⁻¹ de ureia).

Esses achados estão em consonância com os resultados reportados por Galindo, Teixeira Filho e Buzetti (2016), que observaram incremento expressivo na altura de plantas de milho em função do aumento das doses de nitrogênio. Segundo os autores, o nitrogênio estimula o desenvolvimento vegetativo e o acúmulo de biomassa, refletindo-se em maior vigor das plantas e, consequentemente, em maior potencial produtivo. O estudo destaca ainda que a adequada disponibilidade desse nutriente favorece o perfilhamento, a expansão foliar e a maior interceptação de radiação solar, fatores determinantes para o desempenho da cultura.

Gráfico 2 – Número de folhas de milho submetido a diferentes doses de ureia posicionadas em cobertura em experimento realizado em Patos de Minas, Minas Gerais, 2025.

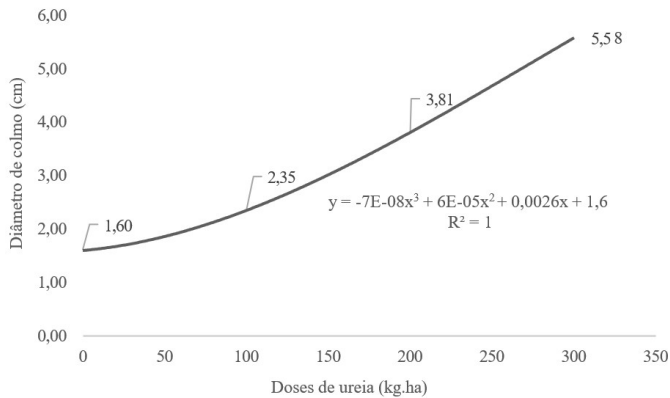


Fonte: autores próprios, 2025.

Observa-se no gráfico 2 uma tendência de crescimento linear positivo, em que o aumento da adubação nitrogenada resultou em maior emissão foliar, variando de 6,02 folhas no tratamento sem aplicação de nitrogênio até 9,52 folhas na dose mais elevada (300 kg ha⁻¹ de ureia).

Esses resultados estão em concordância com o estudo de Souza, Oliveira e Alves (2016), que relataram que a adubação nitrogenada influencia significativamente a emissão e o desenvolvimento das folhas do milho. Segundo os autores, o nitrogênio promove maior taxa de crescimento vegetativo e estimula a expansão foliar, o que melhora a capacidade fotossintética e o aproveitamento da radiação solar pela planta. Embora o trabalho de Souza *et al.* (2016) tenha destacado principalmente os efeitos do nitrogênio sobre a produtividade, os autores ressaltam que o aumento no número de folhas representa uma resposta fisiológica direta ao suprimento adequado do nutriente, refletindo em um desenvolvimento mais vigoroso e eficiente durante as fases iniciais da cultura.

Gráfico 3 – Diâmetro de colmo de milho submetido a diferentes doses de ureia posicionadas em cobertura em experimento realizado em Patos de Minas, Minas Gerais, 2025.

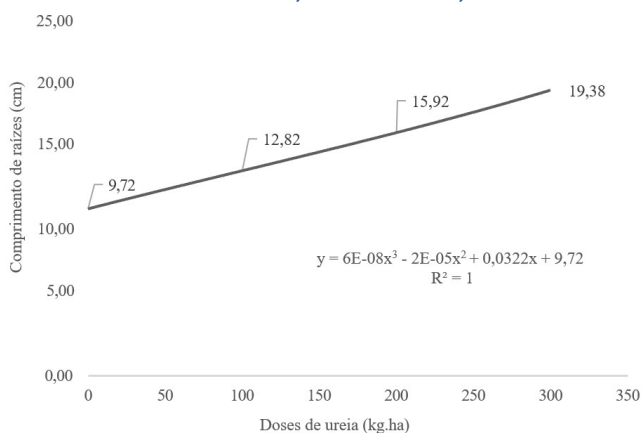


Fonte: autores próprios, 2025.

O gráfico 3 apresenta um aumento progressivo do diâmetro à medida que as doses de nitrogênio se elevam, variando de 1,60 cm no tratamento controle para 5,58 cm na dose mais alta de 300 kg ha⁻¹ de ureia.

Esses resultados corroboram o estudo de Oliveira e Caetano (2015), que observaram resposta positiva do diâmetro de colmo do milho em função do aumento das doses de nitrogênio. Segundo os autores, o incremento do nutriente promove maior vigor vegetativo, refletido em colmos mais espessos e resistentes, capazes de sustentar um crescimento aéreo mais desenvolvido. O trabalho destaca que o diâmetro do colmo é um importante indicador da saúde fisiológica e da estabilidade das plantas, sendo diretamente afetado pela disponibilidade de nitrogênio.

Gráfico 4 – Comprimento de raízes de milho submetido a diferentes doses de ureia posicionadas em cobertura em experimento realizado em Patos de Minas, Minas Gerais, 2025.

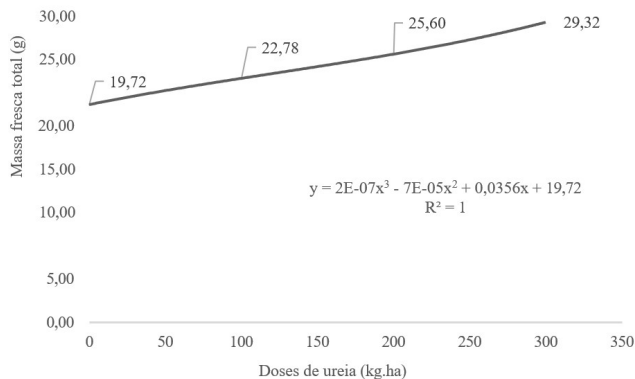


Fonte: autores próprios, 2025.

Verifica-se uma relação positiva entre o aumento das doses de nitrogênio e o crescimento em altura das plantas, variando de 15,16 cm no tratamento sem adubação para 42,36 cm na dose mais elevada (300 kg ha⁻¹ de ureia).

Esses resultados estão de acordo com os achados de Oliveira e Caetano (2015), que relataram que o fornecimento adequado de nitrogênio estimula o crescimento radicular do milho, refletindo-se em plantas com maior capacidade de absorção e melhor desempenho fisiológico. Segundo os autores, o desenvolvimento radicular está intimamente ligado ao balanço nutricional da planta e à disponibilidade de nitrogênio no solo, que influencia processos metabólicos relacionados à respiração e à síntese de proteínas estruturais. Além disso, plantas com sistemas radiculares mais desenvolvidos apresentam maior resistência a períodos de déficit hídrico e melhor aproveitamento dos recursos disponíveis.

Gráfico 5 – Massa fresca total de milho submetido a diferentes doses de ureia posicionadas em cobertura em experimento realizado em Patos de Minas, Minas Gerais, 2025.



Fonte: autores próprios, 2025.

Observa-se um incremento gradual e consistente na massa fresca total com o aumento das doses de nitrogênio, variando de 19,72 g na ausência de adubação para 29,32 g na dose de 300 kg ha⁻¹ de ureia.

Esses resultados evidenciam o papel do nitrogênio no crescimento vegetativo e acúmulo de biomassa nas plantas de milho. O aumento da disponibilidade desse nutriente favorece a síntese de proteínas, enzimas e clorofila, resultando em maior taxa fotossintética e, consequentemente, em maior produção de massa fresca. Resultados semelhantes foram observados por Silva (2025), ao avaliar linhagens de milho submetidas à adubação nitrogenada, constatando que o incremento das doses de nitrogênio promoveu significativo aumento no crescimento das plantas e na produção de biomassa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo demonstram que o fornecimento de nitrogênio influencia de forma significativa o desenvolvimento morfológico inicial das plântulas de milho, promovendo maior altura, número de folhas, diâmetro de colmo, crescimento radicular e acúmulo de biomassa. Observou-se que o incremento gradual das doses de nitrogênio proporcionou respostas positivas em todos os parâmetros avaliados, indicando que a disponibilidade adequada desse nutriente é essencial para o estabelecimento vigoroso das plântulas e para a maximização do potencial produtivo da cultura.

Diante disso, conclui-se que a aplicação de doses mais elevadas de nitrogênio, dentro do intervalo estudado, é eficaz para otimizar o crescimento inicial do milho, permitindo recomendações mais precisas de manejo nutricional. Além disso, os achados reforçam a importância de estratégias de adubação bem planejadas para melhorar a eficiência do uso de nutrientes, reduzir custos de produção e favorecer práticas agrícolas sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- BATISTA, V.; OLIGINI, K.; GIARETTA, R.; RABELO, P.; ADAMI, P.; LINK, L. **Densidade de plantas e doses de nitrogênio no cultivo de milho safrinha no Paraná**. Agrarian, v.12, n.45, p.296–307, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v12i45.7485>. Acesso em: 19 ago. 2025.
- BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Ministério da Economia**. ComexStat – Portal de estatísticas de comércio exterior do Brasil. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em: 10 set. 2025..
- CARVALHO, I. R. **Importância do nitrogênio para as plantas**. Elevagro, 24 abr. 2022. Disponível em: <https://elevagro.com/conteudos/materiais-tecnicos/importancia-do-nitrogenio-para-as-plantas>. Acesso em: 23 jul. 2025.
- CEPEA – Centro De Estudos Avançados Em Economia Aplicada. **Agromensal: Milho**. Piracicaba, fev. 2024. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/revista/pdf/0644916001709752651.pdf>. Acesso em: 10 set. 2025.
- DIAS, V. P.; FERNANDES, E. **Fertilizantes: uma visão global sintética**. BNDES Setorial, n. 24, p. 97-138, set. 2006. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2657/1/BS%2024%20Fertilizantes_Uma%20Vis%c3%a3o%20Global%20Sint%c3%a9tica_P.pdf. Acesso em: 23 jul.2023.
- EMBRAPA. **Milho: importância socioeconômica**. Agência de Informação Embrapa, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica>. Acesso em: 10 set. 2025.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006.

FERREIRA, D. F. (2019). **Sisvar: A Computer Analysis System To Fixed Effects Split Plot Type Designs**. Brazilian Journal of Biometrics, v.37, n. 4. P. 529–535. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>

GALVÃO, J. C. C.; BORÉM, A.; PIMENTEL, M. A. **Milho: do plantio à colheita**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2017. 382 p.

JUNIOR, J. A. M. S.; FREITAS, J. M. DE; REZENDE, C. F. A. **Produtividade do milho associado a inoculação com *Azospirillum brasilense* e diferentes doses de adubação nitrogenada**. Research, Society and Development, v.10, n.2, p.e42810212711– e42810212711, 2021.

KLEIN, J. E.; SIMONETTI, A. P. M. M. **Avaliação do desenvolvimento inicial de soja em resposta à utilização do enraizador Radices-Pro®**. Revista Cultivando o Saber, p. 30-38, 2023.

MONTEIRO, F. A. **Concentração e distribuição de nutrientes em gramíneas e leguminosas forrageiras**. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2., 2004, Viçosa, MG. Anais [...]. Viçosa: UFV, 2004. p. 71-107.

OLIVEIRA, D. R. DE.; CAETANO, S. S. **Adubação nitrogenada na cultura do milho**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Produção de Grãos) – Universidade Estadual de Goiás, Goiás, 2015. 28 p. Disponível em: <http://aprender.posse.ueg.br:8081/jspui/handle/123456789/73>. Acesso em: 20 ago. 2025

SILVA, E. S. **Avaliação de linhagens de milho submetidas à adubação nitrogenada e biológica em cobertura (*Azospirillum brasilense*)**. 2025. Disponível em: <https://hdl.handle.net/11449/295997>. Acesso em: 19 ago. 2025.

SOUZA, L. **O guia completo da adubação nitrogenada para altas produtividades**. [S. l.]: Instituto Agro, 2018. Disponível em: <https://institutoagro.com.br/adubacao-nitrogenada>. Acesso em: 18 jun. 2025.

WEATHER SPARK. Clima de Patos de Minas, Minas Gerais – **Temperatura, Precipitação e Dados Meteorológicos**. 2025. Disponível em: <https://weatherspark.com/>. Acesso em: 19 ago. 2025.