



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO CIÊNCIAS AGRONÔMICAS E FLORESTAIS (DCAF)
CURSO DE AGRONOMIA

GERSON BRUNO FERNANDES DE MEDEIROS

**ADUBAÇÃO NITROGENADA EM ALHO: IMPACTOS NO CRESCIMENTO,
NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE**

MOSSORÓ

2025

GERSON BRUNO FERNANDES DE MEDEIROS

**ADUBAÇÃO NITROGENADA EM ALHO: IMPACTOS NO CRESCIMENTO,
NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Leilson Costa Grangeiro

MOSSORÓ

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M488a Medeiros , Gerson Bruno Fernandes de .
Adubação nitrogenada em alho: Impactos no
crescimento, nutrição e produtividade. / Gerson
Bruno Fernandes de Medeiros . - 2025.
37 f. : il.

Orientador: Leilson Costa Grangeiro.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Agronomia, 2025.

1. Allium sativum. 2. nitrogênio. 3.
olericultura. 4. semiárido. I. Grangeiro, Leilson
Costa , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

GERSON BRUNO FERNANDES DE MEDEIROS

**ADUBAÇÃO NITROGENADA EM ALHO: IMPACTOS NO CRESCIMENTO,
NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Defendida em: 25/07/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Leilson Costa Grangeiro (UFERSA)
Presidente

Prof.^a Dra. Elizangela Cabral dos Santos (UFERSA)
Membro Examinador

Dra. Renata Ramayane Torquato Oliveira (UFERSA)
Membro Examinador

*À minha avó Antônia Soares, e ao meu Tio,
João Medeiros (in memoriam).*

*A minha mãe, Benedita Medeiros, e à
minha tia, Antônia Medeiros, por
estarem sempre ao meu lado.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pelo dom da vida e à intercessão de Nossa Senhora junto a Ele, por todas as bênçãos concedidas em minha vida.

À minha mãe e porto seguro, Benedita Soares de Medeiros, por ser uma mulher forte e uma mãe excepcional, que sempre batalhou para me dar o melhor. Por todo apoio, ensinamentos, conselhos, dedicação e amor — te amo!

Às minhas tias, Antônia Francisca de Medeiros e Raimunda Francisca de Medeiros Silva, pelo amor, cuidado e carinho que sempre tiveram por mim ao longo da vida.

Às minhas irmãs, Jéssica Sabrina Fernandes de Medeiros, Maria Salete Fernandes de Medeiros e Vivian Lavínia Fernandes de Medeiros.

À minha avó Antônia Soares da Silva e ao meu tio João Francisco de Medeiros (mesmo não estando mais entre nós), pelas conversas afetuosas, sempre marcadas por risadas e histórias que alegraram minha infância e adolescência.

A todos os familiares que não foram mencionados nominalmente, mas que possuem extrema importância em minha vida.

Aos professores Tassio Lessa do Nascimento e Luciana Medeiros Bertini, que marcaram de forma excepcional meu ensino médio/técnico, orientando-me da melhor maneira para que eu pudesse seguir um bom caminho acadêmico. Sempre contribuíram com minha formação profissional e pessoal, sendo considerados, juntamente com sua filha Thais Lessa, como parte da minha família.

Aos amigos que conquistei ao longo da vida, em especial a Lucas Thaylan Pinto Alves, que considero um irmão que a vida me deu, e a toda sua família, que sempre me acolheu como filho.

Agradeço de forma especial ao Prof. Dr. Leilson Costa Grangeiro por toda a confiança depositada durante os projetos desenvolvidos na graduação, bem como pela concessão da bolsa de Iniciação Científica (IC), que foi fundamental para minha permanência e conclusão do curso. Sua orientação contribuiu significativamente com meu desenvolvimento profissional e pessoal.

Ao SEPROD (Setor de Produção de Mudanças) e ao GEPCS (Grupo de Estudo e Pesquisa em Práticas Culturais e Pós-colheita para o Semiárido), grupos nos quais tive a honra de participar no início da graduação e que contribuíram imensamente na minha formação.

À Banca Examinadora (Prof. Dr. Leilson Costa Grangeiro, Prof.^a Dra. Elizangela Cabral dos Santos e Dra. Renata Ramayane Torquato Oliveira), pela participação, disponibilidade e valiosas contribuições ao trabalho realizado.

Ao Sr. Francisco das Chagas, diretor da Fazenda Experimental Rafael Fernandes, onde foi realizado o trabalho de campo, e aos servidores da UFERSA pelo apoio e assistência.

Ao amigo Guilherme Koji Nogueira Otani, que a faculdade me proporcionou, minha dupla inseparável em todos os semestres, disciplinas e momentos ao longo do curso.

Aos demais amigos que fiz durante dessa caminhada, em especial: Sidney Braga, Leandro Medeiros, Geremias Alves, Glenda Ferreira, Antony Gabriel, Matilde Carvalho, Francisco Filho (Zé), Camila Cardoso, Daiane Ferreira, Davi Nascimento, João Nathan, e todos os demais que, mesmo não citados, guardarei com carinho na memória. A todos, o meu sincero muito obrigado.

Aos companheiros da vila masculina da UFERSA, em especial aos colegas da Casa 2, moradia onde passei boa parte da minha graduação.

A todos os membros do Grupo de Pesquisa em Nutrição e Adubação de Plantas (GENAP) da UFERSA, tanto os atuais quanto os que já concluíram: Beatriz, Bruna, Dalbert, Davi Nascimento, Dayane, Enoch, Eric, Gabriela, Genilson, Gerson Bruno, Hadjy, Leandro, Lucas, Matilde, Renata, Romualdo Cortez e Roseane, sou muito grato ao grupo por todo profissionalismo e aprendizado compartilhado.

Agradeço, de forma ainda mais especial, a Dalbert Pereira, Romualdo Cortez, Renata Torquato e Gabriela Carvalho, pelo suporte oferecido no desenvolvimento da parte escrita do trabalho e pela colaboração nas análises estatísticas.

À UFERSA, como uma excelente instituição de ensino, com grande capacidade de oferecer suporte e oportunidades a jovens estudantes sonhadores, e a todos os meus professores, pelo ensino de qualidade e dedicação em transmitir seus conhecimentos.

De modo geral, agradeço a todos — mencionados ou não — que, de alguma forma, contribuíram com este trabalho e com minha trajetória.

Muito obrigado!

Quem caminha sozinho pode até chegar mais rápido, mas aquele que vai acompanhado, com certeza vai mais longe.

Clarice Lispector

RESUMO

O alho (*Allium sativum*) é uma hortaliça de importância econômica mundial, conhecido pelo seu aroma e sabor marcante. O nitrogênio (N) influencia diretamente em seu crescimento vegetativo e consequentemente na produtividade. O trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos da adubação nitrogenada no crescimento, acúmulo de nutrientes e produtividade do alho comum. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, pertencente à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró/RN. O delineamento experimental foi em blocos casualizados completos, com cinco tratamentos (75%, 100%, 125%, 150% e 175% da dose recomendada de 90 kg ha⁻¹ de N) e quatro repetições. As características avaliadas incluíram altura de plantas, número de folhas, porcentagem de plantas superbrotadas, produtividade total de bulbos e acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea, no bulbo e total. A adubação nitrogenada teve efeito significativo na altura de planta, número de folhas e na produtividade total. As máximas obtidas para essas variáveis foram 51,88 cm, 8 folhas por planta e 5,38 t ha⁻¹, nas doses 100,23; 104,69 e 101 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Para o acúmulo de nutrientes nas folhas, apresentou incrementos de N, K, Ca, Cu, Fe e Zn, ao passo que o Mg acumulado decresceu com o aumento das doses de N. No bulbo, o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn aumentaram, assim como no total acumulado que além desses nutrientes também teve incremento no acúmulo de Fe. A dose de 101 kg ha⁻¹ de nitrogênio foi a que resultou maior produtividade de bulbos de alho. Os dados de crescimento e acúmulo de nutrientes mostraram a influência do N no crescimento e na nutrição da cultura.

Palavras-chave: *Allium sativum*, nitrogênio, olericultura, semiárido.

ABSTRACT

Garlic (*Allium sativum*) is a vegetable of global economic importance, known for its distinctive aroma and flavor. Nitrogen (N) directly influences its vegetative growth and, consequently, its productivity. The objective of this work is to evaluate the effects of nitrogen fertilization on the growth, nutrient accumulation, and productivity of common garlic. The experiment was conducted at the Rafael Fernandes Experimental Farm, which belongs to the Federal Rural University of the Semi-Arid (UFERSA), in Mossoró/RN. The experimental design was a randomized complete block with five treatments (75%, 100%, 125%, 150%, and 175% of the recommended dose of 90 kg ha⁻¹ of N) and four replications. The evaluated characteristics included plant height, number of leaves, percentage of super-sprouted plants, total bulb productivity, and the accumulation of macro and micronutrients in the aerial part, bulb, and total plant. Nitrogen fertilization had a significant effect on plant height, number of leaves, and total productivity. The maximum values obtained for these variables were 51.88 cm, 8 leaves per plant, and 5.38 t ha⁻¹, at doses of 100.23, 104.69, and 101 kg ha⁻¹ of N, respectively. For nutrient accumulation in the leaves, there were increases in N, K, Ca, Cu, Fe, and Zn, while accumulated Mg decreased with increasing N doses. In the bulb, the accumulation of N, P, K, Ca, Mg, Cu, and Zn increased, as did the total accumulation, which also showed an increase in Fe. The dose of 101 kg ha⁻¹ of nitrogen resulted in the highest productivity of garlic bulbs. The growth and nutrient accumulation data showed the influence of N on the crop's growth and nutrition.

Keywords: *Allium sativum*, nitrogen, olericulture, semiarid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e precipitação pluviométrica de Mossoró na época do experimento, no ano de 2024. Rio Grande do Norte, UFERSA, 2025	17
Figura 2 – Croqui de parcela experimental do experimento com alho comum em função da aplicação de doses de nitrogênio. Mossoró, RN, UFERSA, 2025	19
Figura 3 – Altura de planta (A), número de folhas (B) e produtividade total (C) de alho com aplicação de doses de nitrogênio. Mossoró, RN, UFERSA, 2025	22
Figura 4 – Acúmulo de nitrogênio (A), potássio (B), cálcio (C) e magnésio (D) na parte aérea do alho sob aplicação de doses de nitrogênio. Mossoró, RN, UFERSA, 2025	24
Figura 5 – Acúmulo de cobre (A), ferro (B) e zinco (C) na parte aérea do alho sob aplicação de doses de nitrogênio. Mossoró, RN, UFERSA, 2025	25
Figura 6 – Acúmulo de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D) e magnésio (E) no bulbo do alho sob aplicação de doses de nitrogênio. Mossoró, RN, UFERSA, 2025	26
Figura 7 – Acúmulo de cobre (A) e zinco (B) no bulbo de alho sob aplicação de doses de nitrogênio. Mossoró, RN, UFERSA, 2025	27
Figura 8 – Acúmulo total de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D) e magnésio (E) em alho sob aplicação de doses de nitrogênio. Mossoró, RN, UFERSA, 2025	28
Figura 9 – Acúmulo total de cobre (A), ferro (B) e zinco (C) no alho sob aplicação de doses de nitrogênio. Mossoró, RN, UFERSA, 2025	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análises químicas de solo (profundidade de 0 a 20 cm) das áreas experimentais na Fazenda Experimental Rafael Fernandes. Mossoró, RN, UFERSA, 2025	18
Tabela 2 – Resumo da análise de variância para altura de plantas (ALT), número de folhas (NF), plantas superbrotadas (PS) e produtividade total (PT) de alho sob aplicação de nitrogênio. Mossoró, RN, UFERSA, 2025	21
Tabela 3 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea, bulbo e total em alho sob aplicação de doses de nitrogênio. Mossoró, RN, UFERSA, 2025.....	23

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Cultura do alho	15
2.2 O nitrogênio no cultivo do alho	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Localização e caracterização da área experimental	17
3.2 Delineamento, tratamentos e unidade experimental	18
3.3 Instalação e condução dos experimentos	19
3.4 Características avaliadas	20
3.4.1 Crescimento e Produtividade Total.....	20
3.4.2 Acúmulo de nutrientes	20
3.5 Análises estatísticas	21
4. RESULTADOS	21
4.1 Crescimento e produtividade total.....	21
4.2 Acúmulo de nutrientes	22
5. DISCUSSÃO	29
6. CONCLUSÃO.....	32
7. REFERÊNCIAS	33

1. INTRODUÇÃO

O alho (*Allium sativum*) é uma hortaliça de importância econômica mundial, amplamente utilizado como condimento e reconhecido por suas propriedades funcionais, decorrentes da presença de compostos bioativos (BESSA et al., 2020; NICK; BORÉM, 2017). Seu cultivo está presente em mais de 100 países, com produtividade mundial média de 16,97 t ha⁻¹ (FAO, 2023). No Brasil, a produtividade média é de 13,65 t ha⁻¹, com destaque para as regiões Sul e Sudeste (IBGE, 2023).

No semiárido nordestino, a produção de alho enfrenta limitações impostas pelas condições climáticas adversas, especialmente em relação à temperatura elevada e fotoperíodo curto, o que dificulta a expansão da cultura na região. No entanto, pesquisas atuais têm avançado na busca de técnicas que viabilizem o cultivo do alho em condição semiárida. Esses trabalhos abordaram vernalização de bulbilhos de alho nobre para melhorar a diferenciação dos bulbos, o uso de elementos benéficos, como o silício em alho comum e estudos sobre o comportamento de cultivares de alho comum no clima semiárido (MORAIS, et al., 2023; OLIVEIRA et al., 2024; PEREIRA et al., 2025). No entanto, ainda são necessários avanços em pesquisas relacionadas ao manejo nutricional da cultura, com ênfase em nutrientes exigidos em maiores quantidades, como o nitrogênio.

O nitrogênio (N) está diretamente envolvido na formação de aminoácidos, proteínas e clorofila, influenciando significativamente nas características biométricas da cultura, como altura de plantas, número de folhas, massa da parte aérea e diâmetro de bulbos, refletindo na formação do bulbo e produtividade (PEREIRA et al., 2015; BESEN et al., 2020).

Plantas de alho com deficiência de nitrogênio tendem a apresentar crescimento lento, menor produtividade e menor acúmulo de matéria seca no bulbo, além de baixos níveis de proteínas nos bulbos e nas partes vegetativas (BESEN et al., 2020). Por outro lado, o excesso desse nutriente provoca atraso na bulbificação e, conseqüentemente, maior duração do ciclo cultural, menor massa do bulbo, e aumento da ocorrência de superbrotamento e o chochamento dos bulbos durante o armazenamento (RESENDE; CECÍLIO FILHO, 2009). Nesse contexto, torna-se fundamental estabelecer a dose adequada de nitrogênio, a qual pode variar conforme as condições de cultivo e o material genético utilizado.

Considerando as particularidades do cultivo do alho em regiões semiáridas, como altas temperaturas, baixa umidade relativa do ar e solos que possuem características diferentes e condições físico-químicas específica, é possível que a necessidade de adubação nitrogenada se diferencie das recomendações estabelecidas para outras localidades. Mesmo que existam recomendações gerais para a cultura do alho, essas recomendações podem não atender a

necessidade da cultura em determinada localidade, como a do semiárido nordestino. Nessas condições, o comportamento fisiológico da planta, a eficiência de absorção de nutrientes e o potencial produtivo podem ser afetados. Dessa forma, este estudo tem objetivo avaliar os efeitos da adubação nitrogenada no crescimento, acúmulo de nutrientes e produtividade do alho comum.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura do alho

O alho (*Allium sativum* L.), pertencente à família Alliaceae, é uma hortaliça de origem asiática que foi introduzida no Brasil pelos portugueses, inicialmente, para fins medicinais (EMBRAPA, 2022). Caracterizado pelo aroma pungente, sabor marcante e pelos compostos bioativos, o alho constitui um dos principais condimentos agrícolas de significativo valor comercial (BESSA et al., 2020).

Apesar de ser cultivado em mais de 100 países, 95% do alho produzido se concentra em apenas 17 (EMBRAPA, 2021), com destaque para China, que produz 76% (exportando apenas 7,5% da sua produção), seguido de Índia e Bangladesh, com 9,5% e 1,5%, respectivamente, com produções voltadas por mercado interno (FAO, 2021). Nos últimos anos, a produtividade mundial de alho tem aumentado, passando de 11,08 para 16, 97 t ha⁻¹, entre os anos de 1998 e 2023, (IEA - SP, 2001; FAO, 2023), o que indica um mercado crescente.

O Brasil é um dos grandes consumidores de alho, mas enfrenta desafios na produção interna. O país registrou na safra de 2021/2022 produção de 220 mil toneladas em 16 mil hectares, apresentando um rendimento médio de 13.750 t ha⁻¹, com os estados de Minas Gerais, Goiás e Santa Catarina se destacando como maiores produtores nacionais dessa hortaliça (IBGE, 2023). Contudo, a produção nacional de alho ainda é insuficiente para atender à demanda do mercado interno, o que torna necessária a importação do produto. Nesse o contexto, o país ainda é o segundo importador de alho do mundo, ficando atrás apenas da Indonésia. No ano de 2019, por exemplo, foi importado 165.446 toneladas (GRUNDLING et al., 2021), sobretudo da China.

Na região semiárida do Brasil, o cultivo é considerado limitado devido as condições climáticas da região. Mesmo assim, o Rio Grande do Norte já produziu e exportou alho para outras regiões do país nas décadas de 1970 e 1980 (SOARES et al., 2015).

Um dos principais fatores limitantes ao cultivo do alho no semiárido, é que por ser

originário de clima frio a cultura do alho requer temperaturas amenas para o desenvolvimento, variando de 10 a 25 °C, (LANDAU et al., 2020), o que não é suprido nas condições de clima semiárido, marcado por temperaturas elevadas. Além da temperatura, o fotoperíodo também influencia no desenvolvimento do alho, especialmente as cultivares que necessitam de dia mais longo para o processo de bulbificação, logo, caso o fotoperíodo seja menor, o crescimento vegetativo predomina, sem a formação de bulbos (EMBRAPA, 2017).

Cultivares de alho mais exigentes em temperatura e fotoperíodo são classificadas como alho nobre. Por outro lado, cultivares de alho comum, são menos exigentes as condições ambientais, com capacidade de se desenvolver mesmo em clima semiárido. O primeiro é propagado por bulbilhos maiores, possui ciclo mais longo e maior valor comercial; já o segundo é mais rústico e precoce, mas com menor potencial produtivo (PINTO et al., 2020).

Do ponto de vista agrônômico, o alho requer solos bem drenados, de textura média, pH entre 6,0 e 6,5 e elevada fertilidade. O preparo do solo deve promover aeração e profundidade adequadas, uma vez que o sistema radicular é superficial e sensível à compactação. A adubação deve ser balanceada, com a presença de todos macro e micronutrientes, com foco maior no fornecimento de nitrogênio, fósforo, potássio, boro e zinco, (SILVA et al., 2020).

Desse modo, a compreensão das exigências climáticas, fisiológicas e edáficas da cultura do alho é fundamental para o sucesso do cultivo, especialmente em regiões com limitações ambientais, como o semiárido nordestino. Entre os fatores de manejo que mais influenciam o desempenho agrônômico da cultura, destaca-se a adubação, que deve ser conduzida de forma equilibrada, considerando as particularidades da cultura e as condições locais de solo e clima.

2.2 O nitrogênio no cultivo do alho

O N é um macronutriente com funções essenciais na fisiologia das plantas como a síntese de aminoácidos, proteínas e clorofila, tendo efeitos sobre o crescimento vegetativo e a produtividade das culturas. Na cultura do alho, o excesso ou a deficiência de N pode comprometer seriamente o desempenho da cultura, afetando a formação do bulbo, o teor de sólidos solúveis e a resistência a doenças (UNESP–FCAV, 2006).

Além disso, o N desempenha papel fundamental na qualidade do bulbo. Doses equilibradas aumentam o diâmetro e o peso dos bulbilhos, melhoram o aspecto visual e elevam a concentração de alicina, composto responsável pelas propriedades terapêuticas e pelo aroma característico do alho. Entretanto, doses excessivas podem atrasar a maturação e favorecer o acamamento das plantas (SANTOS et al., 2021).

O nitrogênio influencia diretamente a atividade fotossintética da planta e sua

disponibilidade, em doses adequadas, resulta em maior produção de matéria seca e, consequentemente, melhor desenvolvimento das folhas, que são o principal órgão fotossintetizante (TAIZ et al., 2017).

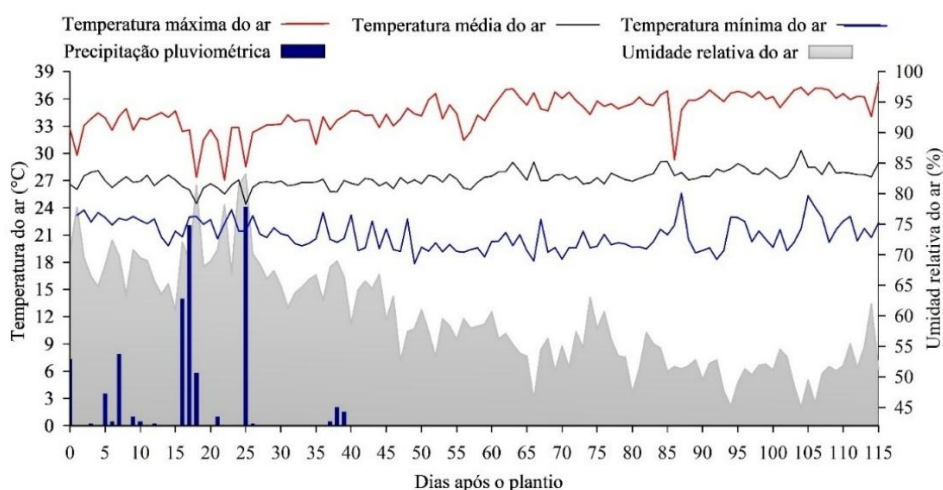
A deficiência de nitrogênio ocasiona sintomas visuais como folhas mais velhas amareladas, crescimento atrofiado e baixa emissão de novos bulbilhos. Esses sintomas, além de reduzirem a capacidade produtiva, tornam as plantas mais suscetíveis a pragas e doenças (UNIVERSITY OF MINNESOTA, 2023). Por outro lado, o excesso de nitrogênio pode promover crescimento vegetativo excessivo, com folhas grandes, mas com prejuízo na formação e conservação pós-colheita do bulbo (RESENDE; CECÍLIO FILHO, 2009).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento de campo foi realizado entre o período de maio a setembro de 2024, na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, pertencente a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRSA, Mossoró, RN (5°03'27.1" Sul 37°23'51.4" Oeste, 83 m de altitude). O clima da região é do tipo BSh, ou seja, semiárido quente, segundo a classificação de Köppen. Durante a fase experimental a temperatura média do ar foi de 27,6 °C, com máxima de 34,52 °C e mínima 21,03 °C. A umidade relativa e precipitação média ao longo do experimento de 59,54% e 92,71 mm, respectivamente (Figura 1).

Figura 1 - Temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e precipitação pluviométrica de Mossoró na época do experimento, no ano de 2024. Rio Grande do Norte, UFRSA, 2025



Fonte: Eng. agrônomo Me. Dalbert Pereira (2025).

A área possui solo classificado como Argissolo (EMBRAPA, 2019). Os atributos químicos do solo, na camada de 0 a 20 cm, estão descritos na Tabela 1. As análises foram realizadas conforme a EMBRAPA (2009).

Tabela 1 - Análises químicas de solo (profundidade de 0 a 20 cm) das áreas experimentais na Fazenda Experimental Rafael Fernandes. Mossoró, RN, UFERSA, 2025

Ano	P mg dm ⁻³	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	S ^{**}	H+Al	Al ³⁺
2024	10,20	0,08	1,04	0,38	0,01	1,50	0,61	0,00
Ano	pH	CE*	MO*	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	H ₂ O	dS m ⁻¹	g Kg ⁻¹	----- mg dm ⁻³ -----				
2024	6,12	0,11	7,90	0,24	61,40	15,10	1,60	0,20

*CE = condutividade elétrica; MO = matéria orgânica. P, K⁺ e Na⁺: Mehlich (HCl+H₂SO₄); Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺: KCl 1M; **S: Ca(H₂PO₄).

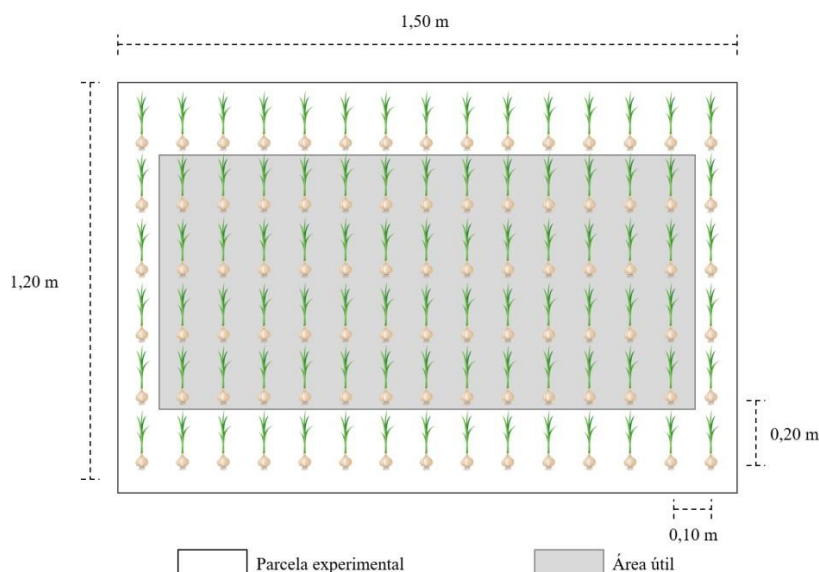
Fonte: Autoria própria (2025)

3.2 Delineamento, tratamentos e unidade experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados completos, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pelas doses de N, correspondendo a 75% (67,5 kg ha⁻¹), 100% (90 kg ha⁻¹), 125% (112,5 kg ha⁻¹), 150% (135 kg ha⁻¹) e 175% (157,5 kg ha⁻¹) da dose recomendada (90 kg ha⁻¹) por Holanda et al. (2017). O N foi aplicado na forma de ureia (45 % de N) via fertirrigação, semanalmente, com início aos 20 e fim aos 90 dias após o plantio (DAP).

A unidade experimental foi de 1,80 m² (1,2 m x 1,5 m) de canteiro, compostas por seis fileiras de plantas, espaçadas de 0,10 m entre plantas e 0,20 m entre fileiras, totalizando 90 plantas na parcela experimental. Foi considerada área útil de 1,04 m², correspondendo as quatro fileiras centrais, desprezando-se uma linha de plantas de cada extremidade da parcela (Figura 2).

Figura 2 - Croqui de parcela experimental do experimento com alho comum em função da aplicação de doses de nitrogênio. Mossoró, RN, UFRSA, 2025



Fonte: Eng. agrônomo Me. Dalbert Pereira (2024).

3.3 Instalação e condução dos experimentos

O preparo do solo foi realizado com aração seguida de gradagem cruzada a uma profundidade de 0,20 m. Na sequência, foi feito levantamento dos canteiros, com 1,20 m de largura e 0,30 de altura. A adubação foi realizada de acordo com a análises de solo e a recomendação para cultura (HOLANDA et al., 2017). Na adubação pré-plantio foram aplicados $180 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$, na forma de superfosfato simples (18% de P_2O_5), $163 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Ca}$, 112 kg ha^{-1} de S e $17,5 \text{ t ha}^{-1}$ de composto orgânico.

A adubação de cobertura ocorreu via fertirrigação, utilizado sistema de gotejamento, com emissores espaçados em 0,30 m e com uma vazão de $1,5 \text{ L h}^{-1}$. Foram aplicados $60,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O , $15,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg, $22,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de S, $16,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de Fe, 14 kg ha^{-1} de Mn, $5,85 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn, $2,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de B e $2,1 \text{ Kg ha}^{-1}$ de Cu. Foram utilizadas como fontes o nitrato de potássio (12% N e 45% K_2O), cloreto de potássio (58% K_2O), sulfato de magnésio (12% S e 9% Mg), sulfato de zinco (10% S e 20% Zn), ácido bórico (17% B) e Rexolin® BRA (2,1% B; 2,66% Fe; 3,38% Zn; 2,48% Mn; 0,36% Cu e 0,036% Mo).

As irrigações foram realizadas por meio de sistema de microaspersão, com micros aspersores com vazão de 27 L h^{-1} . As irrigações foram diárias, com lâminas de acordo com as condições meteorológicas e a necessidade da cultura (MAROUELLI et al., 2015).

A cultivar de alho comum Inhumas Casca Roxa foi implantada quando os bulbilhos apresentaram índice visual de dormência superior a 70%. O plantio foi realizado manualmente,

utilizando-se um bulbilho por cova. O manejo de plantas daninhas foi realizado semanalmente. Após a emergência das plântulas, foram executados os tratos culturais e o controle de pragas e doenças foi realizado, de acordo com as exigências da cultura ao longo do ciclo.

A colheita foi realizada aos 115 DAP, quando aproximadamente dois terços das folhas estavam amareladas ou secas, indicando que os bulbos haviam atingindo a maturidade fisiológica. Em seguida foi realizada a pré-cura em campo por três dias. Após esse período, os bulbos passaram por um processo de cura por 17 dias, em local sombreado e arejado.

3.4 Características avaliadas

3.4.1 Crescimento e Produtividade Total

Aos 85 DAP foram avaliadas a altura de plantas (cm), o número de folhas por planta, obtido por contagem direta das folhas fotossinteticamente ativas e a porcentagem de plantas superbrotadas (%), determinada na colheita pela relação entre o número de plantas superbrotadas e o número total de plantas colhidas na área útil. A produtividade de bulbos foi obtida pela pesagem de todos os bulbos colhidos, com valores estimados para hectare ($t\ ha^{-1}$).

3.4.2 Acúmulo de nutrientes

Na ocasião da colheita foram coletadas oito plantas para determinação dos teores de macro e micronutrientes. As plantas foram separadas em parte aérea e bulbo, secas em estufa de com circulação forçada de ar a 65°C até atingirem massa constante, e posteriormente moídas em moinho de aço inoxidável tipo Willey, com peneira de malha de 1 mm. Em seguida o material foi submetido a digestão sulfúrica e seca, conforme proposto metodologia descrita pela Embrapa (2009).

O teor de N foi determinado pelo método Kjeldhal. O fósforo (P) foi quantificado por colorimetria, com leituras em espectrofotômetro a 725 nm. O potássio (K) foi determinado por fotômetro de chamas. Os teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) foram quantificados por espectroscopia de absorção atômica.

Para a determinação do acúmulo de nutrientes na parte aérea, no bulbo e no total da planta, foram utilizados os teores obtidos e as respectivas matérias seca. O acúmulo foi calculado multiplicando-se o teor do nutriente encontrado pela matéria seca da respectiva parte da planta (parte aérea, bulbo e total), expressando-se os resultados em $kg\ ha^{-1}$ para os macronutrientes e em $g\ ha^{-1}$ para os micronutrientes.

3.5 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando-se o teste F a 5% de probabilidade, com o auxílio do software SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2019). Quando houve efeito significativo para os tratamentos foi realizada análise de regressão, selecionando-se a equação significativa com o maior coeficiente de determinação. A elaboração dos gráficos foi realizada no software SigmaPlot versão 15.0

4. RESULTADOS

4.1 Crescimento e produtividade total

A adubação nitrogenada influenciou significativamente ($p \leq 0,05$) as variáveis altura de planta, número de folhas, e produtividade ($p \leq 0,01$). Enquanto a porcentagem de plantas com superbrotamento não houve influência significativa dos tratamentos (Tabela 2).

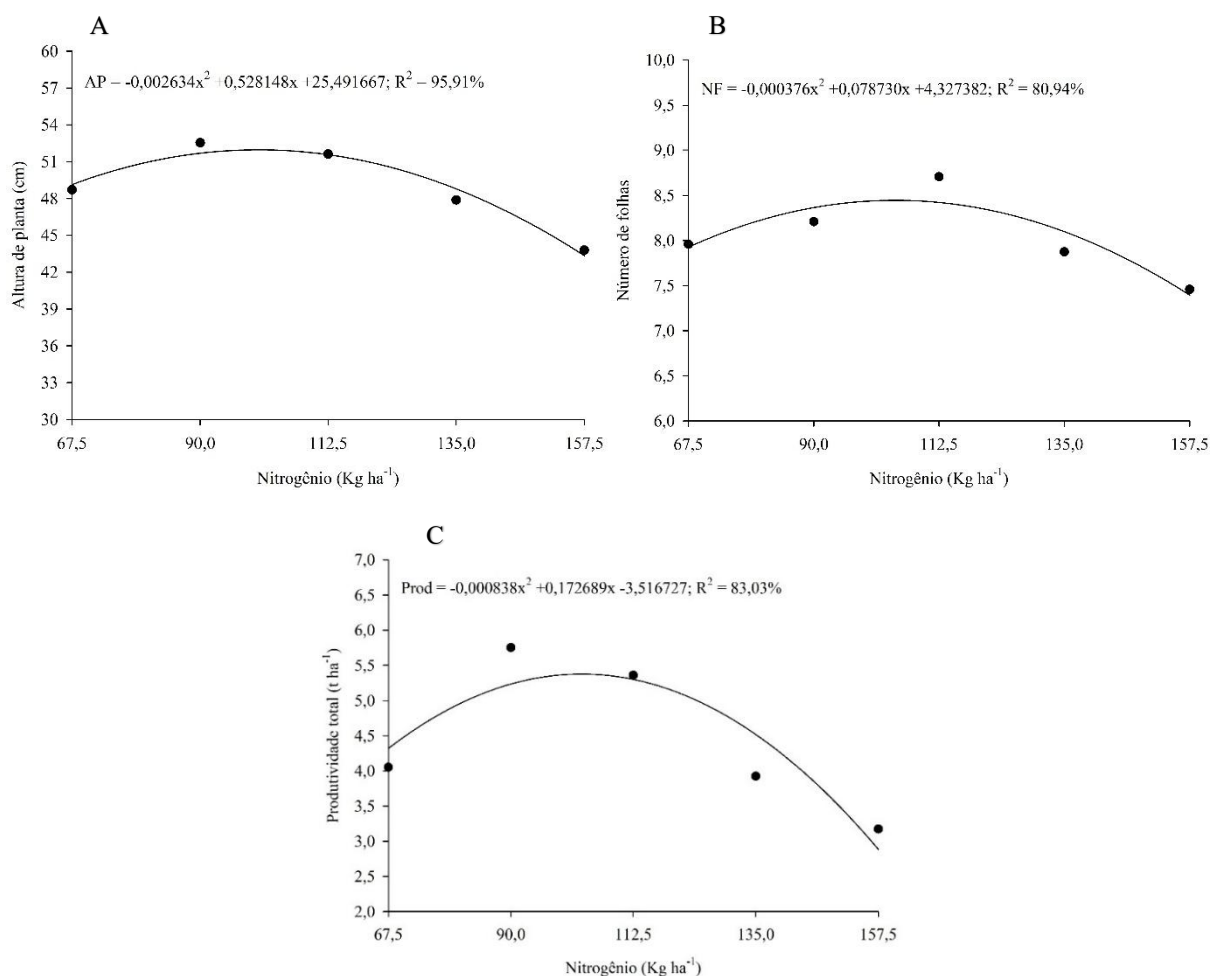
Tabela 2 - Resumo da análise de variância para altura de plantas (ALT), número de folhas (NF), plantas superbrotadas (PS) e produtividade total (PT) de alho sob aplicação de nitrogênio. Mossoró, RN, UFERSA, 2025

Fonte de variação	ALT	NF	PS	PT
Dose	3,370*	3,389*	0,539 ^{ns}	14,450**
Bloco	2,578 ^{ns}	4,509*	0,037 ^{ns}	0,510 ^{ns}
C.V. (%)	7,71	6,22	71,67	12,65

^{ns} não significativo; *significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F. Fonte: A autoria própria (2025).

A altura das plantas aumentou até a dose de 100,23 kg ha⁻¹ de N, atingindo valor máximo de 51,88 cm (Figura 3A). De forma semelhante o número de folhas por planta aumentou até a dose de 104,69 kg ha⁻¹ de N, alcançando 8 folhas por planta (Figura 3B). Para a variável referente ao superbrotamento foi observado valor médio de 7,79%. Resposta positiva à adubação nitrogenada também foi registrada na produtividade, que aumentou de 4,32 t ha⁻¹ na dose 67,5 kg ha⁻¹ de N para 5,38 t ha⁻¹, com essa produtividade máxima estimada na dose de 101 kg ha⁻¹ de N (Figura 3C).

Figura 3 – Altura de planta (A), número de folhas (B) e produtividade total (C) de alho com aplicação de doses de nitrogênio. Mossoró, RN, UFERSA, 2025



Fonte: Autoria própria (2025).

4.2 Acúmulo de nutrientes

Observou-se efeito significativo ($p \leq 0,05$) da adubação nitrogenada sobre o acúmulo dos macronutrientes nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Também foi verificado efeito significativo das doses de N no acúmulo dos micronutrientes cobres (Cu), ferro (Fe) e zinco (Zn). Para os nutrientes fósforo (P) e manganês (Mn), não houve diferença entre os tratamentos. No bulbo, o acúmulo de todos os macronutrientes apresentou diferença significativa, enquanto, entre os micronutrientes, apenas Cu e Zn diferiram significativamente. No acúmulo total, observaram-se diferenças significativas para todos os macronutrientes e micronutrientes, com exceção do Mn, que não respondeu à adubação (Tabela 3).

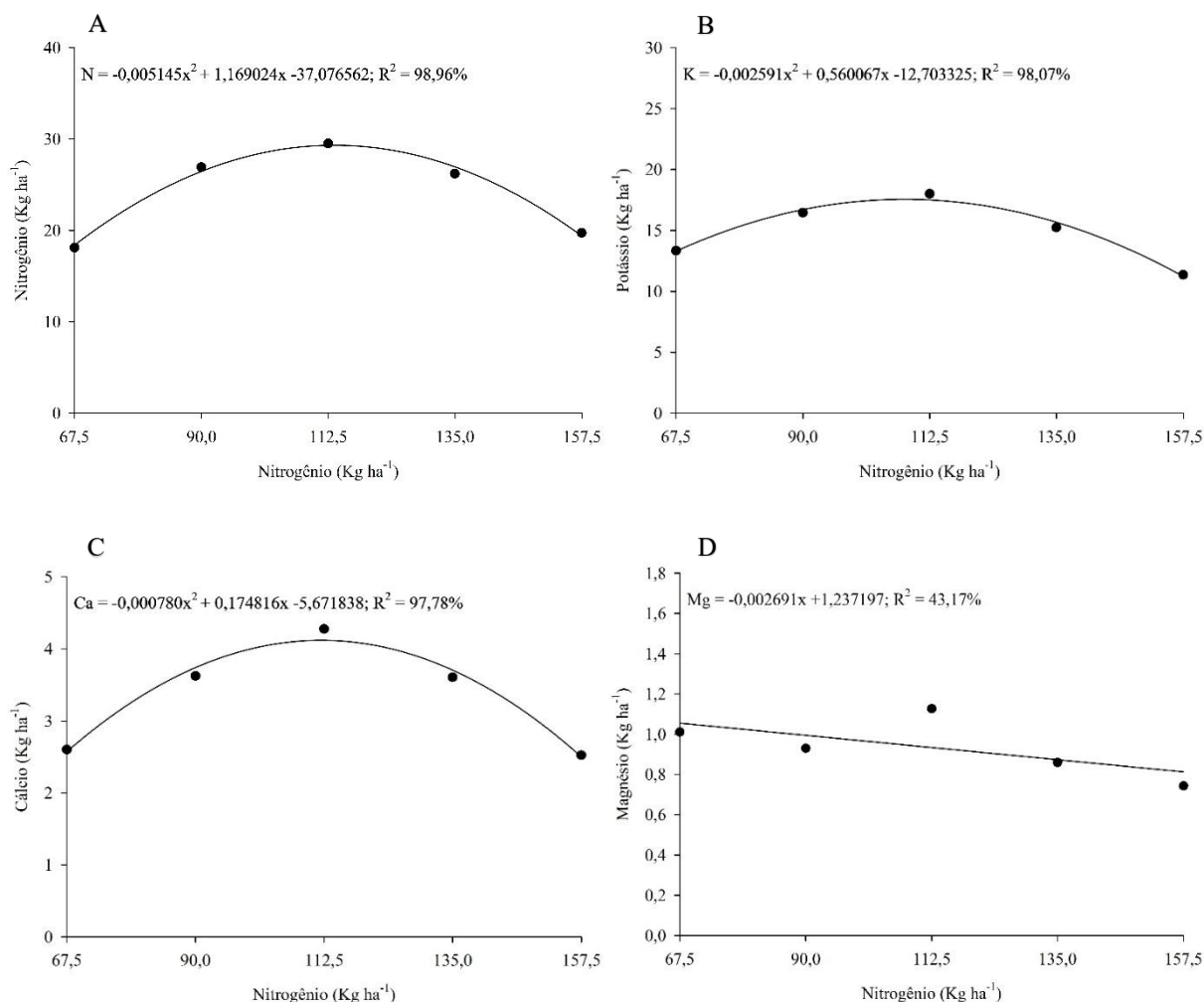
Tabela 3 - Resumo da análise de variância para o acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea, bulbo e total em alho sob aplicação de doses de nitrogênio. Mossoró, RN, UFERSA, 2025

Parte Aérea									
Fonte de variação	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn
Dose	3,644*	1,518 ^{ns}	3,538*	6,276**	4,734*	17,811**	4,451*	5,883**	1,056 ^{ns}
Bloco	0,730 ^{ns}	2,030 ^{ns}	1,865 ^{ns}	1,266 ^{ns}	2,653 ^{ns}	0,717 ^{ns}	1,648 ^{ns}	1,763 ^{ns}	0,312 ^{ns}
C.V. (%)	21,36	24,27	18,66	17,94	14,33	19,01	16,80	17,56	33,24
Bulbo									
Dose	3,692*	11,029**	9,084**	7,212**	6,363**	12,940**	2,470 ^{ns}	5,363*	0,900 ^{ns}
Bloco	0,639 ^{ns}	3,509*	1,248 ^{ns}	0,367 ^{ns}	0,948 ^{ns}	2,151 ^{ns}	0,666 ^{ns}	1,188 ^{ns}	0,127 ^{ns}
C.V. (%)	21,07	10,00	10,19	21,32	13,65	13,24	20,21	16,43	35,11
Total									
Dose	4,961*	4,540*	7,435**	7,084**	5,088*	21,946**	5,055*	7,075**	1,005 ^{ns}
Bloco	0,914 ^{ns}	3,208 ^{ns}	2,455 ^{ns}	0,771 ^{ns}	2,705 ^{ns}	1,101 ^{ns}	1,515 ^{ns}	1,722 ^{ns}	0,200 ^{ns}
C.V. (%)	17,95	14,36	12,28	17,35	13,64	13,48	14,24	14,83	33,22

^{ns} não significativas; *significativa a 5% de probabilidade; **significativa a 1% de probabilidade pelo teste de F. Fonte: Autoria própria (2025).

O maior acúmulo de N (29,33 kg ha⁻¹), K (17,56 kg ha⁻¹) e Ca (4,12 kg ha⁻¹) na parte aérea do alho comum ocorreu nas doses 113,5 kg ha⁻¹, 108,5 kg ha⁻¹ e 112,06 kg ha⁻¹ de N. Para o acúmulo de Mg, o comportamento foi diferente, apresentando redução com o aumento das doses de N (Figura 4). O acúmulo médio de P nas folhas foi de 1,67 kg ha⁻¹.

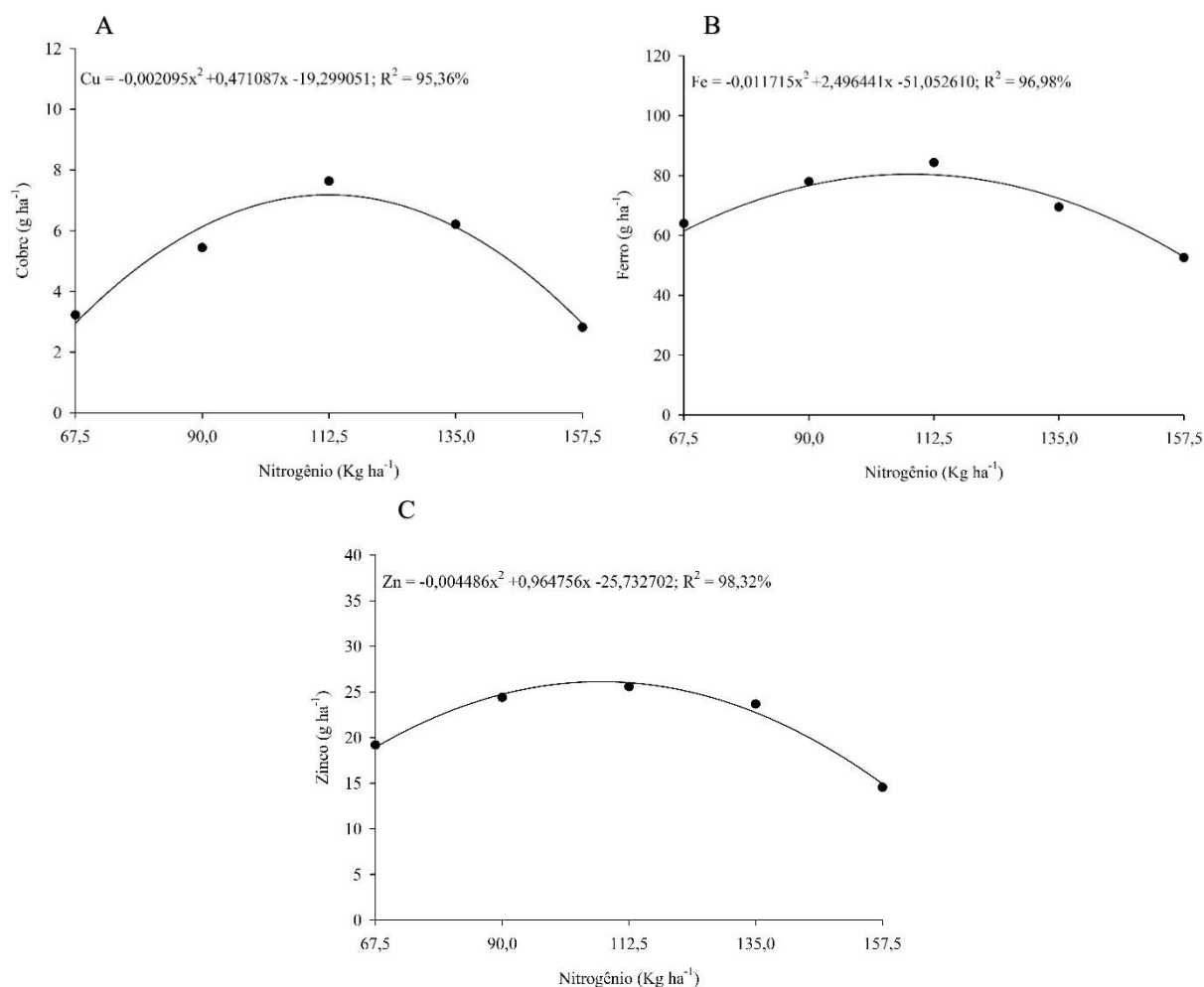
Figura 4 – Acúmulo de nitrogênio (A), potássio (B), cálcio (C) e magnésio (D) na parte aérea do alho sob aplicação de doses de nitrogênio. Mossoró, RN, UFRSA, 2025



Fonte: Autoria própria (2025).

Para o acúmulo de micronutrientes na parte aérea de plantas de alho, observou-se comportamento semelhante para o Cu, Fe e Zn. Para o acúmulo de Cu, apresentou valor máximo de 7,18 g ha⁻¹, na dose de 112,43 kg ha⁻¹ de N (Figura 5A). O acúmulo de Fe, houve o maior incremento na dose de 106,55 kg ha⁻¹ de N, com um, valor de 81,94 g ha⁻¹ (Figura 5B). O Zn, por sua vez, na dose 107,52 kg ha⁻¹ de N, acumulou 26,14 g ha⁻¹ (Figura 5C). O acúmulo médio de Mn nas folhas foi de 5,67 g ha⁻¹.

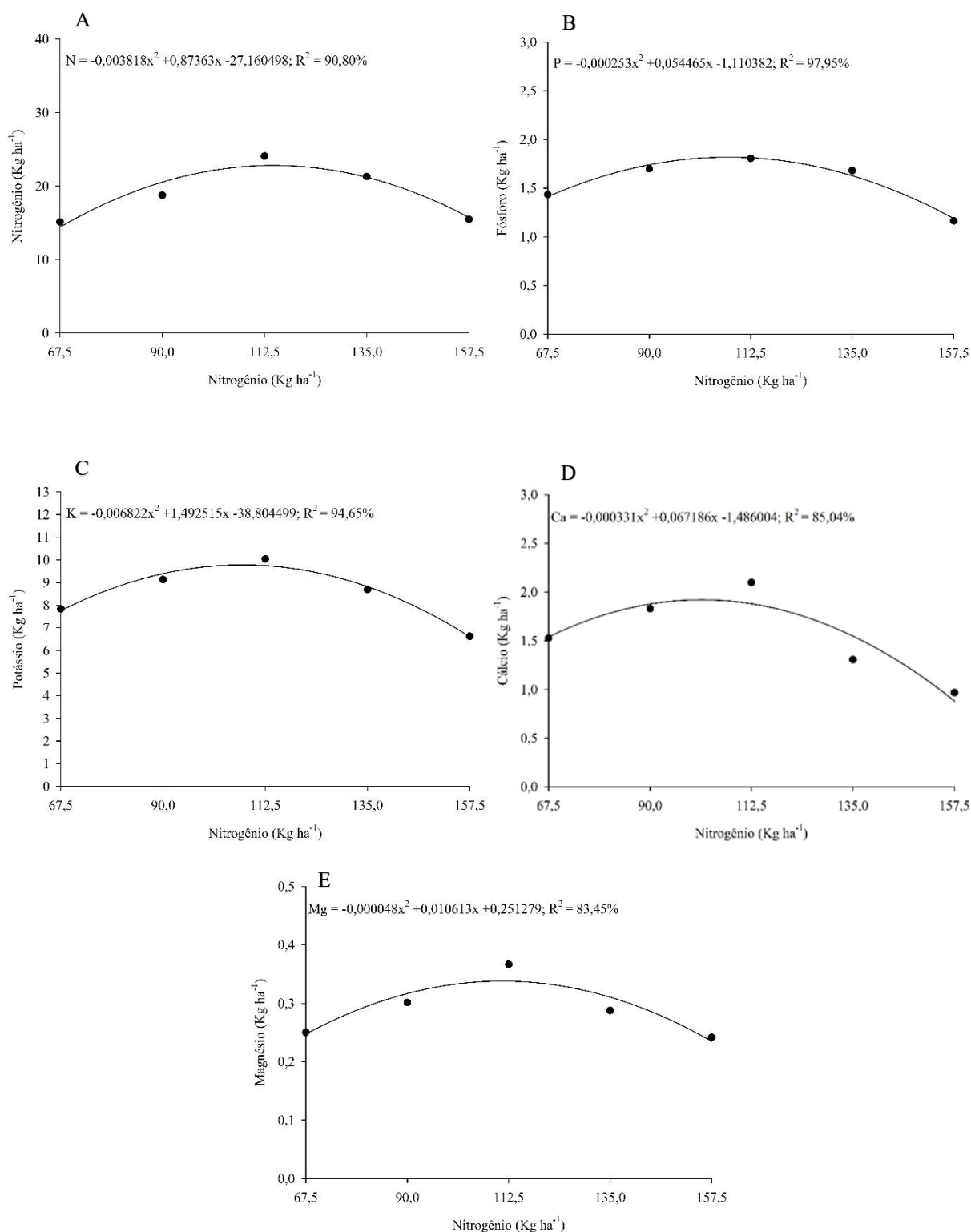
Figura 5 – Acúmulo de cobre (A), ferro (B) e zinco (C) na parte área do alho sob aplicação de doses de nitrogênio. Mossoró, RN, UFRSA, 2025



Fonte: Autoria própria (2025).

O maior acúmulo no bulbo foi observado para o N, com 22,82 kg ha⁻¹, na dose de 114,41 kg ha⁻¹ de N (Figura 6A). O acúmulo de P apresentou melhor desempenho na dose de 107,64 kg ha⁻¹ de N, com acúmulo máximo de 1,82 kg ha⁻¹ (Figura 6B). Para o K, o ponto de acúmulo máximo foi de 9,77 kg ha⁻¹, estimado na dose de 107,42 kg ha⁻¹ de N (Figura 6C). Para o acúmulo de Ca, o valor máximo foi de 1,92 kg ha⁻¹ com a dose de 101,49 kg ha⁻¹ de N (Figura 6D). O Mg, por sua vez, apresentou comportamento semelhante aos demais, com acúmulo máximo de 0,34 kg ha⁻¹ na dose de 110,55 kg ha⁻¹ de N (Figura 6E).

Figura 6 – Acúmulo de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D) e magnésio (E) no bulbo do alho sob aplicação de doses de nitrogênio. Mossoró, RN, UFERSA, 2025

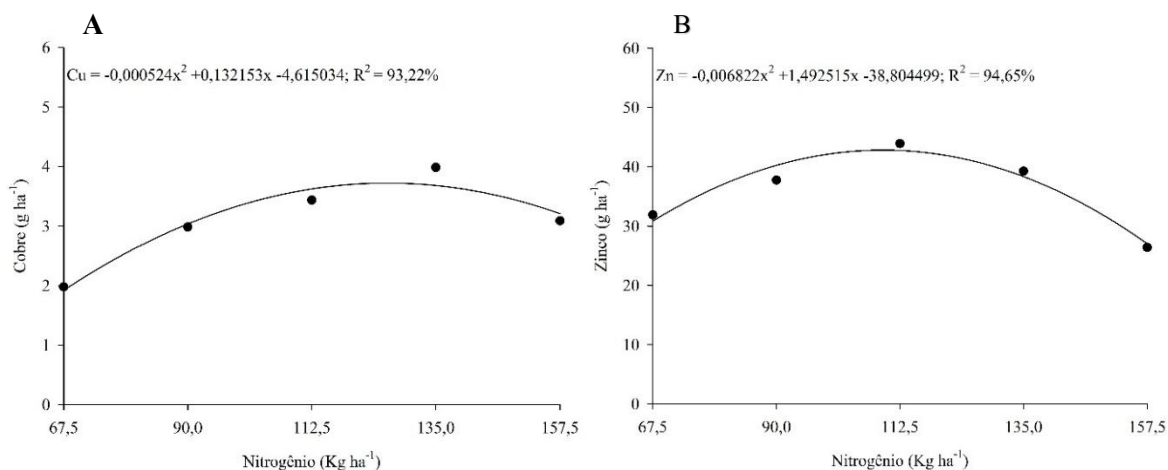


Fonte: Autoria própria (2025).

Para o acúmulo de micronutrientes no bulbo, apenas o Cu e o Zn apresentaram efeito significativo em relação as doses aplicadas. O Cu apresentou um acúmulo máximo de 3,72 g

ha⁻¹, na dose de 126,10 kg ha⁻¹ de N (Figura 7A), e no Zn, com acúmulo de 42,83 g ha⁻¹, na dose de 109,39 kg ha⁻¹ (Figura 7B). O acúmulo médio de Fe e Mn foi de 34,96 g ha⁻¹ e 5,94 g ha⁻¹, respectivamente.

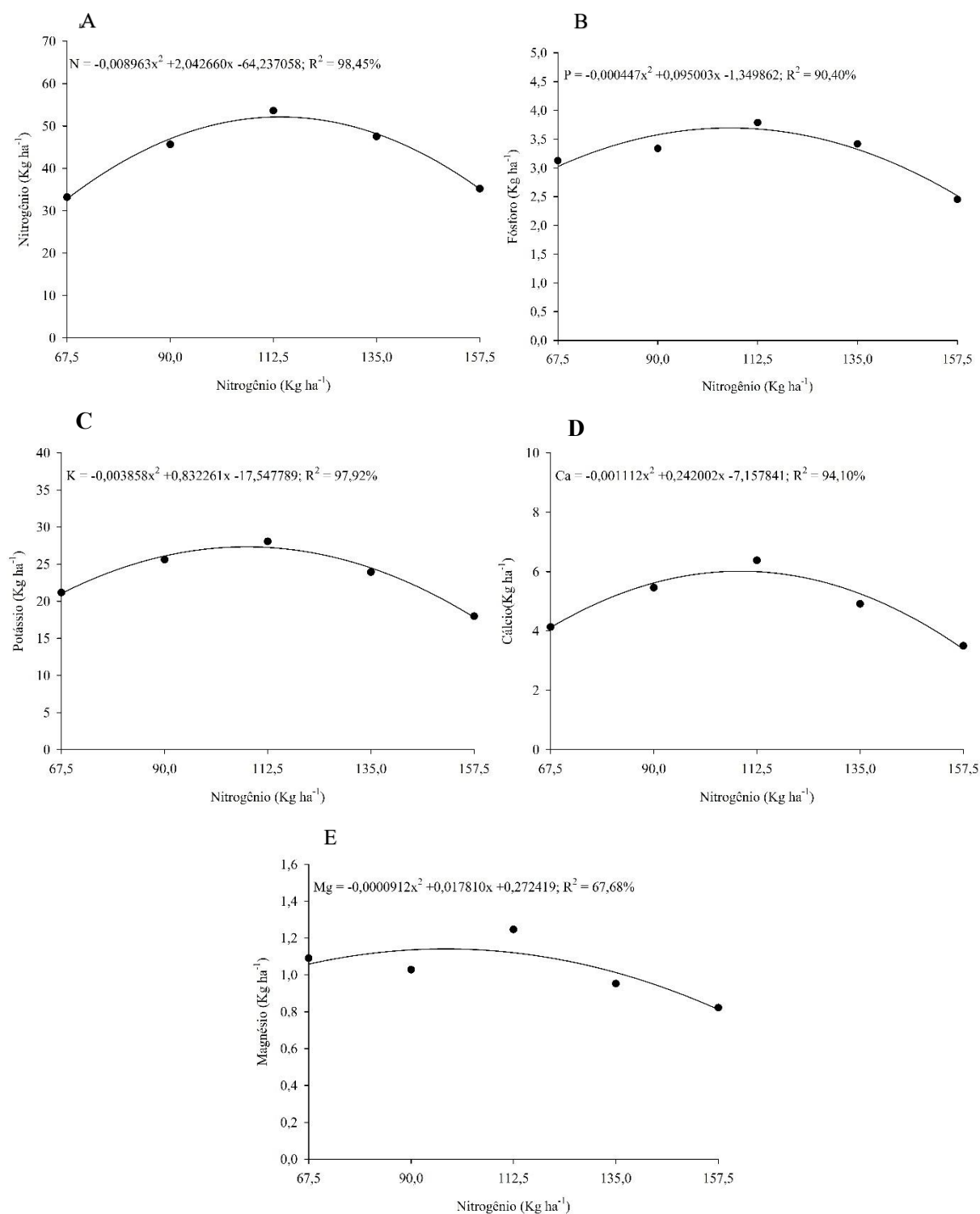
Figura 7 – Acúmulo de cobre (A) e zinco (B) no bulbo de alho sob aplicação de doses de nitrogênio. Mossoró, RN, UFERSA, 2025



Fonte: Autoria própria (2025).

O maior acúmulo total de N em plantas de alho foi de 52,14 kg ha⁻¹ na dose de 113,95 kg ha⁻¹ de N (Figura 8A). O P alcançou 3,70 kg ha⁻¹ na dose de 106,27 kg ha⁻¹ de N (Figura 8B). Já o K apresentou um acúmulo de 27,34 kg ha⁻¹, na dose de 107,86 kg ha⁻¹ de N (Figura 8C). No Ca foi observado que na dose 108,81 kg ha⁻¹ de N, teve um acúmulo máximo de 6,01 kg ha⁻¹ (Figura 8D), enquanto Mg, apresentou um acúmulo de 1,14 kg ha⁻¹, estimado na dose de 97,64 kg ha⁻¹ (Figura 8E).

Figura 8 – Acúmulo total de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D) e magnésio (E) em alho sob aplicação de doses de nitrogênio. Mossoró, RN, UFERSA, 2025

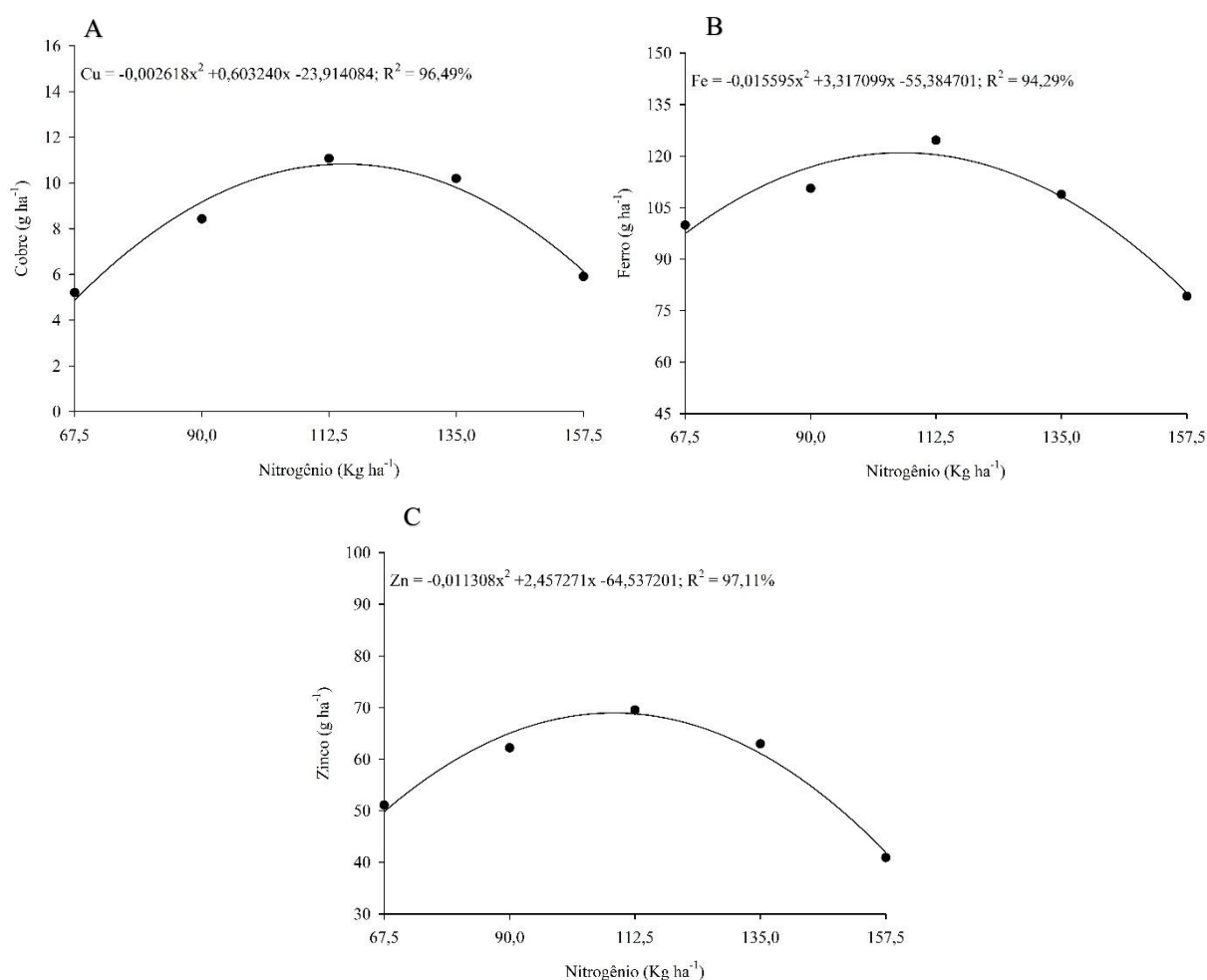


Fonte: Autoria própria (2025).

O acúmulo total de micronutrientes em planta de alho apresentou comportamento semelhante para o Cu, Fe e Zn. O acúmulo total de Cu foi de 10,84 g ha⁻¹, com ponto máximo

estimado na dose de 115,21 kg ha⁻¹ de N (Figura 9A). O Fe obteve um maior acúmulo, com 121,00 g ha⁻¹ de N, na dose de 106,35 kg ha⁻¹ de N (Figura 9B), enquanto o Zn apresentou acúmulo máximo de 68,96 g ha⁻¹ na dose de 108,65 kg ha⁻¹ de N (Figura 9C). O acúmulo médio de Mn foi de 11,61 g ha⁻¹.

Figura 9 – Acúmulo total de Cu (A), Fe (B) e Zn (C) no alho sob aplicação de doses de nitrogênio. Mossoró, RN, UFERSA, 2025



Fonte: Autoria própria (2025).

5. DISCUSSÃO

Os ganhos observados na altura e no número de folhas em resposta à aplicação de N devem-se ao papel fundamental desse macronutriente no metabolismo vegetal, participando da fotossíntese e promovendo maior síntese de clorofila, aminoácidos e proteínas, compostos cruciais para o crescimento vegetativo e a formação de novas estruturas celulares e tecidos (TAIZ et al., 2017). De modo geral, observou-se que as doses ótimas estimadas para a maioria

das variáveis avaliadas foram superiores à recomendada por Holanda et al. (2017), indicando que, nas condições deste experimento, o suprimento adicional de N foi determinante para alcançar os máximos de crescimento, produtividade e acúmulo de nutrientes.

É possível que os resultados positivos obtidos nesta pesquisa estejam relacionados aos efeitos benéficos da adubação nitrogenada sobre o crescimento da planta. Plantas com maior área foliar e porte mais desenvolvido apresentam melhor atividade fotossintética, aumentando a produção de fotoassimilados que são translocados para o bulbo (TAIZ et al., 2017).

Os resultados obtidos corroboram relatos sobre os benefícios do N no crescimento de plantas de alho (PAIVA, 2019; TIWARI et al., 2019; ROCHA, 2022; TAHA et al., 2024). Entretanto, verificou-se que, em altas concentrações de N disponível, o crescimento das plantas foi prejudicado. Esse efeito deletério pode estar associado ao desequilíbrio nutricional causado pelo excesso de N, o qual pode levar à toxidez, competição iônica com outros nutrientes (como potássio, cálcio e magnésio) e alterações no metabolismo hormonal da planta (MARSCHNER, 2012).

Constatou-se que o aumento na disponibilidade de N, até a dose ótima — também superior à recomendada por Holanda et al. (2017) — promoveu um incremento de 2,67% na produtividade. Na região, há registros da produtividade de alho comum variando entre 3,95 t ha⁻¹ e 6,49 t ha⁻¹ (OLIVEIRA et al., 2024; PEREIRA, 2024), demonstrando que a produtividade observada neste experimento (5,38 t ha⁻¹) está dentro da faixa regionalmente esperada.

A redução na produtividade, além de possivelmente associada à diminuição nas variáveis de crescimento, pode ter sido influenciada pelo superbrotamento. Apesar de não ter apresentado diferença estatística significativa, observou-se tendência de aumento dessa variável com o aumento das doses de N. O superbrotamento tende a desviar recursos metabólicos da formação do bulbo principal para brotações secundárias, comprometendo a produtividade (TRANI et al., 2008; RESENDE; CECÍLIO FILHO, 2009).

O acúmulo de nutrientes também foi favorecido pela adubação nitrogenada. Além de estimular o crescimento, o N melhora a capacidade de absorção de nutrientes pelas plantas (ANDRIOLI et al., 2008). Na parte aérea, no bulbo e no total, os ganhos variaram entre as doses de 97,64 e 126,10 kg ha⁻¹ de N. Contudo, em doses superiores, o acúmulo foi prejudicado. O excesso de N pode provocar competição iônica no solo, especialmente com cátions (Ca²⁺ e Mg²⁺), além de causar possível saturação fisiológica e desequilíbrios na alocação de nutrientes na parte aérea. O fósforo, por sua vez, não apresentou resposta significativa nessa fração, o que pode estar relacionado à sua mobilidade interna e preferência de alocação no bulbo (BÜLL et al., 2008; COUTO, 2019).

No bulbo, principal dreno de assimilados, as doses de N favoreceram a redistribuição dos nutrientes, estimulando o enchimento e o acúmulo de macronutrientes. No entanto, doses excessivas resultaram em redução do acúmulo, possivelmente devido à supressão da absorção de nutrientes, especialmente cátions, e ao aumento do custo metabólico. Redução da eficiência fotossintética, aumento da respiração e acúmulo de nitratos são fatores que podem comprometer a translocação e o armazenamento de nutrientes nos bulbos (AMERIAN et al., 2024).

No acúmulo total, doses elevadas de N também resultaram em menor acúmulo de nutrientes, reflexo do desbalanço entre a absorção radicular e a alocação nos órgãos (SPADOTTO; GOMES, 2021). Alterações fisiológicas, como o aumento na razão parte aérea/bulbo, podem ter contribuído para essa redução, indicando que o crescimento vegetativo excessivo pode ocorrer em detrimento da produção. Além disso, a menor eficiência no uso dos nutrientes sob excesso de N reforça a importância de um manejo equilibrado da adubação (TAHA et al., 2024).

Quanto aos micronutrientes, observou-se que a aplicação de N influenciou significativamente o acúmulo de Cu, Fe e Zn na planta, especialmente na parte aérea e no acúmulo total. O incremento desses micronutrientes foi observado até aproximadamente 112,5 kg ha⁻¹ de N, indicando que doses moderadas favorecem sua absorção e translocação. Segundo Pasley et al. (2019), esse comportamento pode ser atribuído ao aumento da área foliar, da atividade enzimática e da demanda metabólica promovidos pelo suprimento adequado de nitrogênio, intensificando a captação de micronutrientes do solo. No bulbo, observou-se resposta positiva ao N para Cu e Zn, indicando a redistribuição desses nutrientes para o órgão de reserva. A presença de Cu e Zn no bulbo é importante, pois estão associados a processos enzimáticos e antioxidantes durante a fase de enchimento (TRANI, 2009).

Entretanto, doses elevadas de N resultaram em redução no acúmulo de micronutrientes, o que pode estar relacionado a diferentes mecanismos fisiológicos e edáficos. Entre eles, destaca-se a diluição fisiológica, causada pelo aumento de biomassa sem acréscimo proporcional na concentração de micronutrientes. O excesso de N, especialmente na forma amoniacal (NH₄⁺), pode intensificar a acidificação da rizosfera, alterando a solubilidade dos nutrientes e, conseqüentemente, sua disponibilidade para as plantas (COLETO et al., 2023). Além disso, pode ocorrer competição iônica com outros cátions, desequilíbrios nutricionais e possíveis efeitos negativos sobre a atividade radicular, comprometendo a taxa de assimilação relativa desses nutrientes (HOOPEN et al., 2010).

Em relação ao manganês (Mn), não foram observadas respostas significativas ao fornecimento de N. Esse comportamento pode ser explicado por sua baixa mobilidade na planta

e reduzida translocação para os órgãos de reserva, como o bulbo. Além disso, é provável que mecanismos homeostáticos tenham limitado o acúmulo de Mn nos tecidos, mesmo diante de alterações na adubação nitrogenada (SILVA et al., 2022).

Assim, os resultados obtidos neste estudo reforçam a importância de um manejo criterioso da adubação nitrogenada na cultura do alho, uma vez que a definição de doses adequadas é fundamental para maximizar o crescimento, a produtividade e o acúmulo de nutrientes. Observou-se que, nas condições de cultivo do presente experimento, a dose de N que proporcionou os melhores resultados foi superior à recomendada atualmente para a cultura do alho no Rio Grande do Norte (HOLANDA et al., 2017), evidenciando que ajustes nas recomendações locais podem contribuir para um manejo mais eficiente e produtivo. Esses achados ressaltam a necessidade de considerar as particularidades edafoclimáticas e varietais no estabelecimento de estratégias de adubação, visando não apenas à produtividade, mas também à sustentabilidade do sistema de produção.

6. CONCLUSÃO

O A adubação nitrogenada promoveu incremento significativo no crescimento de plantas de alho e na produtividade de bulbos. A dose de 101 kg ha⁻¹ de N foi a que proporcionou o melhor desempenho, com produtividade estimada de 5,38 t ha⁻¹, representando um acréscimo de 12,2% em relação à dose recomendada por Holanda et al. (2017) para a cultura do alho no Rio Grande do Norte.

Em relação ao acúmulo de macronutrientes nas diferentes frações da planta (parte aérea, bulbo e total), observou-se a mesma ordem decrescente: N > K > Ca > P > Mg. Para os micronutrientes, o comportamento variou conforme a fração analisada: na parte aérea, o acúmulo seguiu a ordem Fe > Zn > Cu > Mn; no bulbo, Zn > Fe > Mn > Cu; e no total, Fe > Zn > Mn > Cu.

Esses resultados evidenciam a importância do manejo adequado da adubação nitrogenada não apenas para o crescimento e a produtividade da cultura, mas também para a eficiência na absorção e redistribuição de nutrientes essenciais em diferentes compartimentos da planta.

7. REFERÊNCIAS

- ADRIANO, Jilson de Nazare Jose. **Desenvolvimento do alho branco mineiro submetido a doses de biofertilizante misto**. 2018. 53 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção-CE, 2018. Disponível em: <https://unilab.edu.br/wp-content/uploads/2020/04/Monografia-Jilson-Alho-2018.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2025.
- AMERIAN, M. et al. The effect of different levels of urea and sodium selenate on the morphophysiological characteristics of garlic (*Allium sativum* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 337, p. 113469, nov. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113469>. Acesso em: 16 jul. 2025.
- ANDRIOLI, F. F.; PRADO, R. M.; ANDRIOLI, I.; SAES, L. P. Curva de crescimento e marcha de absorção de nutrientes pela cultura do alho sob condições de campo. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 3, p. 385-393, 2008. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/11538>. DOI: 10.5380/rsa.v9i3.11538. Acesso em: 10 jul. 2025.
- BESSEN, M. R. et al. Does split nitrogen application increase garlic yield and quality? **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 19, n. 2, p. 138–143, 2020. DOI: 10.18188/sap.v19i2.23004. Disponível em: <https://ojs.uem.br/ojs/index.php/SAP/article/view/23004>. Acesso em: 9 abr. 2025.
- BESSA, A. T. M. et al. Quality of virus-free garlic grown under high altitude conditions in the semiarid region of the northeast of Brazil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 4, p. 945–953, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/9386>. Acesso em: 9 abr. 2025.
- BÜLL, L. T. et al. Doses de fósforo e zinco na cultura do alho em condições de casa de vegetação. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 941-949, out./dez. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/h3Thf8XyzTj3Nbb9Qj9N8Mp/>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- COLETO, I. et al. Interaction of ammonium nutrition with essential mineral cations. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 74, n. 19, p. 6131-6144, out. 2023. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/74/19/6131/7190156>. DOI: 10.1093/jxb/erad215. Acesso em: 10 jul. 2025.
- CORRÊA, R. M. et al. Resposta da cultura do alho à lâmina de irrigação e ao estresse hídrico. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 18, n. 2, p. 15–25, 2022.
- COUTO, Rafael Schirmer de Paula. **Uso de aluminossilicatos para adsorção de amônio do lixiviado de aterro e seu aproveitamento como adubo na plantação de rabanetes (*Raphanus sativus*)**. 2019. 197 f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: https://www.bdt.d.uerj.br:8443/bitstream/1/15629/1/Tese_Rafael%20Couto_.pdf. Acesso em: 16 jul. 2025.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Alho. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalica-nao-e-so-salada/alho>. Acesso em: 13 jun. 2025.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Clima e solo para o cultivo de alho. 2019. Disponível em: <https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>. Acesso em: 9 abr. 2025.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Clima propício para plantio. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalicas/alho/clima>. Acesso em: 1 jun. 2025.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330496>. Acesso em: 30 jun. 2025.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mercado mundial do alho: tendências gerais e as implicações para o Brasil**. 2021. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1142479/1/ALHO-SOBER-2021.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2025

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs/classificacao-de-solos>. Acesso em: 30 jun. 2025.

EMBRAPA HORTALIÇAS. Sistema de produção de alho. Brasília, DF: Embrapa Hortalicas, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalicas>. Acesso em: 16 jun. 2025.

FAO. Crop Statistics. FAOSTAT, 2021. Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acesso em: 15 jun. 2025.

FAO. Crop Statistics. FAOSTAT, 2023. Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acesso em: 8 abr. 2025.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects splitplot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529-535, jan. 2019. DOI: 10.28951/rbb.v37i4.450. Disponível em: <http://200.131.250.9/index.php/BBJ/article/view/450>. Acesso em: 7 abr. 2025.

GRUNDLING, R. D. P.; GAZZOLA, R.; ARAGÃO, A. A. **Mercado mundial do alho: tendências gerais e as implicações para o Brasil**. 2021. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1142479/1/ALHO-SOBER-2021.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2025.

HOLANDA, J. S. et al. **Indicações para adubação de culturas em solos do Rio Grande do Norte**. Parnamirim: EMPARN, 2017. (Documento, 46). Acesso em: 3 abr. 2025.

HOOPEN, F. ten et al. Competition between uptake of ammonium and potassium in barley and *Arabidopsis* roots: molecular mechanisms and physiological consequences. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 61, n. 9, p. 2303-2315, mai. 2010. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20339151/>. DOI: 10.1093/jxb/erq057. Acesso em: 16 jul. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção de alho. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/alho/br>. Acesso em: 6 abr. 2025.

IEA – Instituto de Economia Agrícola. **Mercado de alho**: globalização, competência e auto-suficiência. 2001. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/ie/2001/seto2-0701.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2025.

LANDAU, E. C.; BARTOLOMEU, R. D. de S.; SILVA, G. A. da. Evolução da produção de alho (*Allium sativum*, Amaryllidaceae). In: LANDAU, E. C. et al. (Ed.). **Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas**: produtos de origem vegetal. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 2, cap. 11, p. 297-322. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1122644>. Acesso em: 2 jun. 2025.

LOPES, W. A. R. et al. Caracterização físico-química de bulbos de alho submetido a períodos de vernalização e épocas de plantio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 231-238, abr./jun. 2016. Acesso em: 7 abr. 2025.

MARQUELLI, W. A.; LUCINI, M. A. Manejo de irrigação na cultura do alho. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 26, n. 3, p. 46-49, nov. 2013/fev. 2014. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/983937/1/AgropecuariaCatarinense263.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2025.

MARSCHNER, P. (ed.). **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3. ed. Amsterdam: Academic Press, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780123849052/marschners-mineral-nutrition-of-higher-plants>. Acesso em: 16 jul. 2025.

MELO, L. B. **Crescimento e Acúmulo de Nutrientes do Alho (*Allium sativum* L.) cv. Chonan em Diferentes Fases do Ciclo de Cultivo**. 2020. [Monografia/Trabalho de Conclusão de Curso] – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/31152/4/CrescimentoEAc%C3%BAculo.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2025.

MORAIS, É. G. et al. Treating Garlic Seed Cloves with Negative Temperatures Increases the Productivity of Noble Garlic in the Brazilian Semi-Arid Region. **Horticulturae**, Basel, v. 9, n. 9, p. 1022, 2023. DOI: 10.3390/horticulturae9091022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9091022>. Acesso em: 25 jun. 2025.

NICK, C.; BORÉM, A. **Alho**: do plantio à colheita. Viçosa: UFV, 2017. p. 15-34. Acesso em: 8 abr. 2025.

OLIVEIRA, R. R. T. et al. Fertilization with Silicon in Garlic Grown at Low and High Altitudes in a Semi-arid Region. **Silicon**, v. 16, p. 3729–3736, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/379259781_Fertilization_with_Silicon_in_Garlic_Grown_at_Low_and_High_Altitudes_in_a_Semi-arid_Region. Acesso em: 27 jun. 2025.

PAIVA, Laíza Gomes de. **Parcelamento da adubação nitrogenada sobre o crescimento e produção de alho 'Branco Mossoró'**. 2019. 43 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019. Disponível em:

<https://ppgfito.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/45/2019/11/Disserta%C3%A7%C3%A3o-La%C3%ADza-Gomes-de-Paiva.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2025.

PASLEY, H. R. et al. Nitrogen fertilizer rate increases plant uptake and soil availability of essential nutrients in continuous maize production in Kenya and Zimbabwe. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 115, n. 3, p. 373-389, dez. 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-019-09995-1>. DOI: 10.1007/s10705-019-09995-1. Acesso em: 6 jul. 2025.

PEREIRA, D. de F. et al. Early garlic as an alternative for planting in low-altitude regions in the semi-arid region. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 85, n. 1, p. 1-8, jan./mar. 2025. DOI: 10.4067/S0718-58392025000100123. Disponível em: <https://oes.chileanjar.cl/files/CJAR240370-85-1-2025.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2025.

PEREIRA, Dalbert de Freitas. **Desempenho agrônômico e qualidade de cultivares de alho comum no oeste potiguar**. 2024. 81 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2024.

PEREIRA, M. A. M. et al. **Eficiência agrônômica e econômica da adubação nitrogenada na cultura do alho**. *African Journal of Agricultural Research*, v. 10, n. 37, p. 3650–3656, 2015. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text/9E6F46A55289>. Acesso em: 07 jul. 2025.

PINTO, C. M. F. et al. Avaliação agrônômica de cultivares de alho nobre. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, e02456, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/d78m6m7fFk6qYQf8F8v8b8h/>. Acesso em: 30 jun. 2025.

RESENDE, G. M.; CECÍLIO FILHO, A. B. Nutrição, calagem e adubação. In: SOUZA, R. J.; MACÊDO, F. S. (org.). **Cultura do alho: tecnologias modernas de produção**. Lavras: UFLA, 2009. p. 63-93. Acesso em: 6 abr. 2025.

RESENDE, J. T. V. et al. Caracterização morfológica, produtividade e rendimento comercial de cultivares de alho. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 31, p. 157-162, 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/957783/1/201331124.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2025.

ROCHA, D. F. **Influência da adubação orgânica e nitrogenada sobre o cultivo do alho**. 2022. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Instituto Federal de Minas Gerais, Campus São João Evangelista, São João Evangelista, 2022.

SANTOS, R. D. et al. Qualidade pós-colheita de alho submetido a diferentes níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, e0200234, 2021.

SEBNIE, W. et al. **Response of garlic (*Allium sativum* L.) to nitrogen and phosphorus under irrigation in Lasta district of Amhara Region, Ethiopia**. *Cogent Food & Agriculture*, v. 4, n. 1, p. 1532862, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23311932.2018.1532862>. Acesso em: 04 jul. 2025.

SILVA, A. C.; NASCIMENTO, I. R.; MENEZES, G. S. Avaliação de fontes e doses de

nitrogênio no desenvolvimento do alho. **Revista de Agricultura e Sustentabilidade**, v. 15, n. 2, p. 204–213, 2020. Acesso em: 30 jun. 2025.

SILVA, L. M. da; BERTI, M. P. da S. Manganês no solo e nas plantas: uma revisão. **Scientific Electronic Archives**, v. 15, n. 3, 28 fev. 2022. Disponível em: <https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/view/1512>. DOI: 10.36560/15320221512. Acesso em: 16 jul. 2025.

SOARES, A. M. et al. Avaliação de cultivares de alho no município de Governador Dix-sept Rosado-RN, Brasil. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 9, n. 4, p. 423-430, out./dez. 2015. Disponível em: <https://revista.ufrn.br/agroambiente/article/view/2553>. Acesso em: 27 jun. 2025.

SPADOTTO, C. A.; GOMES, M. A. F. **Perdas de nutrientes**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agricultura-e-meio-ambiente/qualidade/residuos/perdas-de-nutrientes>. Acesso em: 7 jul. 2025.

TAHA, N. M. et al. **An attempt to reduce nitrogen fertilization levels and their impact on the growth and productivity of garlic (*Allium sativum* L.) under different planting dates**. *Horticulturae*, v. 10, n. 12, p. 1377, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/10/12/1377>. Acesso em: 06 jul. 2025.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=C3f5DwAAQBAJ>. Acesso em: 30 jun. 2025.

TIWARI, Devesh et al. Effect of Different Doses of Nitrogen and Sulphur on Growth and Yield of Garlic. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, [S. l.], v. 8, n. 10, p. 187-194, 2019. DOI: 10.20546/ijcmas.2019.810.187. Acesso em: 6 jul. 2025.

TRANI, P. E. **Cultura do alho (*Allium sativum* L.): diagnóstico e recomendações para seu cultivo no Estado de São Paulo**. 2009. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/alho/index.htm. Acesso em: 16 jul. 2025.

TRANI, P. E. et al. Produtividade e pseudoperfilamento do alho influenciados pelo nitrogênio, potássio e cobertura morta. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 3, p. 330-334, jul./set. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/wrrcSSkf74z99VYSTwM6GKK/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 16 jul. 2025.

UNESP–FCAV (Jaboticabal). **Apostila de nutrição de plantas**. 2006. 106 f. Apostila. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

UNIVERSITY OF MINNESOTA EXTENSION. Garlic: Clove/bulb: Undersized or no bulb developed. 2023. Disponível em: <https://apps.extension.umn.edu/garden/diagnose/plant/vegetable/garlic/bulbdevelopment.html>. Acesso em: 13 jun. 2025.