



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

STÉFANY RAMOS SILVESTRIM ROMAGNOLLI

**FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO E MAGNÉSIO E SUAS
INTERAÇÕES EM DOIS GENÓTIPOS DE GRÃO-DE-BICO**

Londrina
2024

STÉFANY RAMOS SILVESTRIM ROMAGNOLLI

**FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO E MAGNÉSIO E SUAS
INTERAÇÕES EM DOIS GENÓTIPOS DE GRÃO-DE-BICO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Londrina – UEL, Programa de Pós-graduação em Agronomia, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (área de concentração em Ciência do Solo).

Orientador: Prof. Dr. Adonis Moreira

Londrina
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Romagnolli, Stéfany Ramos Silvestrim.

Fontes e doses de nitrogênio e magnésio e suas interações em dois genótipos de grão-de-bico / Stéfany Ramos Silvestrim Romagnolli. - Londrina, 2024. 66 f.

Orientador: Adonis Moreira.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2024. Inclui bibliografia.

1. Agricultura - Tese. 2. Ciência do solo - Tese. 3. Nutrição de plantas - Tese. 4. Fertilidade do solo - Tese. I. Moreira, Adonis. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 63

STÉFANY RAMOS SILVESTRIM ROMAGNOLLI

FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO E MAGNÉSIO E SUAS INTERAÇÕES EM DOIS GENÓTIPOS DE GRÃO-DE-BICO

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Londrina – UEL, Programa de Pós-graduação em Agronomia, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (área de concentração em Ciência do Solo).

BANCA EXAMINADORA

Prof. Orientador Dr. Adonis Moreira
Universidade Estadual de Londrina – UEL /
Embrapa Soja

Prof. Dr. Vagner do Nascimento
Universidade Estadual Paulista - UNESP

Prof. Dr. Thadeu Rodrigues de Melo
Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária
de Chapadão

Londrina, 29 de fevereiro de 2024

ROMAGNOLLI, Stéfany Ramos Silvestrim. **Fontes e doses de nitrogênio e magnésio e suas interações em dois genótipos de grão-de-bico**. 2024. Sessenta e seis (66) folhas. Projeto de Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina, 2024.

RESUMO

O grão-de-bico é uma leguminosa crucial globalmente, atrás apenas da soja em consumo. No Brasil, devido à falta de estirpes adaptadas, a pesquisa sobre adubação nitrogenada é essencial para melhorar a produtividade da cultura. Nesse sentido, foram realizados dois experimentos, sendo: i) avaliar a eficácia de diferentes fontes de nitrogênio (N) para a cultura do grão-de-bico e ii) avaliar a influência de combinações de doses de nitrogênio (N) e de magnésio (Mg) sobre a produção de grão-de-bico. O primeiro experimento foi realizado em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado e esquema fatorial 7×4, com 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos pelos seguintes fatores: a) fontes de N na dose de 300 mg kg⁻¹ de N - Controle, sulfato de amônio [(NH₄)₂SO₄ - 20% de N], ureia [(NH₂)₂CO - 45% de N], nitrato de amônio (NH₄NO₃ - 32% de N), nitrato de potássio (KNO₃ - 13% de N), nitrato de cálcio [Ca(NO₃)₂ - 14% de N] e nitrato de sódio (NaNO₃ - 15% de N); e b) duas cultivares de grão-de-bico - BRS Kalifa e BRS Aleppo. O segundo experimento foi realizado em condições de casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado e esquema fatorial 4×3, com 4 repetições e cultivar BRS Aleppo. Os tratamentos foram constituídos pelos seguintes fatores: a) quatro diferentes doses de N (fonte: ureia - 45% de N) - 0, 150, 300, 600 mg kg⁻¹; e b) três doses de Mg (fonte: MgCl₂) com aplicação no plantio - 0, 100 e 200 mg kg⁻¹. As variáveis analisadas foram o número de vagens, peso dos grãos, massa seca de parte aérea, nitrogênio nas folhas e nos grãos, SPAD, volume de raízes, peso de 100 sementes, massa seca total e teor de Mg foliar. Os dados foram analisados de acordo com sua natureza: dados qualitativos foram submetidos a ANOVA e teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$), enquanto dados quantitativos foram analisados por ANOVA, teste F para interação/efeito isolado de doses de nitrogênio ($P \leq 0,05$), ajustados por regressões polinomiais. Todas as análises foram realizadas com o software Sisvar. No primeiro estudo, a ureia se destacou na produção de grãos devido à sua rápida liberação de N. Houve variação entre as cultivares em relação ao índice SPAD e volume de raízes, e diferentes fontes de nitrogênio afetaram a produção de grãos de maneira distinta para cada cultivar. Além disso, foi observada uma correlação positiva entre peso dos grãos e concentração de N na folha. No segundo estudo, foi destacada a importância da dosagem adequada de N, com doses mais altas resultando em diminuição na produção de grãos e concentração de N nos grãos a partir de determinado limite. A interação entre N e Mg teve impacto significativo no peso dos grãos, enquanto doses mais altas de N influenciaram negativamente a concentração de Mg foliar. Ambos os estudos ressaltaram a importância do manejo adequado de N para otimizar a produção de grãos e o estado nutricional das plantas.

Palavras-chave: *Cicer arietinum* L. Leguminosa. Nutrientes. Sinergismo.

ROMAGNOLLI, Stéfany Ramos Silvestrim. **Sources and doses of nitrogen and magnesium and their interactions in two chickpea genotypes.** 2024. Sixty-six (66) sheets. Dissertation Project (Master's in Agronomy) – State University of Londrina (UEL), Londrina, 2024.

ABSTRACT

Chickpeas are a crucial legume globally, second only to soybeans in consumption. In Brazil, due to the lack of adapted strains, research on nitrogen fertilization is essential to improve crop productivity. In this sense, two experiments were carried out, namely: i) evaluating the effectiveness of different sources of nitrogen (N) for chickpea cultivation and ii) evaluating the influence of combinations of nitrogen (N) and magnesium doses (Mg) on chickpea production. The first experiment was carried out in a greenhouse, in a completely randomized design and a 7×4 factorial scheme, with 4 replications. The treatments consisted of the following factors: a) N sources at a dose of 300 mg kg⁻¹ N - Control, ammonium sulfate [(NH₄)₂SO₄ - 20% N], urea [(NH₂)₂CO - 45% of N], ammonium nitrate (NH₄NO₃ - 32% N), potassium nitrate (KNO₃ - 13% N), calcium nitrate [Ca(NO₃)₂ - 14% N] and sodium nitrate (NaNO₃ - 15% N); and b) two chickpea cultivars – BRS Kalifa and BRS Aleppo. The second experiment was carried out under greenhouse conditions, in a completely randomized design and a 4×3 factorial scheme, with 4 replications and cultivar BRS Aleppo. The treatments consisted of the following factors: a) four different doses of N (source: urea – 45% N) – 0, 150, 300, 600 mg kg⁻¹; and b) three doses of Mg (source: MgCl₂) applied at planting – 0, 100 and 200 mg kg⁻¹. The variables analyzed were the number of pods, grain weight, shoot dry mass, nitrogen in leaves and grains, SPAD, root volume, weight of 100 seeds, total dry mass and leaf Mg content. Data were analyzed according to their nature: qualitative data were subjected to ANOVA and Scott-Knott test ($P \leq 0,05$), while quantitative data were analyzed by ANOVA, F test for interaction/isolated effect of nitrogen doses ($P \leq 0,05$), adjusted by polynomial regressions. All analyzes were carried out using Sisvar software. In the first study, urea stood out in grain production due to its rapid release of N. There was variation between cultivars in relation to the SPAD index and root volume, and different N sources affected grain production differently for each cultivar. Furthermore, a positive correlation was observed between grain weight and N concentration in the leaf. In the second study, the importance of adequate N dosage was highlighted, with higher doses resulting in a decrease in grain production and N concentration in grains above a certain limit. The interaction between N and Mg had a significant impact on grain weight, while higher N doses negatively influenced leaf Mg concentration. Both studies highlighted the importance of adequate N management to optimize grain production and the nutritional status of plants.

Keywords: *Cicer arietinum* L. Legume plant. Nutrients. Synergism.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Participação por região global na produção de grão-de-bico.	14
Figura 2 – Principais países produtores de grão-de-bico (toneladas x produção)...	15
Figura 3 – Sementes de grão-de-bico dos tipos desi (esquerda) e kabuli (direita)..	18
Figura 4 – Estádios fenológicos do grão-de-bico (<i>Cicer arietinum</i> L) tipo kabuli	19
Figura 5 – Ciclo do nitrogênio	21
Figura 6 – Molécula de clorofila	27
Figura 7 – Área experimental	32
Figura 8 – Correlação ($P \leq 0,05$) das variáveis peso de grão (g por vaso) e nitrogênio foliar (g kg^{-1}) para as duas cultivares de grão-de-bico (BRS Kalifa e BRS Aleppo).....	44
Figura 9 – Efeito das doses de N para o peso de grãos em diferentes doses de Mg	54
Figura 10 – Efeito de diferentes doses de N (mg kg^{-1}) na concentração de N foliar (mg kg^{-1}).....	55
Figura 11 – Efeito de diferentes doses de N (mg kg^{-1}) na concentração de Mg foliar (mg kg^{-1}).....	56
Figura 12 – Efeito de diferentes doses de N (mg kg^{-1}) na concentração de N nos grãos (g kg^{-1}).....	57
Figura 13 – Correlação ($P \leq 0,05$) das variáveis N na folha (g kg^{-1}) e N nos grãos (g kg^{-1}) para a cultivar de grão-de-bico BRS Aleppo	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades químicas e físicas dos solos utilizados	33
Tabela 2 – Propriedades químicas e físicas do solo utilizado.....	38
Tabela 3 – Efeito de diferentes fontes de nitrogênio ⁽¹⁾ sobre componentes de produção ⁽²⁾ de duas cultivares de grão-de-bico.....	40
Tabela 4 – Propriedades químicas e físicas do solo utilizado.....	50
Tabela 5 – Efeito de diferentes combinações de doses de N e Mg sobre componentes de produção ⁽¹⁾ da cultivar de grão-de-bico BRS Aleppo.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ca	Cálcio
Ca(NO ₃) ₂	Nitrato de cálcio
CO ₂	Dióxido de carbono
Cu	Cobre
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
Fe	Ferro
K	Potássio
Kg	Quilograma
KNO ₃	Nitrato de potássio
Mg	Magnésio
Mg	Miligrama
MgCl ₂	Cloreto de magnésio
Mg-F	Magnésio nas folhas
Mo	Molibdênio
MSPA	Matéria Seca da Parte Aérea
MST	Massa seca total
N	Nitrogênio
N ₂	Dinitrogênio
NaNO ₃	Nitrato de sódio
(NH ₂) ₂ CO	Ureia
NH ₄ ⁺	Amônio
NH ₄ NO ₃	Nitrato de amônio
(NH ₄) ₂ SO ₄	Sulfato de amônio
NO	Óxido nítrico
N ₂ O	Óxido nitroso
NO ₂ ⁻	Dióxido de nitrogênio
NO ₃ ⁻	Nitrato
N-F	Nitrogênio nas folhas
N-G	Nitrogênio nos grãos
NV	Número de vagens
O ₂	Oxigênio

P	Fósforo
PG	Peso dos grãos
PS	Peso de 100 sementes
R	Estádio reprodutivo
S	Enxofre
SPAD	Soil Plant Analysis Development
UEL	Universidade Estadual de Londrina
V	Estádio vegetativo
VR	Volume de raízes
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1	IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO GRÃO-DE-BICO	14
2.2	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E CULTIVARES DE GRÃO-DE-BICO.....	16
2.3	DINÂMICA DO NITROGÊNIO E ADUBAÇÃO NITROGENADA	20
2.3.1	Fontes de nitrogênio.....	24
2.4	IMPORTÂNCIA DO MAGNÉSIO.....	26
2.5	RELAÇÃO NITROGÊNIO E MAGNÉSIO	28
3	HIPÓTESES.....	30
4	OBJETIVOS.....	31
5	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
6	EXPERIMENTO A: FONTES DE NITROGÊNIO NO CULTIVO DE DUAS CULTIVARES DO GRÃO-DE-BICO	35
6.1	RESUMO.....	35
6.2	ABSTRACT	35
6.3	INTRODUÇÃO.....	36
6.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	37
6.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
6.6	CONCLUSÕES	46
7	EXPERIMENTO B: INTERAÇÃO NITROGÊNIO E MAGNÉSIO NOS COMPONENTES DE PRODUÇÃO E ESTADO NUTRICIONAL DO GRÃO- DE-BICO	47
7.1	RESUMO.....	47
7.2	ABSTRACT	47
7.3	INTRODUÇÃO.....	48
7.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	49
7.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
7.6	CONCLUSÕES	58

REFERÊNCIAS.....	60
------------------	----

1 INTRODUÇÃO

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) é uma das mais importantes leguminosas cultivadas no mundo, estando seu consumo atrás apenas da cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill). A hortaliça é considerada uma fonte de alimento com elevado valor nutricional, sendo seu cultivo indicado principalmente para regiões semiáridas tropicais, devido a sua relativamente baixa demanda hídrica.

Apesar do potencial de expansão de cultivo de grão-de-bico no Brasil, o país ainda importa quase a totalidade do grão-de-bico, não apresentando uma tradição de cultivo comercial dessa hortaliça. Nesse sentido, tecnologias de produção e manejo podem ser estudadas com a finalidade de estimular novas áreas produtivas e aumentar a produtividade para as condições edafoclimáticas do Brasil.

Para isso, torna-se necessário atingir o maior potencial de desenvolvimento possível das culturas, o que depende de vários fatores, dentre eles, a disponibilidade de nutrientes em quantidade e em equilíbrio, uma vez que a deficiência e/ou excesso de um elemento pode inibir a ação dos demais, causando uma redução na produção.

Nesse cenário, o nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade pelas plantas por estar associado a diversos procesos metabólicos vitais para seu desenvolvimento. Portanto, a presença de teores adequados desse nutriente por meio da adubação é indispensável para o desenvolvimento rentável das culturas.

Atualmente, o mercado disponibiliza várias tecnologias de produtos nitrogenados, que possuem fontes amídicas (NH^2), amoniacais (NH^4+) ou nítricas (NO^{3-}), que buscam aprimorar a absorção e diminuir as perdas de N no sistema, influenciando diretamente nos custos de produção.

Entretanto, há uma escassez das informações no que diz respeito à fonte nitrogranada mais adequada para a adubação no grão-de-bico. Ainda, o N possui ciclo metabólico semelhante ao do magnésio (Mg), sendo ambos os nutrientes essenciais para os organismos vivos, além de apresentar uma relação de sinergismo entre si.

No ciclo do nitrogênio, o elemento é fixado por bactérias do solo e posteriormente utilizado pelas plantas na síntese de proteínas e outras moléculas importantes. Da mesma forma, o magnésio é absorvido pelas plantas a partir do solo

e é essencial para processos como fotossíntese e formação de clorofila. Entretanto, mesmo que não haja limitação no suprimento de Mg, a aplicação de doses elevadas de N, pode resultar em queda da produtividade, devido ao desequilíbrio nas relações N e Mg.

Dessa forma, este trabalho foi dividido em duas partes: a primeira, busca avaliar diferentes fontes de N visando uma medida de manejo mais eficiente. A segunda, diante da necessidade de esclarecimentos científicos em relação à interação do N e Mg, tem como objetivo avaliar a influência de combinações de doses de N e de Mg sobre a produção de grão-de-bico.

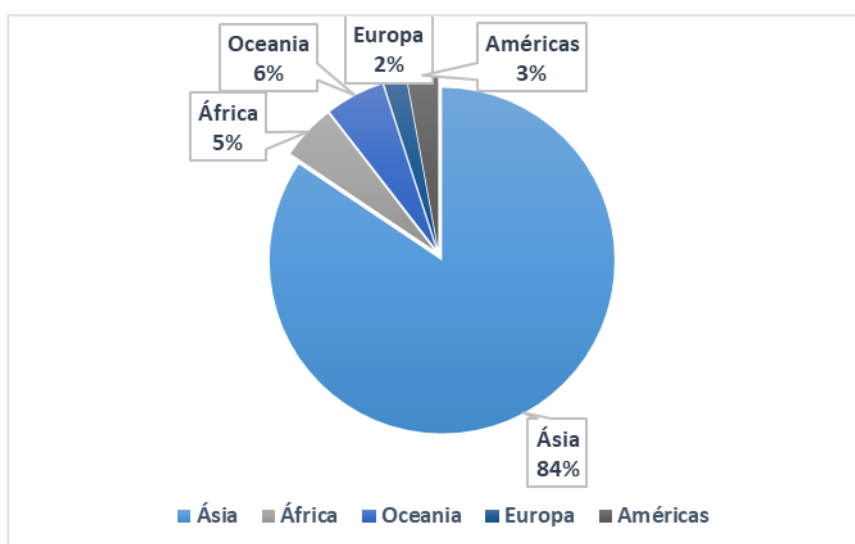
2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO GRÃO-DE-BICO

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) é uma leguminosa de importância mundial que possui centro de origem no sudeste da Turquia. A difusão para a Europa e Índia ocorreu por meio da migração humana, estimulada a partir do surgimento da rota da seda (SOUZA, 2019). De acordo com Nascimento et al. (2016), a cultura é uma das mais importantes cultivadas mundialmente, sendo a segunda mais consumida, estando atrás somente da soja. Sua introdução no Brasil foi feita por imigrantes espanhóis e do Oriente Médio, concentrando os plantios principalmente nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (NASCIMENTO et al., 2016).

Segundo a FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021), o grão-de-bico é cultivado em aproximadamente 58 países, com produção em torno de 15,8 milhões de toneladas e área cultivada de 15 milhões de hectares. Cerca de 84,4% de sua produção e seu consumo estão concentrados na região da Ásia (Figura 1).

Figura 1 – Participação por região global na produção de grão-de-bico.

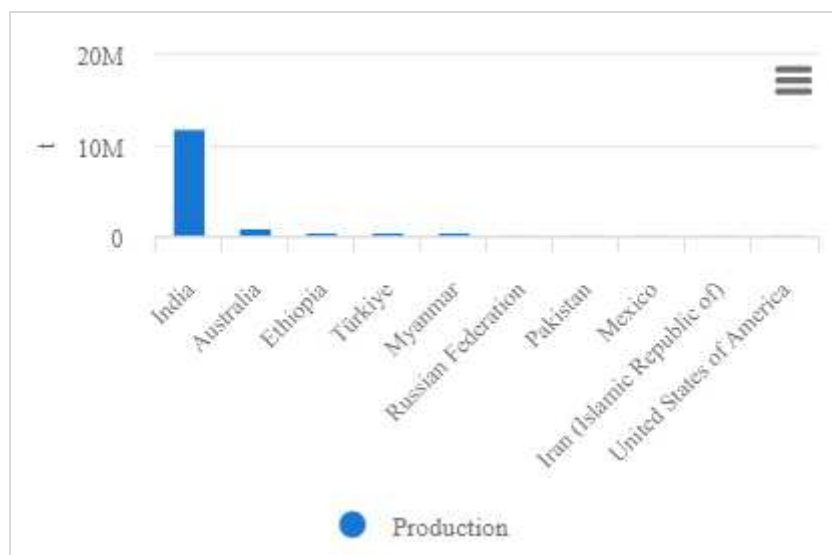


Fonte: Adaptado de FAO (2021).

O principal país produtor é a Índia, seguida da Austrália, Etiópia, Turquia, Myanmar, Rússia, Paquistão, México, Irã e Estados Unidos da América

(FAO, 2021) (Figura 2).

Figura 2 – Principais países produtores de grão-de-bico (toneladas x produção).



Fonte: Adaptado de FAO (2021).

Nesse contexto, a cultura do grão-de-bico e seus derivados surgem como matéria-prima de uso potencial na produção de alimentos. Os grãos podem ser consumidos de sua forma natural verdes, ou secos e fritos na incorporação da alimentação humana. Também podem ser moídos e utilizados para a confecção de farinhas, sopas, pastas e pães. Seus brotos são comumente aplicados no uso em saladas e as forragens são fornecidas para a alimentação animal (NASCIMENTO et al., 2016). Os são comumente utilizados como cultura de subsistência nos países produtores e consumidos na forma de farinha e grãos partidos (GRAINS RESERACH & DEVELOPMENT CORPORATION, 2018).

A demanda pelo consumo dos grãos vêm aumentando no Brasil pelo fato desses apresentarem um teor elevado de proteínas (entre 25,3% e 28,9%), uma composição balanceada de aminoácidos e nutrientes (NASCIMENTO et al., 2016). Além disso, os grãos são importante fonte de fibras, carboidratos, vitaminas e minerais, sendo formado por compostos fitoquímicos, como carotenoides, fenólicos e isoflavonas (FERNANDES et al., 2022).

No Brasil, a produção é voltada para o uso na alimentação humana em sua forma seca, ou por meio da industrialização para o fornecimento em forragens. A cultura do grão-de-bico ainda é pouco difundida no país e não existe

tradição em produzir essa hortaliça para fins comerciais. Para atender a demanda interna, grande parte do grão-de-bico precisa ser importado de países como a Argentina e o México, o que encarece significativamente os custos do produto (FERNANDES et al., 2022). Apesar da cultura ainda ser pouca difundida no país, nos últimos anos houve um aumento considerável no volume das importações, principalmente devido ao seu elevado valor nutritivo (PARAÍSO, 2019).

Todavia, a situação tende a uma mudança de cenário, visto que o país conta com a introdução de variedades adaptadas ao Cerrado brasileiro, que possuem um potencial de elevar a produtividade e aumentar as áreas cultivadas, aliadas ao uso de tecnologias de produção (HOSKEM et al., 2017; NASCIMENTO et al., 2017; AVELAR et al., 2018). Estudos realizados no cultivo de sequeiro de grão-de-bico indicaram alguns acessos como uma excelente opção de cultivo (ARTIAGA et al., 2015).

2.2 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E CULTIVARES DE GRÃO-DE-BICO

O grão-de-bico cultivado é pertencente à família Fabaceae, caracterizada pela presença de frutos na forma de vagem, subfamília Papilionoideae. Possui flores papilionáceas hermafroditas com polinização realizada antes da abertura das flores (cleistogamia) possibilitam a autogamia (mínimo de 95% de autopolinizações naturais). É uma espécie que pode ser cultivada em uma vasta variedade de climas, desde o sub-tropical até ao árido e semi-árido das regiões mediterrânicas (NASCIMENTO et al., 2016).

A leguminosa apresenta boa adaptação em regiões de clima seco e ameno, devido sua elevada tolerância ao déficit hídrico e características favoráveis de alta rusticidade, como baixa incidência de pragas e doenças, além de sua resistência natural ao acamamento. Suas flores são originadas a partir dos racemos axilares dos pedicelos ou pedúnculos e geralmente possuem apenas um carpelo por flor (SOUZA, 2019).

A cor das flores é um fator que contribuem para diferenciação entre os grupos de grão-de-bico, podendo ser de cor púrpura ou brancas. As folhas de suas plantas são alternas, imparipinadas, compostas por cerca de 9 a 19 folíolos alternados, obtusos e sésseis (NASCIMENTO, 2016).

O ciclo do grão-de-bico é anual, seu hábito é caracterizado como

herbáceo e a altura de suas plantas varia entre 30 cm a 100 cm (GHRIBI et al., 2015). A planta possui hábito de crescimento indeterminado, caracterizado pela continuação do crescimento vegetativo após o início do florescimento (SOUZA, 2019). As superfícies externas da planta (hastes, vagens, folhas), com exceção da corola, são cobertas por tricomas. Essas superfícies vegetativas secretam uma mistura de ácidos (málico, oxálico e cítrico), que atuam como um mecanismo de defesa na proteção da planta contra pragas como: ácaros, pulgões e brocas (SAJJA et al., 2017).

Suas vagens são infladas, podendo ser classificadas conforme o tamanho em pequena, média e grande. Suas hastes apresentam ramificações primárias, secundárias e terciárias. Cada vagem possui 1 ou 2 sementes, com baixa deiscência e germinação hipógea. As sementes, por sua vez, podem apresentar formato arredondado, angula ou cilíndrico (NASCIMENTO, 2016; SOUZA, 2019).

Ocasionalmente em solos profundos e bem estruturados, as raízes podem penetrar por mais de 1 m de profundidade. A associação simbiótica das raízes secundárias com bactérias nitrificantes permite a fixação do nitrogênio atmosférico e o atingimento de mais de 70% das necessidades de nitrogênio das plantas do grão-de-bico (GRAINS RESEARCH & DEVELOPMENT CORPORATION, 2018).

Baseados na inclinação das hastes, são definidos cinco hábitos de crescimento para o grão-de-bico, sendo eles: ereto, semi-ereto, semi-inclinado, inclinado e prostrado. Para as colheitas mecanizadas, são adotados com maior frequência os tipos eretos e semi-eretos. No caso da presença de áreas com baixos níveis de precipitação de chuvas e alta evapotranspiração, os tipos semi-prostrados e prostrados são os mais indicados (NASCIMENTO, 2016).

São encontrados dois principais grupos distintos de grão-de-bico. O tipo desi é o mais cultivado no mundo e caracteriza-se pela presença de sementes pequenas (cerca de 0,2 g), angulares, rugosas, de cores variando nas tonalidades entre marrom, amarelo, verde e preto, protegidas por um espesso tegumento. As flores são da cor púrpura e o consumo industrial é principalmente voltado para a forma de farinhas e grãos partidos. As plantas são pequenas, prostradas e a maioria delas contem antocianina nas hastes, flores de cor púrpura e folíolos pequenos (NASCIMENTO, 2016).

Já o tipo kabuli é caracterizado por constituir flores brancas, e suas

sementes possuem cor bege ou branca, tegumento fino e liso. Quando comparada com o tipo desi, o kabuli possui sementes maiores cerca de (0,3-0,5 g ou mais), valores mais elevados de sacarose e níveis mais baixos de fibra (NASCIMENTO, 2016) (Figura 3). As plantas são de tamanho médio, com ausência de antocianina (mancha púrpura) nas hastes e folíolos grandes.

Figura 3 – Sementes de grão-de-bico dos tipos desi (esquerda) e kabuli (direita).



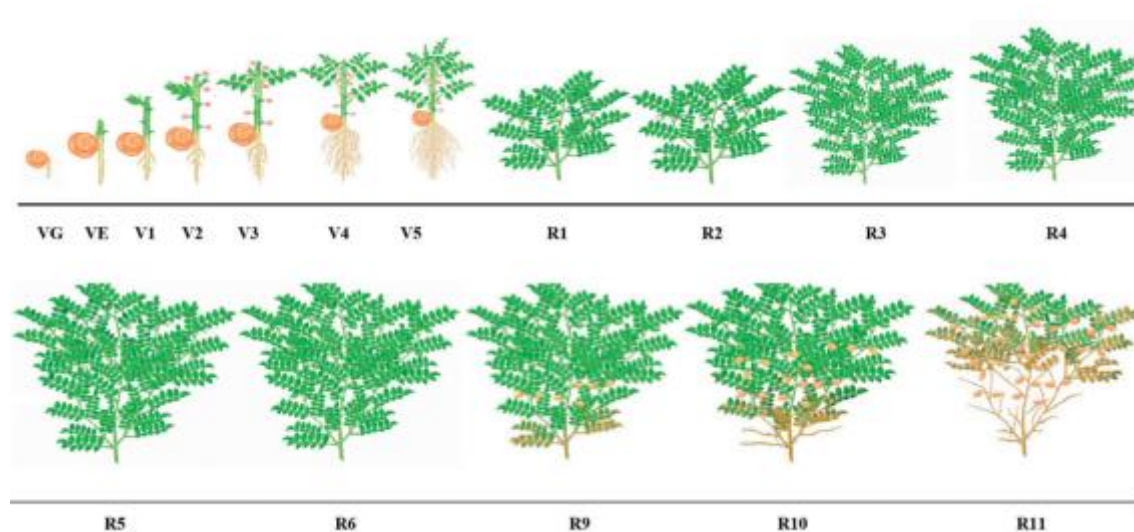
Fonte: De Carvalho et al. (2021).

Do total da produção mundial, os tipos desi e kabuli representam cerca de 80% e 20%, respectivamente. O tipo kabuli é cultivado na região do Mediterrâneo, incluindo o Sul da Europa, Asia Ocidental e Norte da África, e o tipo desi é cultivado principalmente na Etiópia e na Índia. No Brasil, a totalidade dos grãos comercializados e consumidos pertencem ao tipo kabuli (SINGH et al., 2014).

De acordo com De Carvalho et al. (2021), na escala fenológica estabelecida para o grão-de-bico, foram identificadas oito fases vegetativas (VG, VE, V1, V2, V3, V4, V5, Vn) e onze fases reprodutivas (R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11) (Figura 4). As fases dos estádios vegetativos (V) compreendem desde a germinação das sementes, emergência de plântulas, até o surgimento de folhas nos nós do ramo principal e de ramos novos.

O tempo decorrente de cada uma das fases de desenvolvimento das plântulas é variável e está diretamente condicionado ao tipo de cultivar, às condições físicas do solo, condições ambientais e, principalmente, às condições de umidade encontradas no solo. Já os estádios reprodutivos (R), possuem o início a partir do florescimento da planta, sucedido pelas fases de pleno florescimento, frutificação, produção de sementes, maturação e senescência da planta (DE CARVALHO et al., 2021).

Figura 4 – Estádios fenológicos do grão-de-bico (*Cicer arietinum* L) tipo kabuli.



Fonte: De Carvalho et al. (2021).

No estágio R11, em torno de 60 a 80 dias após a floração, dependendo da época de semeadura e da cultivar, cerca de 90% das vagens estão fisiologicamente maduras e apresentam coloração amarelo dourado claro. Nessa fase, a colheita mecanizada deve ser realizada quando as plantas estiverem secas e as sementes completamente maduras. Para evitar danos às sementes, o armazenamento deve ser feito quando o grau de umidade atingir aproximadamente 13% (NASCIMENTO et al., 2016).

O estágio de maturação das sementes influencia a qualidade fisiológica logo após a colheita e o potencial de armazenamento. Geralmente, sementes de grão-de-bico colhidas de vagens com coloração externa amarela, amarelodourado e marrom atingem a maturação fisiológica e apresentam maior germinação e vigor. Nestas sementes, a germinação é mantida até três meses de armazenamento, decrescendo aos seis meses. Já sementes colhidas antes da maturidade fisiológica, obtidas de vagens verdes e verde amarelas apresentam menor qualidade fisiológica em todos os períodos de armazenamento (0, 3 e 6 meses) (TRANCOSO, 2018).

Dentre as cultivares comerciais de grão-de-bico, a BRS Aleppo, que faz parte do grupo kabuli, é indicada para cultivo nas regiões de Goiás e Distrito Federal. Essa cultivar tem se destacado por possuir uma boa adaptação à região central do Brasil e também por apresentar elevados níveis de tolerância a um complexo de fungos de solo. Na indústria de alimentos, a BRS Aleppo apresenta

potencial para ser utilizado tanto na indústria de conservas quanto para consumo do grão seco (NASCIMENTO et al., 2014).

Outra cultivar importante do tipo kabuli que vem tendo destaque no desenvolvimento nas condições edafoclimáticas encontradas no Brasil, é a BRS Kalifa, uma cultivar de polinização aberta, que, por sua vez, possui efeito supressivo sobre pequenas largartas. É indicada para o plantio no Planalto Central e apresenta uma maior estabilidade, sendo indicada para o cultivo tanto na estação seca como irrigada. Possui maior precocidade, sendo desta forma, indicada para o plantio em safrinha (sequeiro). Apresenta arquitetura semi-ereta, vagens infladas com uma a duas sementes por vagem, sementes de cor creme, em formato angular com tamanho entre 7 mm e 9 mm (NASCIMENTO et al., 2022).

Ainda de acordo com Nascimento et al. (2022), a cultivar de grão-de-bico BRS Kalifa apresenta tolerância a patógenos do solo, como o nematoide-das-galhas (*Meloidogyne javanica*). Além disso, reduz os níveis populacionais do nematoide-do-cisto-da-soja (*Heterodera glycines*) raça 5, características essas inovadoras e vantajosas quando comparada com as cultivares de grão-de-bico já existentes no mercado brasileiro (NASCIMENTO et al., 2022).

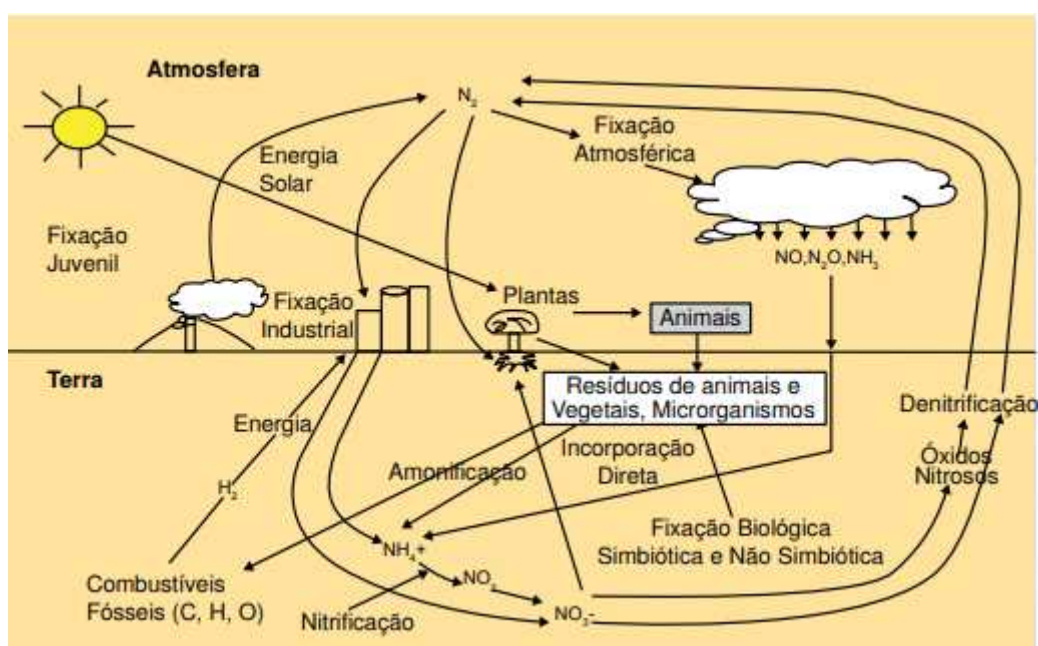
2.3 DINÂMICA DO NITROGÊNIO E ADUBAÇÃO NITROGENADA

O nitrogênio (N) é um componente importante dos ácidos nucléicos, proteínas, coenzimas, fitohormônios e metabolitos secundários. Dessa forma, por fazer parte da composição de diversas moléculas fundamentais para os processos biológicos, é o nutriente requerido em maior quantidade pelas plantas (HUNGRIA et al., 2007).

O nitrogênio está distribuído nas rochas, no fundo dos oceanos e nos sedimentos, sendo na atmosfera, disponibilizado como gás N_2 , na concentração de 78%. Apesar de sua abundância, o nitrogênio é o nutriente mais limitante ao crescimento das plantas, por conta da ligação tripla entre os átomos de nitrogênio ($N\equiv N$), o que torna a molécula quase inerte. Dessa forma, para que o N_2 possa ser absorvido pelas culturas agrícolas, é necessária sua fixação através de processos bioquímicos ou físicos que envolvem um grande gasto de energia (VIEIRA, 2017).

Esses processos que garantem a fixação do nitrogênio no solo compreendem reações de redução ou oxidação por microrganismos especializados, o que comumente é conhecido como fixação simbiótica e não simbiótica, mas também pode ocorrer por descargas elétricas no solo ou fixação via processos químicos industriais (Figura 5). No solo, 95% do N encontra-se na forma orgânica, porém para ser absorvido pelas plantas, é necessário que seja convertido em formas inorgânicas minerais (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) pelo processo de mineralização (VILLAR, 2007).

Figura 5 – Ciclo do nitrogênio.



Fonte: Gomes et al. (2000).

A mineralização, por sua vez, é dividida entre as etapas de aminação, amonificação e nitrificação. Na aminação, a matéria orgânica do solo (MOS) passa por uma quebra por microrganismos decompositores, culminando na liberação de aminas e aminoácidos no solo. Os compostos resultantes podem ser absorvidos diretamente ou serem mineralizados para a forma amoniacal [NH_3 , amônia (forma gasosa); NH_4^+ , amônio] pelo processo de amonificação. No solo, a amônia reage rapidamente com a água para formar íons amônio. Sob condições de pH elevado a amônia predomina e pode ser perdida para a atmosfera (MARINHO, 2021).

Já na etapa de nitrificação, o NH_4^+ é convertido para NO_2^- por bactérias quimioautotróficas aeróbicas do gênero *Nitrosomonas* e *Nitrosococcus*, e

logo após, na etapa nitratação, o NO_2^- sofre o processo de oxidação para NO_3^- por bactérias quimioautotróficas aeróbicas do gênero *Nitrobacter*. Para que isso ocorra, os microrganismos quimioautotróficos obtêm o C do CO_2 e a energia da oxidação química para a síntese de seus constituintes celulares. Com isso, o NH_4^+ é utilizado como doador de elétrons e o O_2 como acceptor de elétrons. (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O nitrogênio produzido na forma de NO_3^- , pode ser assimilado pelas plantas, mas também pode haver a imobilização desse composto por microrganismos, ou até mesmo sua perda pelos processos de lixiviação ou desnitrificação. A imobilização, por sua vez, consiste na conversão do nitrogênio em sua forma mineralizado de volta para a forma orgânica, tornando-o indisponível para a absorção pelas plantas, principalmente pelo desequilíbrio na proporção entre C:N (VIEIRA, 2017).

Já o processo de desnitrificação se dá a partir da respiração anaeróbica de microrganismos heterotróficos, resultando na redução de NO_2^- ou NO_3^- a N_2 , NO e N_2O . A desnitrificação ocorre pela ausência de O_2 , consumindo prótons e causando a alcalinização do solo. O processo de volatilização, por sua vez, ocorre em condições aeróbicas e alcalinas, a partir de uma reação química que resulta na perda de N na forma gasosa (normalmente na forma de amônia ou amônio). Alguns fatores exercem influência direta sobre a volatilização, entre eles os teores de pH, CTC, textura, temperatura, umidade do solo, entre outros (MENDONÇA; LOURES, 1996).

Já a lixiviação compreende na perda de NO_3^- , que grande em parte ocorre pela sua elevada mobilidade no perfil do solo. Isso ocorre pois esse composto possui carga negativa, assim como a maior parte dos solos tropicais, ficando assim, pouco retido na CTC do solo, sendo perdido facilmente na percolação de água em solos com boa capacidade de drenagem. No caso do NH_4^+ , por ser um composto de carga positiva, fica retido à superfície coloidal junto às cargas negativas (CTC), sendo dificilmente perdido na solução do solo, por possuir menor mobilidade (VIEIRA, 2017).

Dessa forma, para manter bons níveis de nitrogênio no solo, é necessário compreender esses processos e mitigar a possibilidade de perdas, almejando sempre alcançar o máximo nível de eficiência agrônômica para as culturas agrícolas. Portanto, conclui-se que a presença de teores adequados de

nitrogênio para as plantas é indispensável para o desenvolvimento das culturas, estando diretamente aliada a uma elevada rentabilidade. Em contrapartida, a baixa disponibilidade do N no solo pode, em muitos casos, limitar a produtividade das culturas (TAIZ et al., 2017).

Nesse contexto, faz-se necessário a tomada de medidas que visem o uso adequado do N, garantindo a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, por meio da adoção de manejos que reduzam suas perdas por volatilização e lixiviação no solo (ALMEIDA NETA, 2021). A matéria orgânica do solo (MOS) é a principal fonte de N para as plantas, mas essa não supre a necessidade demandada pelos cultivos agrícolas devido o aumento das produtividades atualmente (RAIJ, 2011).

Dessa forma, torna-se necessária a complementação dos adubos com o emprego de fertilizantes minerais. A produção de fertilizantes nitrogenados permitiu um aumento da produtividade e conseqüentemente, que o número de pessoas alimentadas aumentasse, mas também, associada à revolução verde, permitiu que a população mundial ultrapassasse, em 2012, a marca de 7 bilhões de habitantes. Sem a fixação industrial de N, seria necessário um aumento de 225% no espaço destinado ao cultivo agrícola para atender uma população estimada de 9,2 bilhões em 2050 (DAWSON; HILTON, 2011).

No caso da adubação nitrogenada no grão-de-bico, em países asiáticos como a Índia, a técnica ainda é pouco abordada ou até inexistente em muitas regiões de cultivo. Isso se dá pois culturalmente, não acredita-se na necessidade de reposição nutricional via solo, comprometendo assim, o potencial de produtividade da região (RANI & KRISHNA, 2016).

Estudos acerca do assunto evidenciam as vantagens de utilização da adubação nitrogenada no desenvolvimento da cultura do grão-de-bico e o aumento de sua produtividade. Pal et al. (2019) concluíam que com a aplicação de N foliar na forma de ureia foi possível verificar maiores teores de proteínas na leguminosa, contribuindo para o aumento da fotossíntese e crescimento das plantas.

No Brasil, estudos salientam que o uso da adubação nitrogenada no grão-de-bico estão diretamente relacionados com o aumento da garantia de produtividade. Hoskem et al. (2017), ao aplicar 600 kg ha⁻¹ do formulado 4-30-16, com cultivo irrigado do grão-de-bico no Norte de Minas Gerais, obtiveram a produtividade de 2,5 t ha⁻¹. Fonseca et al. (2020) obtiveram o rendimento médio de 2.558 kg ha⁻¹ após a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia.

Esses autores também concluíram que, se fornecidos em quantidades adequadas, os fertilizantes químicos são benéficos não apenas para as plantas e o solo, mas também para as populações microbianas nativas. Maleki et al. (2014) desenvolveram um estudo no Irã com a aplicação de N a doses de 0, 75 e 150 kg ha⁻¹. Seus resultados demonstraram que houve uma maior absorção de macronutrientes como N, P, K, Fe, além de micronutrientes como Zn e Mn na dose de 150 kg ha⁻¹ N aplicada.

O grão-de-bico desempenha papel importante na manutenção da fertilidade do solo principalmente em terras secas, pela fixação do N atmosférico. As plantas do grão-de-bico são capazes de fixar o N atmosférico através da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* (SOUZA, 2019). A quantidade de N fixada pela cultura por meio dessa simbiose é estimada em uma faixa muito ampla, variando de 1 g ha⁻¹ a 141 kg ha⁻¹. Isso se dá em decorrência das variações e solo, temperatura, umidade, qualidade das bactérias e a relação de compatibilidade dessas com as plantas (NASCIMENTO, 2016).

Ao avaliar a inoculação de *Rhizobium* sp. em sementes de grão-de-bico na forma de turfa e cinco doses de N (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de N), Demirbas et al. (2018) constataram que houve aumento de produção de parte aérea seca (15,9 g por planta) na dose de 120 kg ha⁻¹ de N em simbiose com *Rhizobium* sp. Além disso, houve um acréscimo na absorção de N, P, K, Ca e Fe com o incremento de doses de N e inoculação.

2.3.1 Fontes de nitrogênio

Atualmente o mercado dispõe de diversas tecnologias de produtos nitrogenados, que possuem fontes amídicas e amoniacais. A escolha na utilização de diferentes fontes de N visa a maior compatibilidade com a cultura trabalhada, além de buscar aprimorar a absorção e diminuir as perdas de nitrogênio no sistema, impactando diretamente nos custos de produção (RODRIGUES et al., 2018).

O fertilizante nitrogenado mais utilizado na agricultura é a ureia [(NH₂)₂CO], concebida pela reação do CO₂ com a amônia anidra. O elevado consumo desse fertilizante explica-se pela alta sua concentração de N, cerca de 45% na forma amídica, o que gera um vantajoso custo benefício (VIEIRA, 2017). Além disso, sua utilização apresenta é viável pelo fato da ureia apresentar alta

solubilidade, menor corrosividade e compatibilidade com muitos fertilizantes e defensivos e pela boa assimilação dos produtos de sua hidrólise (CANTARELLA, 2007).

Apesar de a amida ser um composto orgânico, a ureia é considerada como fertilizante natural, de acordo com a Lei nº 6.894 de 16/12/1980, por ser obtido de forma sintética e por ser rapidamente solubilizada (VIEIRA, 2017). Apesar dos benefícios, o uso da ureia apresenta algumas desvantagens, como a possibilidade de perdas de N por volatilização de NH_3 , fitotoxidez de biureto e perdas por lixiviação (CANTARELLA, 2008).

Estima-se que entre os anos de 2001 a 2010, o uso global de ureia cresceu a uma taxa de 3,8 % ao ano. A maior parte das fábricas que produzem esse fertilizante está concentrada na China. A produção de ureia neste país triplicou entre as décadas de 1989 para 1999, e hoje é responsável por, aproximadamente, um terço do consumo mundial de fertilizantes nitrogenados sintéticos (HEFFER, P.; PRUD'HOMME, 2013).

A segunda fonte de fertilizante nitrogenado mais utilizada no Brasil é o sulfato de amônio $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$, que contém cerca de 20% de N em sua composição. Além do elevado teor de N, esse composto é uma importante fonte de enxofre (cerca de 23%). Contudo, seu elevado custo de produção por unidade de N e a sua baixa disponibilidade na forma granulada fazem com que a sua utilização na agricultura não apresente uma maior evolução em sua comercialização (CANTARELLA, 2007).

O nitrato de amônio $[\text{NH}_4\text{NO}_3]$ é o terceiro fertilizante nitrogenado mais utilizado e é constituído de 50 % N-nítrico e 50% N-amoniacoal. Esse fertilizante apresenta em sua composição cerca de 32% de concentração de N e é altamente solúvel em água, proporcionando um suprimento imediato de nitrogênio quando necessária a sua absorção, por estar disponível na solução do solo. Em sua forma nítrica, pode ser absorvido pelas plantas na forma de ânions nitrato (NO_3^-). A absorção desses ânions nitrato pode levar à acidificação do solo, o que é benéfico em solos alcalinos, ajudando a reduzir o pH e melhorar a disponibilidade de outros nutrientes para as plantas (VIEIRA, 2017).

O nitrato de potássio (KNO_3) é um importante fertilizante utilizado na adubação potássica, mas que também possui uma concentração significativa de N (aproximadamente 13%). Estudos como de Malta, Nogueira & Guimarães (2003)

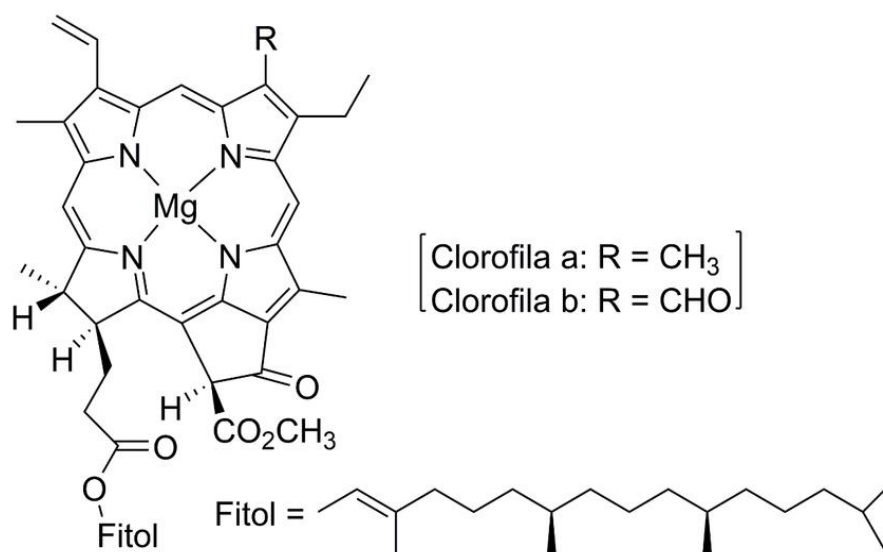
avaliaram a aplicação dessa fonte nitrogenada na cultura do café indicando bom potencial de uso.

O nitrato de cálcio $[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2]$ é um fertilizante utilizado na agricultura, principalmente para o suprimento de cálcio para culturas, promovendo um importante papel na formação da parede celular das plantas, na regulação do transporte de nutrientes e na prevenção de distúrbios fisiológicos. Por apresentar cerca de 14% de N em sua concentração, seu uso vem sendo cada vez mais associado à adubação nitrogenada nas culturas agrícolas. Alguns estudos vêm sendo realizados no Brasil, como no caso de Cardoso & Hiraki (2001), onde objetivou-se avaliar o uso do nitrato de cálcio como fonte nitrogenada para a cultura do rabanete.

O nitrato de sódio (NaNO_3), ou também conhecido como salitre do Chile ou salitre do deserto, é uma fonte solúvel de nitrogênio e sódio para as plantas e possui em sua composição aproximadamente 15% de N. É utilizado como fonte nitrogenada na adubação de culturas agrícolas, fornecendo nutrientes essenciais que são vitais para o crescimento e desenvolvimento saudável das culturas (MARSCHNER, 2012). No entanto, empregar essa fonte como fertilizante pode resultar em toxicidade para as plantas se aplicada em quantidades excessivas, assim como contribuir para a acidificação e salinização do solo (KAUR et al., 2013).

2.4 IMPORTÂNCIA DO MAGNÉSIO

O magnésio desempenha um papel crucial na fotossíntese devido à sua presença central na estrutura da clorofila (Figura 6), o pigmento responsável por captar a luz solar e iniciar a conversão de energia luminosa em energia química. A molécula de clorofila possui um átomo de magnésio no seu núcleo, que é fundamental para sua capacidade de absorver fótons de luz e iniciar as reações fotoquímicas. Dessa maneira, o papel primordial desempenhado pelo magnésio na clorofila envolve a conexão da molécula à proteína da clorofila, resultando na estabilização da estrutura clorofiliana e habilitando-a a capturar eficazmente a energia da luz solar (LICHTENTHALER, 1987).

Figura 6 – Molécula de clorofila.

Fonte: Alves et al. (2020).

Além disso, o magnésio é essencial para a formação do ATP (adenosina trifosfato), a principal molécula de transporte de energia nas células. A fotossíntese requer uma quantidade significativa de energia, que é armazenada nas ligações de fosfato do ATP. Conforme Taiz e Zeiger (2014), o magnésio é um componente crítico na estrutura do ATP, estabilizando as ligações de fosfato e permitindo que a molécula armazene e libere energia de maneira eficaz.

O magnésio está envolvido na regulação da abertura e fechamento dos estômatos, influenciando diretamente a quantidade de água que é liberada para a atmosfera por meio da transpiração. Conforme destacado por Marschner (2012), o magnésio atua como um cofator nas bombas de prótons da membrana plasmática das células-guarda, que são responsáveis pelo influxo de íons potássio (K⁺) nas células-guarda e pela osmorregulação que controla a abertura e fechamento dos estômatos.

Além disso, o magnésio também desempenha um papel na absorção de nutrientes pelas plantas. Epstein e Bloom (2006) afirmam que o magnésio é necessário para a absorção de outros nutrientes e a sua deficiência pode afetar a capacidade das plantas de absorver eficientemente nutrientes essenciais para o metabolismo das plantas, como no caso do fósforo.

2.5 RELAÇÃO NITROGÊNIO E MAGNÉSIO

O nitrogênio (N) possui ciclo metabólico semelhante ao do magnésio (Mg), de forma a apresentar uma relação sinérgica com esse elemento. Entretanto, mesmo que não haja limitação no suprimento de Mg, a aplicação de doses elevadas de N, pode resultar em queda da produtividade, devido ao desequilíbrio nas relações N e Mg (BONFIM-SILVA & MONTEIRO, 2010).

Segundo Marenco e Lopes (2007), existe uma alta correlação entre os pigmentos fotossintéticos e as concentrações de N e Mg foliar, sendo essa relação atribuída também ao fato de que 50 a 70% do N total das folhas serem integrantes de enzimas que estão associadas aos cloroplastos, e o magnésio ser um ativador enzimático destas. Baixas concentrações desses nutrientes nas lâminas foliares, podem ser referentes ao tipo de solo ou substrato em que a cultura está implementada (SANTOS et al., 2016).

Alguns estudos, como de Correa (1996), evidenciaram em gramíneas forrageiras, que a concentração de magnésio nas folhas novas, nas folhas velhas e nos colmos mais bainhas foi afetada tanto pelas doses de nitrogênio como pelas de magnésio na solução. Além disso, em leguminosas, foi observada resposta estatisticamente significativa às diferentes doses de magnésio aplicadas. Nesse estudo, os cultivares se comportaram de maneira diferente, principalmente quando se utilizou a dose de nitrogênio mais elevada.

Embora o magnésio não esteja envolvido diretamente na fixação de nitrogênio pelas plantas, esse nutriente desempenha um papel na regulação do pH da célula vegetal e no transporte de íons, o que pode afetar indiretamente a absorção de nitrogênio. Dessa forma, o magnésio está envolvido na manutenção do equilíbrio iônico nas células, permitindo um ambiente adequado para a absorção de nutrientes (SANTOS et al., 2016).

Além disso, o nitrogênio é um componente fundamental das proteínas nas plantas. A síntese de proteínas é um processo que requer a participação de enzimas específicas, muitas das quais dependem do magnésio para sua atividade. Portanto, o magnésio desempenha um papel indireto, mas crucial, na formação e na função das proteínas, incluindo aquelas que transportam e armazenam nitrogênio nas plantas (SANTOS et al., 2016).

Portanto, embora o magnésio não esteja diretamente envolvido na

absorção de nitrogênio pelas plantas, ele desempenha um papel crucial na otimização das condições para a absorção eficiente de nutrientes, incluindo o nitrogênio, através de seu impacto na fotossíntese, na síntese de proteínas e na regulação do ambiente das raízes. A deficiência de magnésio pode prejudicar a capacidade da planta de utilizar eficazmente o nitrogênio disponível no solo (EPSTEIN E BLOOM, 2006).

3 HIPÓTESES

- A fonte adequada de nitrogênio aumenta a produtividade de grão-de-bico;
- A escolha adequada da fonte de nitrogênio contribui para que todos os componentes de produção tenham incrementos significativos, facilitando a tomada de decisão e reduzindo a possibilidade de perdas na produção;
- As duas cultivares analisadas de grão-de-bico apresentarão comportamento semelhante para a melhor fonte de nitrogênio avaliada;
- Fontes amoniacais apresentarão resultados superiores nos componentes de produção devido sua forma de absorção pelas plantas;
- A relação balanceada entre nitrogênio e magnésio aumenta a produção de grão-de-bico;
- As duas cultivares apresentarão bons resultados com a mesma dose proporcional entre N e Mg.

4 OBJETIVOS

Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar o papel da adubação nitrogenada com a aplicação de diferentes fontes de N, visando uma medida de manejo mais eficiente para o incremento nos componentes de produção da cultura do grão-de-bico. Além disso, o segundo estudo possui como objetivo a análise da influência de combinações de doses de N e de Mg, visando obter a maior correlação entre esses nutrientes para garantir aumento de produtividade e melhoria nas variáveis produtivas em diferentes cultivares de grão-de-bico.

Objetivos específicos

- Avaliar a melhor fonte para adubação nitrogenada na cultura do grão-de-bico;
- Avaliar a influência da escolha da fonte nitrogenada em uma dose previamente estipulada para duas diferentes cultivares de grão-de-bico sob os componentes de produtividade da cultura (número de vagens, peso de grãos, matéria seca da parte aérea, nitrogênio na folha e no grão, volume de raízes, peso de 100 sementes, massa seca total e índice SPAD para teor de clorofila);
- Definir a melhor proporção entre as doses de N e Mg para o incremento da produtividade no cultivo do grão-de-bico;
- Definir a melhor dose de N e Mg para a manutenção da produtividade no grão-de-bico;
- Avaliar a influência da proporção entre N:Mg na adubação de duas diferentes cultivares de grão-de-bico sob os componentes de produtividade da cultura (número de vagens, peso de grãos, matéria seca da parte aérea, nitrogênio na folha e no grão, volume de raízes e índice SPAD para teor de clorofila);

5 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos (artigos A e B), ambos conduzidos em casa de vegetação da Embrapa Soja, no município de Londrina, estado do paraná (Figura 7). Nos dois experimentos foram utilizados vasos de barro com capacidade para três litros, e selecionadas para uso duas plantas de cultivares de grão-de-bico por vaso.

Figura 7 –  rea experimental



Fonte: Adonis Moreira.

O primeiro experimento (artigo A), contou com a avalia o da eficácia de diferentes fontes de nitrogênio (N) para duas cultivares (BRS Kalifa e BRS Aleppo) de grão-de-bico. Para a condu o do experimento foi coletado um Latossolo Vermelho Distrófico de textura média, da camada superficial (0 – 20 cm) da região de Ponta Grossa (Estado do Paraná). As propriedades químicas e físicas do solo foram analisadas anteriormente   condu o do experimento e estão presentes na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades químicas e físicas dos solos utilizados.

Variável	Latossolo Vermelho Eutroférico (Londrina, Paraná)	Latossolo Vermelho Distrófico (Ponta Grossa, Paraná)
pH (CaCl ₂)	5,1	4,11
C _{org.} (g dm ⁻³)	15,07	13,09
P (mg dm ⁻³)	8,4	6,68
K (cmol _c dm ⁻³)	0,4	0,65
Ca (cmol _c dm ⁻³)	7,7	2,17
Mg (cmol _c dm ⁻³)	4,3	0,76
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	5,4	6,44
Al (cmol _c dm ⁻³)	0	1,37
CTC (cmol _c dm ⁻³)	17,8	10,02
Areia (g kg ⁻¹)	120	38
Silte (g kg ⁻¹)	165	452
Argila (g kg ⁻¹)	715	510

Fonte: Autor.

Os tratamentos foram constituídos pelas seguintes fontes de N, na dose de 300 mg kg⁻¹ de N: controle (sem N), sulfato de amônio [(NH₄)₂SO₄ - 20% de N], ureia [(NH₂)₂CO - 45% de N], nitrato de amônio (NH₄NO₃ - 32% de N), nitrato de potássio (KNO₃ - 13% de N), nitrato de cálcio [Ca(NO₃)₂ - 14% de N] e nitrato de sódio (NaNO₃ - 15% de N). O delineamento adotado no experimento foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 7×2, com quatro repetições.

Já no caso do segundo experimento (artigo B), foi utilizada a cultivares de grão-de-bico BRS Aleppo, com o objetivo de avaliar a influência de combinações de doses de nitrogênio (N) e de magnésio (Mg) sobre a produção da cultura. Foi coletado um Latossolo Vermelho Eutroférico de textura argilosa (Tabela 1), da camada superficial (0 - 20 cm) da região de Londrina (Estado do Paraná) (Embrapa, 2013).

Os tratamentos foram constituídos por quatro diferentes doses de N (fonte: ureia - 45% de N) - 0, 150, 300, 600 mg kg⁻¹, três doses de Mg (fonte: MgCl₂) com aplicação no plantio - 0, 100 e 200 mg kg⁻¹ e duas cultivares de grão-de-bico, sendo essas a BRS Kalifa e a B RS Aleppo. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 4×3, com 4 repetições.

A calagem foi realizada igualmente para os dois experimentos (artigos A e B), com incorporação de CaCO₃ e MgCO₃ (p.a.), na proporção de 3:1, para elevar a saturação por bases a 80% (WERNER, 1996). Após 30 dias do procedimento realizado, realizou-se a adubação recomendada por Malavolta (1980),

sendo aplicadas as seguintes doses de nutrientes, em mg kg^{-1} : P, 200; K, 150; Ca, 75; Mg, 15; S, 50; Cu, 1,5; Fe, 5,0; Mo, 0,1; e Zn, 5,0. A adubação nitrogenada foi realizada com a aplicação de doses de N parceladas em três vezes, sendo a primeira parcela no plantio e as demais em cobertura durante o desenvolvimento das plantas (0, 30 e 60 dias).

Em ambos os experimentos, foram analisadas variáveis de componentes de produção da cultura do grão-de-bico, tais como o número de vagens, peso dos grãos e massa seca de parte aérea (MSPA). A análise química do teor de N nas folhas e nos grãos foi realizada conforme metodologia proposta por Malavolta et al. (1997) e o volume de raízes foi aferido através da diferença volumétrica obtida em uma bureta graduada.

Além desses, foi determinado o teor de clorofila pelo índice SPAD. O instrumento portátil do SPAD avalia quantitativamente, a intensidade do verde da folha, medindo as transmissões de luz a 650 nm, onde ocorre absorção de luz pela molécula de clorofila e a 940 nm, onde não ocorre absorção. Com estes dois valores, o equipamento calcula um número ou índice SPAD que, normalmente, é altamente correlacionado com o teor de clorofila da folha e pode identificar deficiência de N além de ter potencial de identificar situações em que a aplicação adicional de N não seja necessária. A análise dessa variável é interessante pois apresenta facilidade de operação, permite avaliações in situ e pode ser utilizada como ferramenta auxiliar na tomada de decisão sobre a adubação nitrogenada (GIL et al., 2002).

Os dados quantitativos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), teste F e posteriormente comparadas pelo teste de médias por Scott-Knott a 5% de probabilidade (SCOTT & KNOTT, 1974). No caso dos dados quantitativos, esses foram submetidos à ANOVA, teste F e se significativo para interação ou efeito isolado de doses de nitrogênio, ajustados por meio de regressões polinomiais ($P \leq 0,05$). As pressuposições de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias foram testadas por Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software Sisvar (FERREIRA, 2019).

6 EXPERIMENTO A: FONTES DE NITROGÊNIO NO CULTIVO DE DUAS CULTIVARES DO GRÃO-DE-BICO

6.1 RESUMO

A cultura do grão-de-bico, uma das principais entre as leguminosas cultivadas mundialmente, necessita de uma adubação adequada e equilibrada, especialmente em relação ao N, nutriente mais requerido para seu crescimento rentável e expansão. Devido à ausência de estirpes para as condições edafoclimáticas do Brasil, o estudo da adubação nitrogenada é imprescindível para determinar o correto manejo a ser realizado, visando o aumento da produtividade da cultura. Nesse sentido foi realizado um experimento com o objetivo avaliar a eficácia de diferentes fontes de N para a cultura do grão-de-bico. O experimento foi realizado em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado e esquema fatorial 7×2, com 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos pelos seguintes fatores: a) fontes de N na dose de 300 mg kg⁻¹ de N - Controle, sulfato de amônio [(NH₄)₂SO₄ - 20% de N], ureia [(NH₂)₂CO - 45% de N], nitrato de amônio (NH₄NO₃ - 32% de N)], nitrato de potássio (KNO₃ - 13% de N), nitrato de cálcio [Ca(NO₃)₂ - 14% de N] e nitrato de sódio (NaNO₃ - 15% de N) e b) duas cultivares de grão-de-bico - BRS Kalifa e BRS Aleppo. As variáveis analisadas foram o número de vagens, peso dos grãos, massa seca de parte aérea, nitrogênio nas folhas e nos grãos, SPAD, volume de raízes, peso de 100 sementes e massa seca total. Os dados foram submetidos à ANOVA, teste F, e posteriormente suas médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade com o auxílio do software Sisvar. Os resultados demonstraram que a ureia obteve com desempenho na produção de grãos para ambas as cultivares, provavelmente relacionado ao fato dessa ser uma fonte amídica de rápida liberação. Houve efeito significativo entre cultivares para SPAD e volume de raízes, enquanto outras variáveis mostraram diferenças significativas entre fontes e médias. Para a BRS Aleppo, NH₄NO₃ e NH₄NO₃ promoveram maior produção de grãos, enquanto a BRS Kalifa teve bons resultados em todos os tratamentos, exceto (NH₄)₂SO₄. Houve correlação positiva entre peso dos grãos e concentração de N na folha, independente da cultivar e da fonte de N.

Palavras-chave: Adubação nitrogenada. *Cicer arietinum* L. Leguminosa. Nutrientes.

6.2 ABSTRACT

The chickpea crop, one of the main legumes grown worldwide, requires adequate and balanced fertilization, especially in relation to N, the nutrient most required for its profitable growth and expansion. Due to the lack of strains for Brazil's edaphoclimatic conditions, the study of nitrogen fertilization is essential to determine the correct management to be carried out, aiming to increase crop productivity. In this sense, an experiment was carried out with the objective of evaluating the effectiveness of different sources of N for chickpea cultivation. The experiment was carried out in a greenhouse, in a completely randomized design and a 7×2 factorial scheme, with 4 replications. The treatments consisted of the following factors: a) N sources at a dose of 300 mg kg⁻¹ N - Control, ammonium sulfate [(NH₄)₂SO₄ - 20% N], urea [(NH₂)₂CO - 45% of N], ammonium nitrate (NH₄NO₃ - 32% N)], potassium nitrate (KNO₃ - 13%

N), calcium nitrate [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ - 14% N] and sodium nitrate (NaNO_3 – 15% N) and b) two chickpea cultivars – BRS Kalifa and BRS Aleppo. The variables analyzed were the number of pods, grain weight, shoot dry mass, nitrogen in leaves and grains, SPAD, root volume, weight of 100 seeds and total dry mass. The data were submitted to ANOVA, F test, and subsequently their means were compared using the Scott-Knott test at 5% probability with the aid of Sisvar software. The results demonstrated that urea performed better in grain production for both cultivars, probably related to the fact that it is a fast-release starch source. There was a significant effect between cultivars for SPAD and root volume, while other variables showed significant differences between sources and means. For BRS Aleppo, NH_4NO_3 and NH_4NO_3 promoted greater grain production, while BRS Kalifa had good results in all treatments, except $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. There was a positive correlation between grain weight and N concentration in the leaf, regardless of the cultivar and N source.

Keywords: *Cicer arietinum* L. Legume. Nutrients. Nitrogen fertilization.

6.3 INTRODUÇÃO

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), considerado uma das leguminosas alimentícias com maior importância de cultivo no mundo, possui compostos de excelente valor nutricional, além de proteínas com elevado potencial de digestibilidade. É um cultivo de inverno no sub-continente Indiano, Etiópia e América Latina, enquanto na região do Mediterrâneo é cultivado na primavera (KHAZAEI et al., 2019).

No Brasil, o cultivo do grão-de-bico é incipiente e seu consumo não é muito expressivo. No entanto, como se trata de uma leguminosa com compostos de alta qualidade nutricional, a cultura possui grande potencial como cultivo alternativo às culturas agrícolas de maior prática no país, como no caso de outras leguminosas, como a soja. Em função disso, a divulgação de dados sobre origem, taxonomia, importância, utilização e, principalmente, subsídios para o cultivo da espécie foram muito úteis aos interessados na produção desta leguminosa (NASCIMENTO et al., 2016).

Cultivares vêm sendo desenvolvidas em estudos recentes no Brasil, como no caso da BRS Aleppo e BRS Kalifa, entretanto, para abastecer a necessidade de consumo interno, a maior parte da produção é importada de maiores países produtores. Com isso, faz-se preciso estimular a produção local e promover tecnologias que possibilitem o desenvolvimento da cultura de maneira a atingir os maiores níveis de produtividade, fornecimento de nutrientes em níveis adequados, combate a doenças e pragas que possam atingir o grão-de-bico, entre outros

(VARSHNEY et al., 2013).

Nesse cenário, um dos principais fatores limitantes da produção é o suprimento de nutrientes na forma de fertilizantes para a absorção das plantas. Para tanto, as melhores de adubação fontes devem ser fornecidas, visando favorecer o mecanismo de captação desses recursos pelo metabolismo das plantas, mantendo o balanço nutricional sempre em equilíbrio e facilitando assim, a tomada de decisão e condução das safras pelos agricultores.

Nesse sentido, de acordo com Hungria et al. (2007), o nutriente demandado em maior quantidade pelas plantas é o nitrogênio (N). Esse macronutriente está associado a diversos procesos metabólicos vitais para o desenvolvimento do grão-de-bico, sendo um importante componente importante dos ácidos nucléicos, proteínas, coenzimas, fitohormônios e metabolitos secundários.

Atualmente existe a disponibilidade de diversas tecnologias de fertilizantes nitrogenados no mercado, fornecendo o nitrogênio em compostos a partir de fontes amídicas ou amoniacais. Por conseguinte, a escolha na utilização de diferentes fontes de N visa a maior compatibilidade com a cultura trabalhada, além de buscar aprimorar a absorção e diminuir as perdas de nitrogênio no sistema, como pelos processos de lixiviação, desnitrificação, dentre outros, impactando substancialmente nos custos de produção (RODRIGUES et al., 2018).

Entretanto, há uma escassez das informações no que diz respeito à fonte nitrogranada mais adequada para a adubação no grão-de-bico para as condições edafoclimáticas encontradas no Brasil, como o seu cultivo, em sua maior parte, é praticado em países mediterrâneos. Dessa forma, este presente estudo objetiva avaliar diferentes fontes de N, visando uma medida de manejo mais eficiente.

6.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação da Embrapa Soja Londrina, em delineamento inteiramente casualizado e esquema fatorial 7×2 , com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pelos seguintes fatores: a) Fontes de N na dose de 300 mg kg^{-1} de N - Controle (sem N), sulfato de amônio $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 - 20\% \text{ de N}]$, ureia $[(\text{NH}_2)_2\text{CO} - 45\% \text{ de N}]$, nitrato de amônio $(\text{NH}_4\text{NO}_3 - 32\% \text{ de N})$, nitrato de potássio $(\text{KNO}_3 - 13\% \text{ de N})$, nitrato de cálcio $[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 - 14\%$

de N] e nitrato de sódio (NaNO_3 – 15% de N) e b) duas cultivares de grão-de-bico – BRS Kalifa e BRS Aleppo.

Para a condução do experimento foi coletado um Latossolo Vermelho Distrófico de textura média, da camada superficial (0 – 20 cm) da região de Ponta Grossa (Estado do Paraná) (Embrapa, 2013). Os atributos químicos e físicos estão presentes na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades químicas e físicas do solo utilizado.

Variável	Latossolo Vermelho Distrófico (Ponta Grossa, Paraná)
pH (CaCl_2)	4,11
$C_{\text{org.}}$ (g dm^{-3})	13,09
P (mg dm^{-3})	6,68
K ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,65
Ca ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	2,17
Mg ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,76
H + Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	6,44
Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	1,37
CTC ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	10,02
Areia (g kg^{-1})	38
Silte (g kg^{-1})	452
Argila (g kg^{-1})	510

Fonte: Autor.

O solo foi acondicionado em vasos de barro com capacidade de três litros, sendo utilizadas duas plantas por vaso. Na correção da acidez do solo, foi utilizado CaCO_3 e MgCO_3 (p.a.), na proporção de 3:1, para elevar a saturação por bases a 80% (WERNER, 1996).

Após 30 dias da incorporação da calagem, exceto no caso do N, a adubação com os demais nutrientes, em mg kg^{-1} , foi de: P, 200; K, 150; Ca, 75; Mg, 15; S, 50; Cu, 1,5; Fe, 5,0; Mo, 0,1; e Zn, 5,0, conforme recomendação feita por Malavolta (1980). As doses de N foram aplicadas parceladas em três vezes, sendo a primeira parcela no plantio e as demais em cobertura durante o desenvolvimento das plantas (0, 30 e 60 dias).

As variáveis analisadas foram os componentes de produção do grão-de-bico, entre eles o número de vagens, peso dos grãos e massa seca de parte aérea (MSPA). O volume das raízes foi determinado utilizando uma proveta graduada com um volume de água pré-definido. As raízes foram colocadas na

proveta e o volume foi medido pela diferença entre o volume inicial definido e o volume final aferido. A análise química do teor de N nas folhas e nos grãos foi realizada conforme metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

Além desses, foi determinado o teor de clorofila pelo índice SPAD. O instrumento portátil do SPAD avalia quantitativamente, a intensidade do verde da folha, medindo as transmissões de luz a 650 nm, onde ocorre absorção de luz pela molécula de clorofila e a 940 nm, onde não ocorre absorção. Com estes dois valores, o equipamento calcula um número ou índice SPAD que, normalmente, é altamente correlacionado com o teor de clorofila da folha e pode identificar deficiência de N além de ter potencial de identificar situações em que a aplicação adicional de N não seja necessária. A análise dessa variável é interessante pois apresenta facilidade de operação, permite avaliações in situ e pode ser utilizada como ferramenta auxiliar na tomada de decisão sobre a adubação nitrogenada (GIL et al., 2002).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), teste F e posteriormente comparadas pelo teste de médias por Scott-Knott a 5% de probabilidade (SCOTT & KNOTT, 1974). As pressuposições de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias foram testadas por Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software Sisvar (FERREIRA, 2019).

6.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis analisadas estão apresentadas na tabela abaixo (Tabela 3) para as duas cultivares de grão-de-bico (BRS Kalifa e BRS Aleppo), para as diferentes fontes de N. Na tabela, também são apresentadas as médias dos componentes de produção entre as duas cultivares, avaliando a influência do tratamento (fonte nitrogenada) aplicado.

Tabela 3 – Efeito de diferentes fontes de nitrogênio⁽¹⁾ sobre componentes de produção⁽²⁾ de duas cultivares de grão-de-bico.

Cultivar	Fontes	Vagens	PG	MSPA	N-F	SPAD	VR	PS	MST	N-G
		N	g/vaso	g/vaso	g kg ⁻¹	-	cm ³	g	g/vaso	g kg ⁻¹
BRS										
Kalifa	Controle	9,80d	3,24b	18,49a	38,2b	44,9b	21,8a	31,4b	21,7b	30,6c
	KNO ₃	15,0c	4,85a	21,31a	41,7b	54,1a	23,8a	36,7b	26,2a	39,6b
	NH ₄ NO ₃	23,3a	5,27a	22,84a	45,6a	50,4a	25,5a	43,6a	28,1a	44,5a
	NaNO ₃	17,5b	4,86a	20,77a	44,7a	39,9c	20,0a	41,8a	25,6a	40,0b
	(NH ₄) ₂ SO ₄	15,0c	4,85b	21,31a	41,7a	54,1b	23,8a	36,7a	26,2b	39,6a
	Ca(NO ₃) ₂	12,8d	4,54a	19,08a	46,4a	38,0c	21,5a	46,0a	23,6b	39,7b
	Ureia	20,8a	5,86a	22,56a	49,4a	54,1a	20,0a	48,1a	28,4a	40,0b
	Média	16,3	4,78	20,91	44,0	47,9	22,3	40,6	25,7	39,1
BRS										
Aleppo	Controle	8,5c	3,09b	16,76b	40,7b	38,4b	25,5a	39,1a	19,8b	34,2c
	KNO ₃	16,3b	4,02b	19,12b	45,5b	44,9a	21,3a	36,4a	23,1b	39,0b
	NH ₄ NO ₃	17,3b	6,17a	22,16a	43,2b	37,7b	30,0a	42,8a	28,3a	40,6b
	NaNO ₃	20,3a	4,19b	21,95a	49,4a	38,8b	31,3a	38,0a	26,1a	36,3c
	(NH ₄) ₂ SO ₄	11,3c	4,13b	18,30b	45,6b	44,1a	20,5a	35,3a	22,4b	44,6a
	Ca(NO ₃) ₂	20,0a	6,66a	24,43a	51,2a	45,4a	26,3a	42,3a	31,1a	39,6b
	Ureia	15,8b	3,98b	19,27b	46,6b	41,9a	24,5a	34,5a	23,3b	43,4a
	Média	15,6	4,61	20,28	46,0	41,6	25,6	38,3	24,9	39,7
Média										
Média	Controle	9,10d	3,16d	17,62b	39,4c	41,6c	23,6a	35,3b	20,8b	32,4c
	KNO ₃	15,6b	4,43b	20,22b	43,6b	49,5a	22,5a	36,5b	24,7a	39,3b
	NH ₄ NO ₃	20,3a	5,72a	22,50a	44,4b	44,1b	27,8a	43,2a	28,2a	42,6a
	NaNO ₃	18,9a	4,53a	21,36a	47,0a	39,3c	25,6a	39,9a	25,9a	38,2b
	(NH ₄) ₂ SO ₄	13,1c	4,49c	19,80a	43,7b	49,1b	22,1a	36,0b	24,3b	42,1a
	Ca(NO ₃) ₂	16,4b	5,60b	21,75a	48,8a	41,7c	23,9a	44,1a	27,4a	39,7b
	Ureia	18,3a	4,92a	20,92a	48,0a	48,0a	22,3a	41,3a	25,8a	41,7a
	Média	15,9	4,69	20,60	45,0	44,8	24,0	39,5	25,3	39,4
	CV%	16,43	17,03	11,13	8,5	7,44	27,03	12,67	11,69	5,51

⁽¹⁾ KNO₃ = nitrato de potássio; NH₄NO₃ = nitrato de amônio; NaNO₃ = nitrato de sódio; (NH₄)₂SO₄ = sulfato de amônio; Ca(NO₃)₂ = nitrato de cálcio; Ureia = (NH₂)₂CO.

⁽²⁾ PG = peso de grãos; MSPA = massa seca da parte aérea; N-F = nitrogênio na folha; SPAD = Soil Plant Analysis Development (correlação com o teor foliar de clorofila); VR = volume de raízes; PS = peso de 100 sementes; MST = massa seca total; N-G = nitrogênio no grão.

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Fonte: Autor.

O coeficiente de variação fornece uma medida da precisão do experimento. Em experimentos agrícolas de campo, os coeficientes de variação são frequentemente utilizados para avaliar a variabilidade dos dados. Podemos classificar esses coeficientes em diferentes níveis: baixos (até 10%), médios (de 10 a 20%), altos (de 20 a 30%) e muito altos (maior que 30%). Para ambas as variáveis

analisadas, constatou-se um coeficiente de variação (CV%) médio de 13,04, o que representa que o desvio-padrão é relativamente baixo quando comparado à média aritmética do conjunto de dados experimentais (GOMES, 2023).

A análise estatística dos componentes de produção revelou que, para a variável vagem, não houve efeito significativo ($P \leq 0,05$) entre as diferentes cultivares. No entanto, foi observada uma diferença estatisticamente significativa entre as fontes de nitrogênio aplicadas dentro de cada cultivar.

Nas médias das cultivares analisadas, para o mesmo componente de produção, as fontes que se destacaram pelo melhor desempenho foram a ureia, NaNO_3 e NH_4NO_3 . Especificamente para a cultivar BRS Aleppo, os dados revelaram uma diferença significativa no uso das fontes de nitrogênio NaNO_3 e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Enquanto isso, na cultivar BRS Kalifa, os resultados mais expressivos foram alcançados com as fontes de ureia e NH_4NO_3 .

Em um estudo conduzido por Moraes et al. (2017) sobre a cultura do girassol, foi constatado que a aplicação de fertilizantes nitrogenados na forma amídica (ureia) demonstrou o maior potencial na produção de aquênios de girassol, considerando a média das doses e fontes.

A ureia é uma fonte de nitrogênio de liberação rápida, o que significa que o nitrogênio contido nela está disponível para as plantas assim que é aplicado. Isso pode ser especialmente benéfico em estágios críticos de crescimento do grão-de-bico, quando a demanda por nitrogênio é alta (KAUR & GUPTA, 2002). Dessa forma, a análise revela que tanto em nível foliar quanto na produção de grãos, essa fonte de nitrogênio mostrou resultados positivos na cultivar de grão-de-bico BRS Aleppo.

Fontes amídicas como a ureia, não requerem conversão de nitrato para amônio pelas plantas. Após ser hidrolisada pela urease, presente no solo e nas plantas, a ureia libera amônio (NH_4^+), pronto para ser absorvido pelas plantas e utilizado em processos essenciais para o crescimento vegetal. Na absorção de fontes de nitrogênio amoniacais pelas plantas, os íons amônio (NH_4^+) são principalmente absorvidos pelas raízes através de processos de transporte ativo e trocas iônicas (ZAMAN et al., 2013).

Fontes de nitrogênio nítrico (como nitrato de amônio, nitrato de cálcio, entre outros) precisam ser convertidas em amônio pelas plantas antes que o nitrogênio possa ser totalmente utilizado no metabolismo da planta. Essa conversão é necessária porque a maioria das plantas assimila nitrogênio na forma de íons

amônio (NH_4^+) e não de íons nitrato (NO_3^-), o que pode tornar o processo de liberação dessa fonte mais lento do que comparado com outros tipos de fontes nitrogenadas (TSAY & CHIU, 2014).

Da mesma forma que observado com relação à vagem, a análise da variável peso de grãos não revelou diferença estatisticamente significativa ($P \leq 0,05$) entre as cultivares. Adicionalmente, o teste de médias indicou uma maior correlação nos dados para as mesmas fontes de nitrogênio mencionadas anteriormente, também em relação ao peso de grãos.

Com exceção dos componentes de produção analisados SPAD, volume de raízes e peso de 100 sementes, a fonte KNO_3 foi a que apresentou resultados inferiores estatisticamente, no geral, para a cultivar BRS Aleppo. No estudo de Carvalho et al. (2000), os autores constataram que a aplicação de KNO_3 em porta-enxertos cítricos demonstrou um aumento da concentração de nitrogênio, mas em contrapartida, uma diminuição nos teores de P, K, Ca, Mg e S na matéria seca total das plantas. Como o Mg é um componente estrutural da molécula de clorofila, a queda nos teores com a aplicação de KNO_3 pode estar correlacionada com os baixos teores de clorofila encontrados com sua aplicação na avaliação da variável pelo índice SPAD na BRS Aleppo.

A análise do índice SPAD é realizada por uma ferramenta rápida e não destrutiva para estimar a quantidade relativa de clorofila nas folhas das plantas. Isso pode ser útil em estudos de pesquisa, monitoramento do estado de saúde das plantas e na avaliação do efeito de diferentes práticas agronômicas, como a aplicação de fertilizantes ou defensivos (HIROFUMI et al., 2017).

O magnésio é essencial na fotossíntese por sua participação na estrutura do anel porfirínico da clorofila, que absorve a luz solar e a transforma em energia química. Sem magnésio suficiente, a síntese correta da clorofila é prejudicada, resultando em uma redução na capacidade da planta de realizar a fotossíntese. Assim, o magnésio desempenha um papel crucial na garantia de que as plantas capturem eficientemente a energia solar, convertendo-a em energia química para suportar os processos metabólicos e de crescimento. Além disso, o Mg atua no metabolismo das plantas, influenciando nos processos de ativação enzimática, transporte de nutrientes e estabilidade celular (TAIZ et al., 2017).

A inibição competitiva entre o potássio (K^+) e o magnésio (Mg^{2+}) nas plantas ocorre devido à competição por sítios de ligação em proteínas transportadoras ou

enzimas envolvidas na absorção e transporte iônico. Quando há um aumento na disponibilidade de potássio no solo, as plantas tendem a absorver mais íons de potássio, o que pode afetar a absorção e a utilização de magnésio (MALAVOLTA, 2006).

Uma das razões para isso é que o potássio e o magnésio compartilham algumas vias de transporte e regulação nos sistemas de transporte iônico das plantas. Altas concentrações de potássio podem competir com o magnésio por sítios de ligação em proteínas transportadoras, diminuindo assim a absorção de magnésio pelas raízes das plantas. Além disso, o aumento do potássio pode afetar a disponibilidade de íons de magnésio no solo, influenciando indiretamente sua absorção pelas plantas (SHI & ZHANG, 2014).

Como resultado dessa competição, os níveis de magnésio podem ser reduzidos, o que pode levar a deficiências de magnésio nas plantas. O magnésio desempenha papéis essenciais em muitos processos metabólicos, incluindo a fotossíntese, a síntese de clorofila e a estabilidade de membranas celulares. Portanto, a inibição competitiva entre potássio e magnésio pode ter impactos significativos no crescimento e desenvolvimento das plantas (MARSCHNER, 2012).

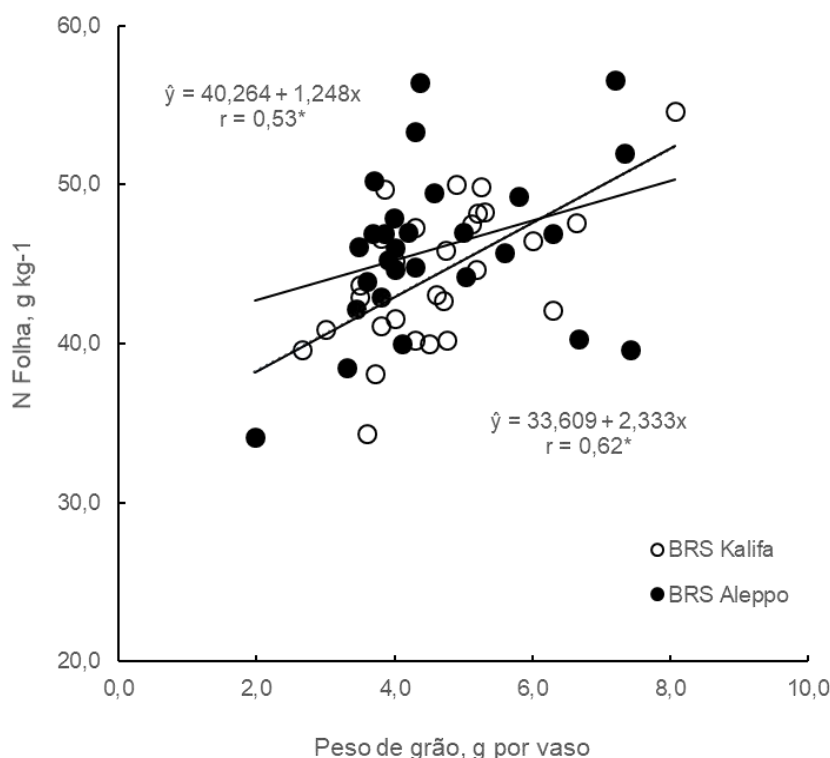
Para peso de grãos, a cultivar BRS Aleppo teve como melhores fontes nitrogenadas NH_4NO_3 e NH_4NO_3 . A cultivar BRS Kalifa obteve maior peso de grãos com mais tratamentos, exceto $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, que demonstrou resultado significativo inferior, podendo ser comparado com a parcela de controle experimental.

Independente da cultivar e das fontes de N, ocorreu correlação positiva entre o peso e grãos e a concentração de N na folha (Tabela 3). Embora as leguminosas tenham a capacidade única de fixar o nitrogênio atmosférico em simbiose com bactérias específicas (como as bactérias do gênero *Rhizobium*, que formam nódulos nas raízes das leguminosas), as leguminosas, incluindo o grão-de-bico, ainda precisam de um suprimento adequado de nitrogênio para satisfazer suas necessidades nutricionais durante todo o ciclo de vida (WERNER & NEWTON, 2000).

O N é o nutriente mais exigido pela cultura do grão-de-bico. Essencial para várias funções essenciais, como síntese de proteínas, produção de clorofila, síntese de DNA e RNA, fixação de carbono e metabolismo de carboidratos, sua presença adequada é fundamental para promover o crescimento saudável da planta e a produção de grãos de alta qualidade (REUTER et al., 1997). Portanto, a análise

estatística revela um bom desempenho da cultura, pois evidenciou uma correlação positiva entre o peso dos grãos e a concentração de nitrogênio nas folhas (Figura 8).

Figura 8 – Correlação ($P \leq 0,05$) das variáveis peso de grão (g por vaso) e nitrogênio foliar (g kg^{-1}) para as duas cultivares de grão-de-bico (BRS Kalifa e BRS Aleppo).



Fonte: Autor.

Somente no caso da análise dos componentes de produção SPAD e volume de raízes (VR), houve efeito significativo entre as cultivares ($P \leq 0,05$) entre as cultivares. No caso das demais variáveis, houve somente diferença estatística significativa entre as fontes e médias analisadas.

Como não houve efeito de cultivar, nas médias observou-se que as fontes nitrogenadas, exceto KNO_3 e controle, apresentaram boa correlação com a MSPA. Para a mesma variável, não houve diferença significativa entre os tratamentos aplicados para a cultivar BRS Kalifa em relação à MSPA. No caso da BRS Aleppo, os melhores dados considerados estatisticamente foram NH_4NO_3 , NaNO_3 e ureia.

O teste de médias entre as cultivares indicou que os melhores tratamentos em relação a concentração expressa em g kg^{-1} de nitrogênio foliar (N-F) foram as fontes NaNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ e ureia. Já para o nitrogênio nos grãos N-G, os melhores

índices foram observados na média cultivares com o emprego das fontes NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ e ureia.

Em estudo realizando, os autores Dutra et al. (2021), constaram que para a cultivar de grão-de-bico BRS Cristalino, a aplicação de macronutrientes, em especial da ureia, aumentou significativamente os níveis de biomassa verde, seca e total da cultivar. Dessa forma, é possível inferir que a cultura responde positivamente à aplicação da fonte nitrogenada na forma de ureia para diversos tipos de cultivares, tanto no fornecimento do nitrogênio foliar, como nos grãos.

Da mesma forma que ocorre com a aplicação de ureia na cultivar BRS Cristalino, cultivares como BRS Aleppo e BRS Kalifa, sendo do mesmo tipo (kabuli) (CARVALHO et al., 2021), também podem responder positivamente à aplicação de fontes nitrogenadas amídicas, como é o caso da ureia.

Independente da fonte nitrogenada aplicada no tratamento, a cultivar BRS Kalifa demonstrou média de resultados estatisticamente superiores do que quando comparada a BRS Aleppo na análise pelo índice SPAD, indicando assim, maiores teores de clorofila para essa cultivar. No diagnóstico da cultivar Kalifa, os dados superiores foram observados para as fontes ureia, KNO_3 e NH_4NO_3 . O desempenho de NH_4NO_3 no seu uso como fonte nitrogenada corrobora com os dados obtidos em experimento para a cultura do feijoeiro na inoculação com *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasiliensis* (VIEIRA et al., 2021).

A cultivar BRS Aleppo apresentou resultados superiores para o volume de raízes (VR) na correlação com a BRS Kalifa. Para essa variável, tanto o teste de médias entre as cultivares quanto essas isoladas, não apresentaram diferença estatística significativa nos tratamentos adotados.

Em grande parte das experiências realizadas na bibliografia, os resultados sugerem uma tendência geral de que quanto maior o peso da semente, maior será a taxa de germinação e o vigor observado (ALVES et al., 2005). No estudo em questão, independente da fonte de N ser nítrica, amídica ou amoniacal, não houve interferência significativa entre as cultivares em correlação com o peso de 100 sementes. A única fonte nitrogenada que apresentou resultados inferiores para a cultivar BRS Kalifa foi KNO_3 , enquanto para a BRS Aleppo, não houve diferença significativa entre as fontes aplicadas.

Na correlação das fontes com a matéria seca total (MST), observou-se que as melhores cultivares para a BRS Kalifa foram constadas com a aplicação das fontes

na forma de NH_4NO_3 e $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. No caso da BRS Aleppo, o maior desempenho foi observado com $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ e ureia. Já nas médias analisadas, as fontes nitrogenadas analisadas nos tratamentos que obtiveram resultados superiores foram NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ e ureia.

6.6 CONCLUSÕES

Não houve diferença significativa entre as cultivares para a variável vagem, porém houve entre as fontes de N aplicadas dentro de cada cultivar. As fontes mais eficazes foram ureia, NaNO_3 e NH_4NO_3 , com resultados variados para diferentes cultivares.

A ureia, sendo de liberação rápida, é vantajosa em estágios críticos de crescimento do grão-de-bico. Estudos na literatura corroboram com a eficácia de utilização desse composto como fonte nitrogenada. A assimilação de fontes amídicas como a ureia é facilitada pois não requer conversão de nitrato para amônio pelas plantas, enquanto as fontes nítricas exigem a ocorrência desse processo. A análise dos componentes de produção, revelou que a ureia mostrou bons resultados na média das duas cultivares (BRS Kalifa e BRS Aleppo).

Somente no caso da análise dos componentes de produção SPAD e volume de raízes (VR), houve efeito significativo entre as cultivares ($P \leq 0,05$) entre as cultivares. No caso das demais variáveis, houve somente diferença estatística significativa entre as fontes e médias analisadas.

Nas condições estudadas, para a BRS Aleppo a aplicação das fontes NH_4NO_3 e NH_4NO_3 acarretaram maior produção de grãos, enquanto a BRS Kalifa obteve bons resultados para todos os tratamentos (fontes de N) analisadas, com exceção de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Independente da cultivar e das fontes de N, ocorreu correlação positiva entre o peso e grãos e a concentração de N na folha.

7 EXPERIMENTO B: INTERAÇÃO NITROGÊNIO E MAGNÉSIO NOS COMPONENTES DE PRODUÇÃO E ESTADO NUTRICIONAL DO GRÃO-DE-BICO

7.1 RESUMO

A cultura do grão-de-bico é uma das principais leguminosas cultivadas globalmente. No Brasil, devido à falta de estirpes adaptadas, o estudo da adubação nitrogenada e sua interação com outros nutrientes é crucial para otimizar o manejo e aumentar a produtividade. O nitrogênio (N) possui ciclo metabólico com relação sinérgica ao do magnésio (Mg). Entretanto, mesmo que não haja limitação no suprimento de Mg, a aplicação de doses elevadas de N, pode resultar em queda da produtividade, devido ao desequilíbrio nas relações N e Mg. Nesse sentido foi realizado um experimento com o objetivo de avaliar a influência de combinações de doses de N e Mg sobre a produção de grão-de-bico. O estudo foi realizado em condições de casa de vegetação, com a cultivar BRS Aleppo, em delineamento inteiramente casualizado e esquema fatorial 4×3, com 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos pelos seguintes fatores: a) quatro diferentes doses N (fonte: ureia – 45% de N) – 0, 150, 300, 600 mg kg⁻¹ e b) três doses de Mg (fonte: MgCl₂) com aplicação no plantio – 0, 100 e 200 mg kg⁻¹. As variáveis analisadas foram o número de vagens, peso dos grãos, massa seca total, nitrogênio nas folhas e nos grãos, SPAD, volume de raízes e teor de Mg foliar. Os dados foram submetidos à ANOVA, teste F e se significativo para interação ou efeito isolado de doses de nitrogênio, os dados foram ajustados por meio de regressões polinomiais ($P \leq 0,05$) com o auxílio do software Sisvar. O coeficiente de variação de 15,46% indica precisão nos dados. Houve efeito significativo do teste F para as variáveis SPAD, NV e VR em relação às diferentes doses de N, enquanto para Mg e a interação entre N e Mg não foram observadas diferenças significativas. A interação entre N e Mg teve impacto significativo no peso dos grãos, com 200 mg de Mg resultando em diminuição na produção, enquanto 100 mg levaram a um aumento. O estudo também revelou um decréscimo na concentração de N nos grãos a partir de 440 mg kg⁻¹ de N, destacando a importância da dosagem adequada. A correlação entre teor foliar de N e N nos grãos evidencia sua alta mobilidade e importância como indicador do estado nutricional da planta. A aplicação de N teve efeito positivo no incremento de N foliar, mas doses mais altas resultaram em decréscimo. A análise do teste F mostrou que, apesar da falta de significância na interação entre N e Mg, as doses de N influenciaram a concentração de Mg foliar de forma independente, corroborada pela regressão linear observada.

Palavras-chave: Adubação nitrogenada. Balanço nutricional. *Cicer arietinum* L. Ciclo do nitrogênio. Leguminosa.

7.2 ABSTRACT

Chickpea is one of the main legumes grown globally. In Brazil, due to the lack of adapted strains, the study of nitrogen fertilization and its interaction with other nutrients is crucial to optimize management and increase productivity. Nitrogen (N) has a metabolic cycle with a synergistic relationship to that of magnesium (Mg). However, even if there is no limitation in the supply of Mg, the application of high

doses of N can result in a drop in productivity, due to the imbalance in the N and Mg ratios. In this sense, an experiment was carried out with the objective of evaluating the influence of combinations of N and Mg doses on chickpea production. The study was carried out under greenhouse conditions, with the BRS Aleppo cultivar. in a completely randomized design and 4×3 factorial scheme, with 4 replications. The treatments consisted of the following factors: a) four different N doses (source: urea – 45% N) – 0, 150, 300, 600 mg kg⁻¹ and b) three doses of Mg (source: MgCl₂) with application in the planting – 0, 100 and 200 mg kg⁻¹. The variables analyzed were the number of pods, grain weight, total dry mass, nitrogen in leaves and grains, SPAD, root volume and leaf Mg content. The data were submitted to ANOVA, F test and if significant for interaction or isolated effect of nitrogen doses, the data were adjusted using polynomial regressions ($P \leq 0,05$) with the aid of Sisvar software. The coefficient of variation of 15,46% indicates data precision. There was a significant effect of the F test for the variables SPAD, NV and VR in relation to the different doses of N, while for Mg and the interaction between N and Mg no significant differences were observed. The interaction between N and Mg had a significant impact on grain weight, with 200 mg of Mg resulting in a decrease in yield, while 100 mg led to an increase. The study also revealed a decrease in the concentration of N in grains from 440 mg kg⁻¹ of N, highlighting the importance of adequate dosage. The correlation between foliar N content and N in grains highlights its high mobility and importance as an indicator of the plant's nutritional status. The application of N had a positive effect on the increase in foliar N, but higher doses resulted in a decrease. The F test analysis showed that, despite the lack of significance in the interaction between N and Mg, the N doses influenced the foliar Mg concentration independently, corroborated by the observed linear regression.

Keywords: Nitrogen fertilization. Nutritional balance. *Cicer arietinum* L. Nitrogen cycle. Legume.

7.3 INTRODUÇÃO

A cultura do grão-de-bico hortaliça (*Cicer arietinum* L.) é considerada uma fonte de alimento com elevado valor nutricional, sendo seu cultivo indicado principalmente para regiões semiáridas, devido a sua relativamente baixa demanda hídrica. Apesar do potencial de expansão de cultivo de grão-de-bico no Brasil, o país ainda importa quase a totalidade do grão-de-bico, não apresentando uma tradição de cultivo comercial dessa leguminosa.

Para promover um incremento na produção do grão-de-bico em condições tropicais, como no Brasil, torna-se necessário atingir o maior potencial de desenvolvimento possível da cultura. Para esse fim, diversos são os fatores que impactam a manutenção e aumento da produtividade, dentre eles, a disponibilidade de nutrientes em quantidade e em equilíbrio, uma vez que a deficiência e/ou excesso de um elemento pode inibir a ação dos demais, causando uma redução na produção.

Nesse cenário, o nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade pelas plantas por estar associado a diversos processos metabólicos vitais para seu desenvolvimento. O N possui ciclo metabólico semelhante ao do magnésio (Mg), de forma a apresentar uma relação sinérgica com esse elemento. O magnésio, por sua vez, desempenha um papel crucial na fotossíntese devido à sua presença central na estrutura da clorofila, o pigmento responsável por captar a luz solar e iniciar a conversão de energia luminosa em energia química. Portanto, a presença de teores adequados desses nutrientes por meio da adubação é indispensável para o desenvolvimento rentável das culturas (MARSCHNER, 2012; MALAVOLTA, 2006).

Além disso, o N é um componente fundamental das proteínas nas plantas. A síntese de proteínas é um processo que requer a participação de enzimas específicas, muitas das quais dependem do magnésio para sua atividade. Portanto, o magnésio desempenha um papel indireto, mas crucial, na formação e na função das proteínas, incluindo aquelas que transportam e armazenam nitrogênio nas plantas (SANTOS et al., 2016).

Logo, embora o magnésio não esteja diretamente envolvido na absorção de nitrogênio pelas plantas, ele desempenha um papel crucial na otimização das condições para a absorção eficiente de nutrientes, incluindo o nitrogênio, através de seu impacto na fotossíntese, na síntese de proteínas e na regulação do ambiente das raízes. A deficiência de magnésio pode prejudicar a capacidade da planta de utilizar eficazmente o nitrogênio disponível no solo (EPSTEIN E BLOOM, 2006).

Face ao exposto, diante da necessidade de esclarecimentos científicos em relação à interação do N e Mg para a cultura do grão-de-bico, o presente estudo tem como objetivo avaliar a influência de combinações de doses de N e de Mg sobre a produção da cultura.

7.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação da Embrapa Soja, Londrina, em delineamento inteiramente casualizado e esquema fatorial 4x3, com quatro repetições. A cultivar utilizada foi a BRS Aleppo. Os tratamentos foram constituídos pelos seguintes fatores: a) Quatro doses de N (fonte: ureia – 45% de N)

– 0, 150, 300 e 600 mg kg⁻¹ e b) três doses de Mg (fonte: MgCl₂) com aplicação no plantio – 0, 100 e 200 mg kg⁻¹.

Para a condução do experimento foi coletado um Latossolo Vermelho Eutroférico de textura argilosa, da camada superficial (0 – 20 cm) da região de Londrina (Estado do Paraná) (Embrapa, 2013). Os atributos químicos e físicos do solo estão presentes na Tabela 4.

Tabela 4 – Propriedades químicas e físicas do solo utilizado.

Variável	Latossolo Vermelho Eutroférico (Londrina, Paraná)
pH (CaCl ₂)	5,1
C _{org.} (g dm ⁻³)	15,07
P (mg dm ⁻³)	8,4
K (cmol _c dm ⁻³)	0,4
Ca (cmol _c dm ⁻³)	7,7
Mg (cmol _c dm ⁻³)	4,3
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	5,4
Al (cmol _c dm ⁻³)	0
CTC (cmol _c dm ⁻³)	17,8
Areia (g kg ⁻¹)	120
Silte (g kg ⁻¹)	165
Argila (g kg ⁻¹)	715

Fonte: Autor.

O solo foi acondicionado em vasos de barro com capacidade de três litros, sendo utilizadas duas plantas por vaso. Na correção da acidez do solo, foi utilizado CaCO₃ e MgCO₃ (p.a.), na proporção de 3:1 para elevar a saturação por bases a 80% (WERNER, 1996).

Após 30 dias da incorporação da calagem, exceto o N e o S, a adubação com os demais nutrientes, em mg kg⁻¹: P, 200; K, 150; Ca, 75; Mg, 15; Cu, 1,5; Fe, 5,0; Mo, 0,1; e Zn, 5,0, conforme recomendação feita por Malavolta (1980). As doses de N foram aplicadas parceladas em três vezes, sendo a primeira parcela no plantio e as demais em cobertura durante o desenvolvimento das plantas (0, 30 e 60 dias).

As variáveis analisadas foram os componentes de produção do grão-de-bico, entre eles o número de vagens, peso dos grãos e massa seca de parte aérea (MSPA). Além desses, foi determinado o teor de clorofila pelo índice SPAD e o volume de raízes foi aferido através da diferença volumétrica obtida em uma bureta

graduada. A análise química do teor de N nas folhas e nos grãos foi realizada conforme metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), teste F e se significativo para interação ou efeito isolado de doses de nitrogênio, os dados foram ajustados por meio de regressões polinomiais ($P \leq 0,05$). As pressuposições de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias foram testadas por Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software Sisvar (FERREIRA, 2019).

7.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis analisadas estão apresentadas na tabela abaixo (Tabela 5) para a cultivar de grão-de-bico BRS Aleppo, com os respectivos tratamentos de diferentes doses de aplicação de N e Mg.

Tabela 5 – Efeito de diferentes combinações de doses de N e Mg sobre componentes de produção⁽¹⁾ da cultivar de grão-de-bico BRS Aleppo.

Tratamento (N:Mg)	SPAD	NV	PG	VR	MST	N-F	Mg-F	N-G
		N	g/vaso	cm ³	g/vaso	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹
0-0	44,5	10,8	1,4	37,5	5,3	30,6	5,1	24,5
0-100	47,8	11,3	1,7	42,5	6,7	31,1	6,3	20,7
0-200	37,1	15,0	2,0	35,0	5,9	30,4	6,7	22,7
150-0	54,4	13,8	1,2	20,0	4,1	52,9	5,1	36,5
150-100	51,0	17,0	1,3	20,0	5,3	48,3	6,2	38,7
150-200	55,8	18,0	1,9	20,0	4,9	48,0	7,0	34,2
300-0	46,0	19,0	1,6	25,0	2,7	58,0	5,2	41,0
300-100	47,7	16,0	1,6	27,5	3,3	63,2	6,3	38,1
300-200	55,0	17,0	1,1	22,5	3,1	60,7	7,0	37,0
600-0	51,0	13,5	1,4	22,5	2,8	59,6	5,1	38,4
600-100	49,9	15,5	1,8	20,0	3,1	57,2	6,4	37,7
600-200	52,5	13,5	0,8	20,0	2,4	57,1	6,9	39,9
Teste F								
N	3,182*	4,255*	1,906 ^{NS}	17,507*	129,007*	217,188*	1,003 ^{NS}	148,198*
Mg	0,079 ^{NS}	0,765 ^{NS}	1,171 ^{NS}	0,803 ^{NS}	13,781*	0,623 ^{NS}	244,042*	2,539 ^{NS}
N × Mg	1,035 ^{NS}	1,086 ^{NS}	4,735*	0,352 ^{NS}	1,832 ^{NS}	1,953 ^{NS}	0,678 ^{NS}	3,141*
CV (%)	17,70	24,84	26,36	26,96	11,16	6,39	3,84	6,45

⁽¹⁾MSPA = massa seca da parte aérea; SPAD = Soil Plant Analysis Development (correlação com o teor foliar de clorofila); NV = número de vagens; PG = peso de grãos; VR = volume de raízes; MST = massa seca total; N-F = nitrogênio na folha; Mg-F = magnésio na folha; N-G = nitrogênio no grão.

*,^{NS} Significativo e não significativo a 5% do teste F, respectivamente.

Fonte: Autor.

O teste F é uma ferramenta estatística relevante para comparar a variabilidade entre e dentro de grupos para determinar diferenças significativas nas médias. É utilizado em diversos contextos, incluindo validação de modelos estatísticos, eficácia de modelos de regressão e teste de hipóteses sobre parâmetros de população. Em análise de regressão, o teste F é usado para avaliar a significância global do modelo, ou seja, se a equação de regressão como um todo é útil para prever a variável dependente. Nesse estudo, o teste F foi usado para verificar diferenças significativas nos componentes de produção e seu impacto nas doses de N e Mg, além da interação entre essas doses (WALPOLE et al., 2012).

O coeficiente de variação é uma medida comum da precisão em experimentos agrícolas, avaliando a variabilidade dos dados. Neste estudo, observou-se um coeficiente de variação (CV%) de 15,46 nos componentes de produção avaliados. Conforme a classificação de Gomes (2023), coeficientes de variação baixos estão abaixo de 10%, enquanto os médios, como o encontrado, situam-se entre 10% e 20%. Esses resultados indicam uma boa precisão dos dados experimentais, com um desvio-padrão relativamente baixo em relação à média aritmética do conjunto dos dados analisados.

A análise estatística dos componentes de produção revelou que, para as variáveis SPAD, número de vagens (NV) e volume de raízes (VR), houve efeito significativo ($P \leq 0,05$) do teste F nas diferentes doses de N. Para as doses de Mg e interação N x Mg, não houve diferença estatisticamente significativa.

Peso dos grãos é uma variável essencial como medida direta na avaliação do rendimento da colheita, influenciando tanto a produtividade quanto a lucratividade das culturas (SMITH et al., 2015). Além disso, é um indicador importante da qualidade dos grãos e pode refletir a eficácia das práticas agrícolas e dos inputs, como fertilizantes e manejo do solo (BROWN & JONES, 2018). Essa variável também é utilizada para monitorar as condições ambientais e climáticas, fornecendo informações valiosas para os agricultores adaptarem suas estratégias de cultivo (GARCIA et al., 2020).

No estudo em questão, houve diferença significativa no teste F ($P \leq 0,05$) na interação N x Mg para a variável peso de grãos, em comparação com a aplicação isolada de cada nutriente, que não demonstrou discrepância significativa. Gupta et al. (2015) constataram dados semelhantes ao avaliar os efeitos da interação entre N e Mg no crescimento, rendimento, absorção de nutrientes e qualidade dos grãos de

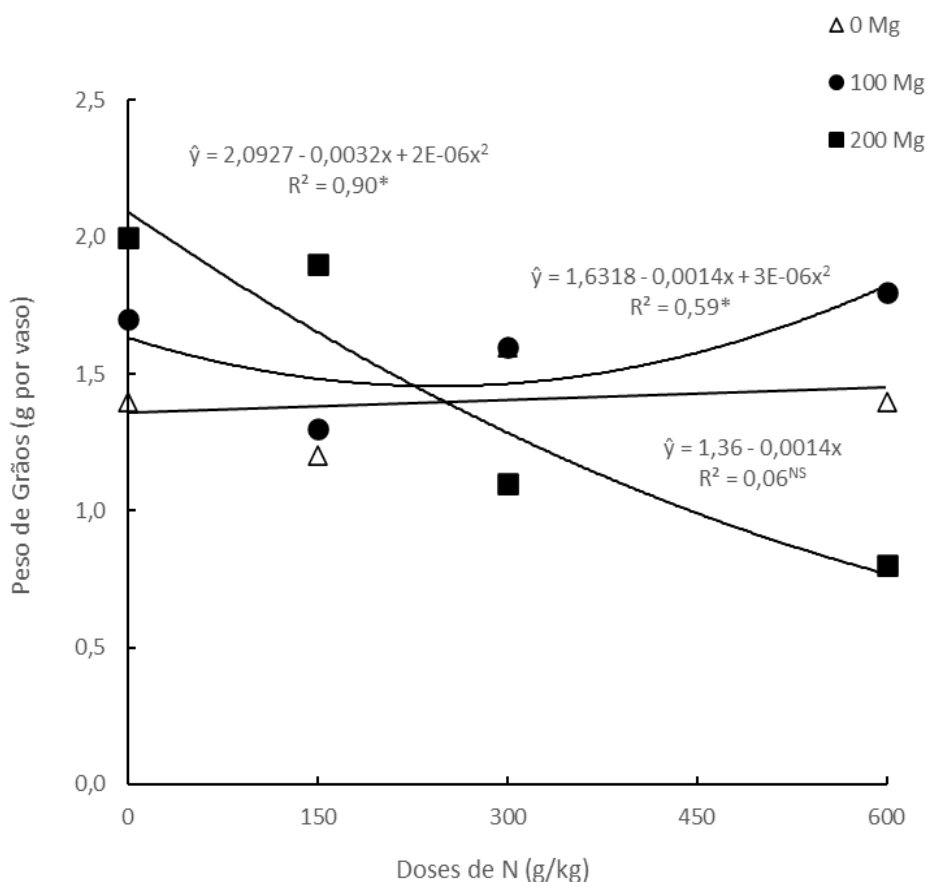
mostarda indiana (*Brassica juncea* L.). No estudo, os autores observaram que a aplicação conjunta de N e Mg resultou em aumentos significativos no crescimento vegetativo, rendimento de grãos e teor de óleo nos grãos. Além disso, observaram-se melhorias na absorção de nutrientes essenciais, como P, K e Ca, em resposta à interação entre N e Mg.

No estudo realizado por Wang et al. (2016), examinou-se a interação entre os nutrientes N e Mg no crescimento e nutrição de pepinos (*Cucumis sativus* L.). Os resultados indicaram que um equilíbrio adequado entre esses elementos favoreceu um melhor desempenho fisiológico das plantas, juntamente com uma absorção mais eficaz de nutrientes.

Na cultivar de grão-de-bico BRS Aleppo, além de representar diferença significativa na variável peso de grãos para a interação N x Mg, também observou-se significância para a interação entre esses nutrientes no teste F ($P \leq 0,05$) na análise de N nos grãos. Para esse componente de produção, também houve diferença estatística na aplicação isolada de N. Os resultados obtidos, em conjunto com outros exemplos mencionados na literatura, enfatizam a necessidade de compreender e gerenciar de forma adequada a interação entre N e Mg para melhorar o crescimento e a produtividade das culturas agrícolas. Isso destaca a importância de avaliar esses componentes ao tomar decisões relacionadas à agricultura.

A Figura 9 representa o efeito das doses de N para o peso de grãos em diferentes doses de Mg. Independentemente da quantidade de nitrogênio aplicada, observou-se que a adição de 200 mg de magnésio resultou em um decréscimo na produção. Por outro lado, na dose de 100 mg de magnésio, houve um incremento na produção de grãos, sugerindo que concentrações elevadas de magnésio podem diminuir a produtividade, independentemente da dose de N aplicada.

Figura 9 – Efeito das doses de N para o peso de grãos em diferentes doses de Mg.
 *, ns siginfcativo e não significativo a 5% de probabilidade, respectivamente.



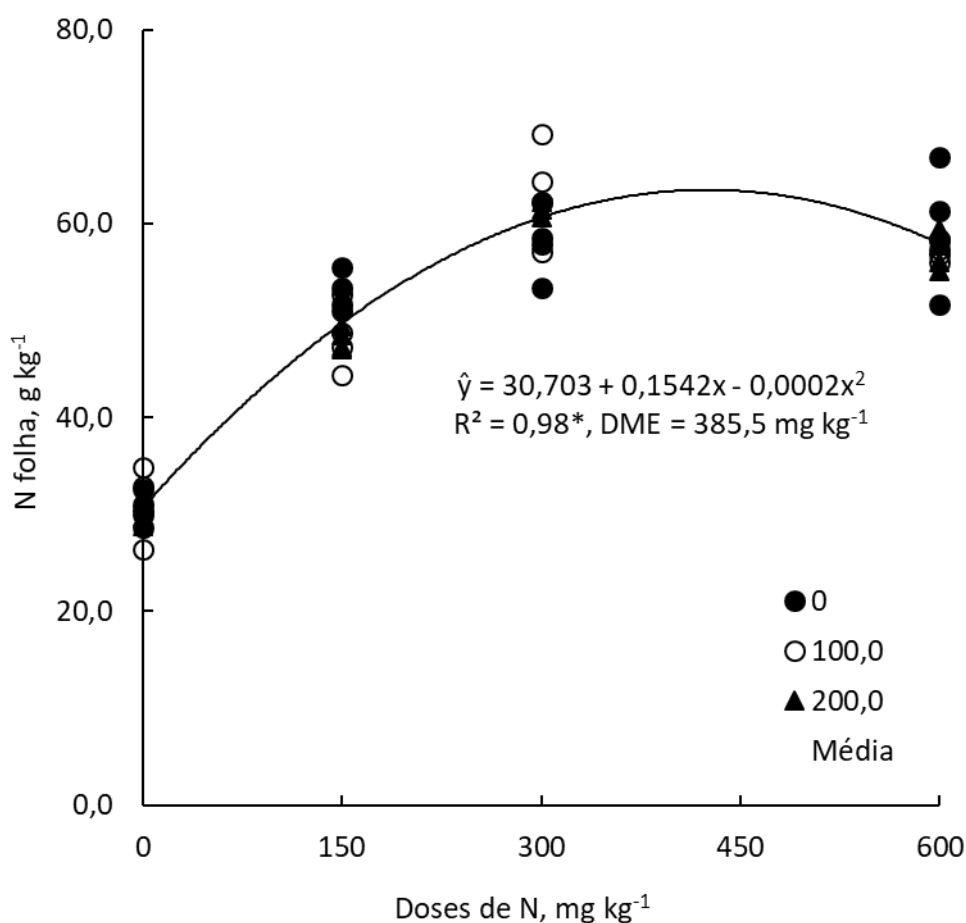
Fonte: Autor.

O teste F indicou que para matéria seca total (MST), apesar de não haver interação significativa ($P \leq 0,05$) na interação entre os nutrientes aplicados (N x Mg), quando avaliados separadamente, houve tanto resposta positiva para N (129,007*) quanto para a aplicação de Mg (13,781*) nos tratamentos.

A análise do teste F demonstrou que houve efeito significativo (217,188*) da aplicação isolada de doses de N sobre a concentração de N foliar (N-F). Na Figura 10 está representada a curva de regressão, onde foi analisado o efeito das médias das doses de N adotadas no experimento na concentração de N na folha ($g\ kg^{-1}$). Com a análise do modelo estatístico, é possível inferir que a aplicação de N em diferentes doses causou efeito positivo no incremento de N foliar, principalmente nas doses de 300 a 450 $mg\ kg^{-1}$ de N. Entretanto, a partir do tratamento com dose estimada de 385,5 $mg\ kg^{-1}$, houve decréscimo na concentração de N foliar, se acentuando ainda mais na dose de 600 $mg\ kg^{-1}$ de N.

Figura 10 – Efeito de diferentes doses de N (mg kg^{-1}) na concentração de N foliar (mg kg^{-1}).

* ,^{ns} siginificativo e não significativo a 5% de probabilidade, respectivamente.

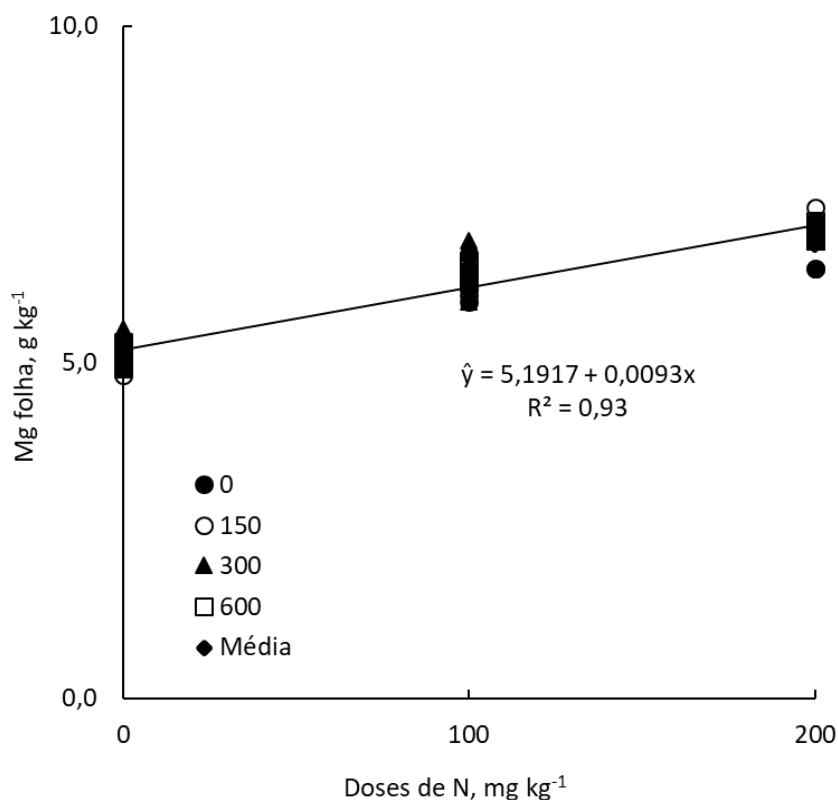


Fonte: Autor.

Os resultados apresentados corroboram os estudos realizados por Wang et al. (2018) na cultura do arroz (*Oryza sativa* L.). Os autores avaliaram os efeitos da aplicação de diferentes doses de N no crescimento e na nutrição desses vegetais e constataram que a aplicação de doses excessivas de nitrogênio resultou em um aumento significativo no crescimento vegetativo das plantas, mas também levou a uma diminuição nos teores de N foliar. Com isso, o fenômeno foi atribuído à diluição do N foliar devido ao crescimento vegetativo excessivo estimulado pela aplicação de doses elevadas de N, sem um aumento proporcional na absorção e utilização eficiente desse nutriente pelas plantas.

Figura 11 – Efeito de diferentes doses de N (mg kg^{-1}) na concentração de Mg foliar (mg kg^{-1}).

* ,^{ns} siginificativo e não significativo a 5% de probabilidade, respectivamente.

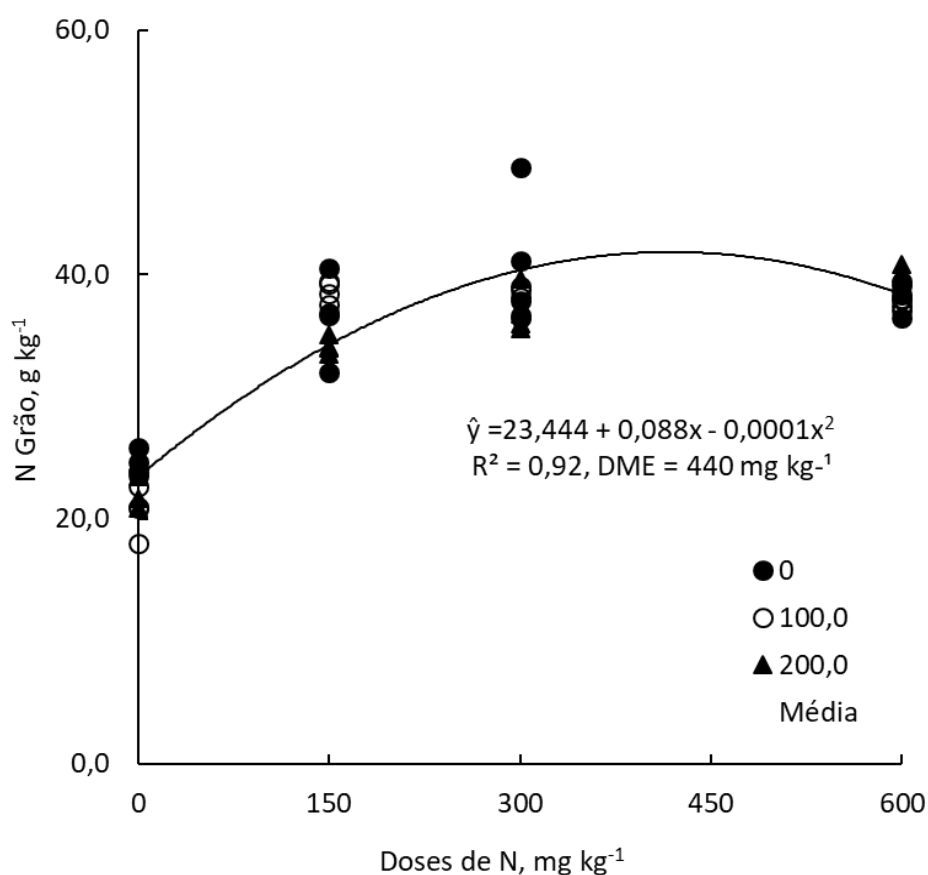


Fonte: Autor.

A análise do teste F a 5% de probabilidade permite constatar que apesar da interação entre N e Mg não apresentar efeito significativo, para a concentração de Mg foliar isoladamente, as doses de N aplicadas tiveram efeito, o que pode ser confirmado com a regressão apresentada na figura 11. Na figura, observou-se que para as médias examinadas, houve efeito linear no teor de Mg foliar, independente da dose de N aplicada.

Figura 12 – Efeito de diferentes doses de N (mg kg^{-1}) na concentração de N nos grãos (g kg^{-1}).

*,^{ns} significativo e não significativo a 5% de probabilidade, respectivamente.



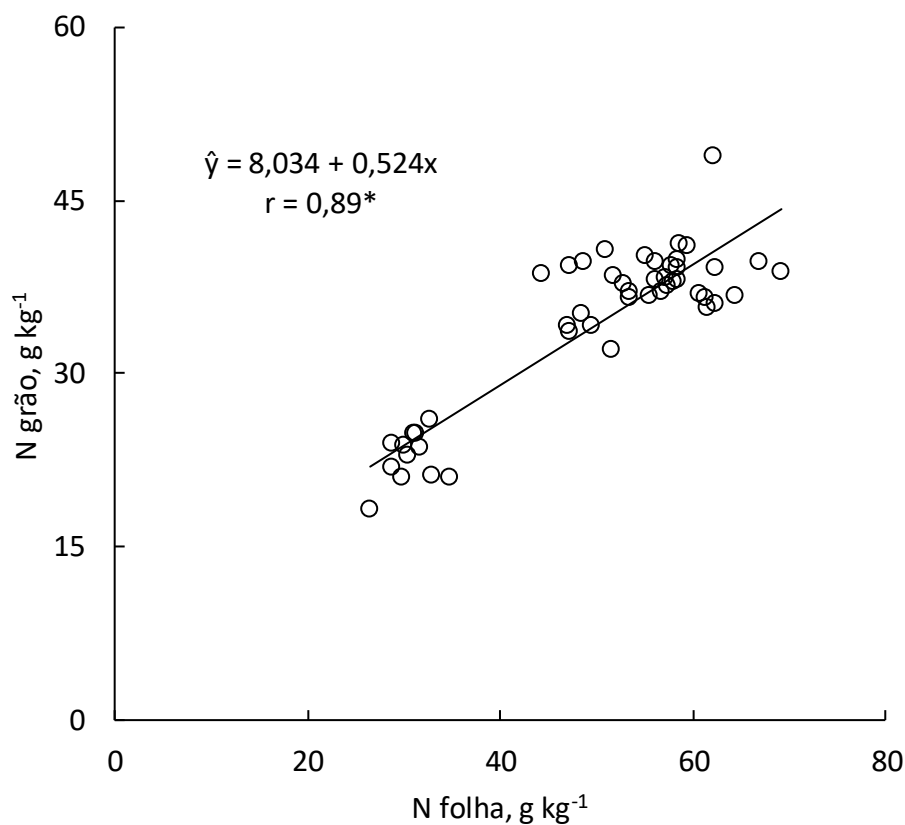
Fonte: Autor.

Na Figura 12 é evidenciado o efeito de diferentes doses de N (mg kg^{-1}) na concentração de N nos grãos (g kg^{-1}). A partir da dose de 440 mg kg^{-1} , houve decréscimo na concentração de N no grão, demonstrando que tanto na folha quanto no grão, o excesso de N pode causar diminuição na concentração de N, resultando em decréscimo na produtividade. Essa diminuição possivelmente afetou a parte fisiológica da planta, ocasionando um efeito deletério no grão (MARSCHNER, 2012; FAGERIA, 2014).

Na Figura 13, observa-se que o teor foliar de N apresentou correlação significativa com o N no grão, o que demonstra a alta mobilidade do nutriente no processo de remobilização (Malavolta, 2006), indicando que o grão é um dreno importante. Ambas as partes da planta podem ser utilizadas como indicativo do estado nutricional de N.

Figura 13 – Correlação ($P \leq 0,05$) das variáveis N na folha (g kg^{-1}) e N nos grãos (g kg^{-1}) para a cultivar de grão-de-bico BRS Aleppo.

* ,^{ns} siginificativo e não significativo a 5% de probabilidade, respectivamente.



Fonte: Autor.

7.6 CONCLUSÕES

A análise estatística dos componentes de produção demonstrou que para as variáveis SPAD, número de vagens (NV) e volume de raízes (VR), houve efeito significativo ($P \leq 0,05$) do teste F em relação às diferentes doses de N, enquanto não foram observadas diferenças estatisticamente significativas para as doses de Mg e a interação entre N e Mg.

No estudo, foi encontrada uma diferença significativa no teste F ($P \leq 0,05$) para a interação entre N e Mg na variável peso de grãos, bem como para a aplicação isolada de N. Na análise do efeito das doses de N no peso de grãos em diferentes doses de Mg, observou-se que 200 mg de Mg resultaram em uma diminuição na produção, enquanto 100 mg de Mg levaram a um aumento na produção, sugerindo que altas concentrações de Mg podem reduzir a produtividade, independentemente da dose de N aplicada, estando em consonância com

descobertas já relatadas na literatura.

O impacto das diferentes doses de N na concentração de N nos grãos é destacado, mostrando um decréscimo a partir de 440 mg kg⁻¹, indicando que o excesso de N pode diminuir a concentração de N nos grãos, afetando negativamente a produtividade. Isso pode ter efeitos deletérios na parte fisiológica da planta. Além disso, a correlação significativa entre o teor foliar de N e o N nos grãos evidenciou a alta mobilidade do nutriente, sugerindo que ambos são indicadores importantes do estado nutricional de N na planta. A aplicação de N em diferentes doses causou efeito positivo no incremento de N foliar, entretanto, a partir do tratamento com dose estimada de 385,5 mg kg⁻¹, houve decréscimo na concentração de N foliar.

A análise do teste F a 5% de probabilidade mostra que, embora a interação entre N e Mg não seja significativa, as doses de N influenciam a concentração de Mg foliar independentemente. Isso é confirmado pela regressão, que revelou um efeito linear consistente no teor de Mg foliar para várias médias examinadas, independente da dose de N aplicada.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA NETA, M. N. **Inoculação com rizobactérias e adubação nitrogenada no crescimento, produção e acúmulo de nutrientes em grão-de-bico**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Área de concentração em Produção Vegetal, Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias, 100 f., 2021.
- Alves, E. U., Bruno, R. D. L. A., Oliveira, A. P. D., Alves, A. U., Alves, A. U., & Paula, R. C. D. (2005). Influência do tamanho e da procedência de sementes *Mimosa caesalpinifolia* Benth. sobre a germinação e vigor. **Revista Árvore**, 29, 877-885.
- ALVES, J. C. M., CAMARGO, L. de O., BOTERO, W. G., & BRAGA, J. do C. (2020). Absorção de CO₂ por extratos de clorofila: perspectiva de aplicações tecnológicas. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental Da Alta Paulista**, 16(5), 2020. <https://doi.org/10.17271/1980082716520202648>.
- ARTIAGA, O. P., SPEHAR, C. R., BOITEUX, L. S., NASCIMENTO, W. M. Avaliação de genótipos de grão-de-bico em cultivo de sequeiro nas condições de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10(1), p. 102-109, 2015.
- AVELAR, R. I. S., COSTA, C. A., ROCHA, F. S., OLIVEIRA, N. L. C., NASCIMENTO, W. M. Yield of chickpeas sown at different times. **Revista Caatinga**, v. 31(4), p. 900-906, 2018.
- BATISTA, K.; MONTEIRO, F. A. Respostas morfológicas e produtivas do capim-marandu adubado com doses combinadas de nitrogênio e enxofre. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, n. 4, p. 1281-1288, 2006.
- BONFIM-SILVA, E. M., MONTEIRO, F. A. Nitrogênio e enxofre na adubação e em folhas diagnósticas e raízes do capimbraquiária em degradação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 1641-1649, 2010.
- BROWN, A.; & JONES, B. *Advances in Crop Management: Techniques for Maximizing Yield*. **Academic Press**, 2018.
- CANTARELLA, H. **Nitrogênio**. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, p. 375- 470, 2007.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIM, P. C. O.; CONTIN, T. L. M.; DIAS, F. L. F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R. B.; QUAGGIO, J. A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 4, p. 397-401, 2008.
- CARDOSO, A. I. I., & HIRAKI, H. Avaliação de doses e épocas de aplicação de nitrato de cálcio em cobertura na cultura do rabanete. **Horticultura Brasileira**, v. 19, p. 328-331, 2001.
- CARVALHO, S. I. C.; BIANCHETTI, L. D. B.; da SILVA, P. P.; NASCIMENTO, W.; & BIANCHETTI, L. de B. C. *Fenologia do grão-de-bico tipo Kabuli*, 2021.

CARVALHO, S. A. D., MATTOS JÚNIOR, D. D., & SOUZA, M. D. Efeito do KNO₃ nos teores de macronutrientes na matéria seca total de porta-enxertos cítricos produzidos em bandejas. **Bragantia**, 59, 89-94, 2000.

DAWSON, C. J.; HILTON, J. Fertilizer availability in a resource-limited world: Production and recycling of nitrogen and phosphorus. **Food Policy**, v. 36, p. S14-S22, 2011.

DE CARVALHO, S. I. C. et al. **Fenologia do grão-de-bico tipo Kabuli**. Brasília, DF. Embrapa, 24 p., 2021. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/231333/1/COT-133-final1.pdf>. Acesso em 02 de setembro de 2023.

DEMIRBAS, A. et al. Yield and nutrient uptake improvement of chickpea (*Cicer arietinum* L.) by dressing fertilization and nitrogen doses. **Agriculture for Life, Life for Agriculture Conference Proceedings**. v. 1, n. 1, p. 51-57, 2018.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 353 p., 2013.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas princípios e perspectivas**: metabolismo mineral. 2. ed. Londrina: Ed. Planta, 393 p., 2006.

FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C.; and MORAES, M. F. Nutrient uptake and use efficiency in upland rice under two nitrogen sources. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 45:461–69, 2014. doi:10.1080/00103624.2013.861907.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations, **Área colhida, rendimento e produção nos principais países produtores de grão-de-bico**, 2021. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 03 Ago. 2023.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: Ed. UFLA/FAEPE, 175 p., 2005.

FERNANDES, T. C. R.; CAMARGOS, L. F. D.; CAMILO, P. A.; JESUS, F. G. D.; & SIQUEIRA, A. P. S. Caracterização tecnológica da farinha de grão-de-bico variedade BRS cristalino. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 25, 8 p., 2022.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS. **REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019. ISSN 1983-0823. Available at: <<http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>>. Date accessed: 19 feb. 2024. doi: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.

FONSECA, J. H. S. et al. Chickpea production in response to fertilization with zinc and doses of phosphorus. **Comunicata Scientiae**, v. 11, p. e3106-e3106, 2020.

GIL, P. T. de ., FONTES, P. C. R., CECON, P. R., & FERREIRA, F. A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, 20(4), 611–615, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362002000400020>

GRAINS RESEARCH & DEVELOPMENT CORPORATION. **Chickpea section 4: plant growth and physiology**. 2018. (GRDC. GrowNotes).

GHRIBI, A. M.; SILA, A.; GAFSI, I. M.; BLECKER, C.; DANTHINE, S.; ATTIA, A.; BOUGATEF, A.; BESBES, S. Structural, functional, and ACE inhibitory properties of water-soluble polysaccharides from chickpea flours. **International journal of biological macromolecules**, v. 75, p. 276-282, 2015.

GIORDANO, M.; RAVEN, J. A. Nitrogen and sulfur assimilation in plants and algae. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 118, n. 1, p. 45-61, Aug. 2014.

GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. de; BOEIRA, R. C.; TOLEDO, L. G. de. **Nutrientes vegetais no meio ambiente: ciclos biogeoquímicos, fertilizantes e corretivos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 50 p., 2000. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 18).

GUPTA, N.; BAJPAI, A.; MAJUMDER, B.; & NEMA, R. Interactive effects of nitrogen and magnesium on growth, yield, nutrient uptake, and quality parameters of Indian mustard (*Brassica juncea* L.). **Journal of Plant Nutrition**, 38(7), 1039-1052, 2015.

HIROFUMI N. S.; HIDEMASA H.; HARUTO S.; SHIGENORI M. & TOSHIHIKO O. Field measurement of the SPAD meter-estimated leaf chlorophyll concentration using an improved technique, **Journal of Plant Research**, 130:1, 191-199, 2017. DOI: 10.1007/s10265-016-0885-1

PIMENTEL-GOMES, Frederico. Curso de estatística experimental. **Digitaliza Conteúdo**, 2023.

HEFFER, P.; PRUD'HOMME, M. **Fertilizer outlook 2013-2017: 81st IFA Annual Conference**. Paris: IFA, 8p., 2013.

HOSKEM, B. C. S.; COSTA, C. A.; NASCIMENTO, W. M.; Santos, L. D. T.; MENDES, R. B.; & MENEZES, J. B. C. Productivity and quality of chickpea seeds in Northern Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 3, p. 261-268, 2017.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J., MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro**. Embrapa Soja, 80p., 2007.

KAUR, G., et al. "Ammonia and Nitrous Oxide Emissions Following Application of Ammonium Nitrate and Urea Fertilizers to Temperate Pasture." **Agriculture, Ecosystems & Environment**, vol. 181, p. 226-233., 2013.

KAUR, N.; & GUPTA, A. K. "Applications of urea and perspectives for its sustained

release." In: **"Advances in Agronomy."** Vol. 75, pp. 1-53, 2002.

KHAZAEI, H., MADRID, E., VILLELLAS, J., AGUIRREOLEA, J., KISHOR, P. B. K., & RUBIO, J. "Chickpea (*Cicer arietinum* L.) sowing dates, systems, and genotypes: Agronomic performance in Southern Europe." **Field Crops Research**, 233, 41-49, 2019.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. **Methods in Enzymology**, 148, 350-382, 1987.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 251p., 1980.

MALAVOLTA, E. **"Manual de Nutrição Mineral de Plantas"**. Editora Agronômica Ceres, 2006.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, p. 189-238, 2007.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas; princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 318p., 1997.

MALEKI, A. et al. The effect of supplemental irrigation, nitrogen levels and inoculation with Rhizobium bacteria on seed quality of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rainfed conditions. **International Journal Current Microbiology Applied Sciences**, v. 3, n. 6, p. 902-909, 2014.

MALTA, M. R.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G. Composição química, produção e qualidade do café fertilizado com diferentes fontes e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, p. 1246-1252, 2003.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. 2 ed. Viçosa: Editora UFV, 469 p. 2007.

MARINHO, J. L. **Adubação nitrogenada e densidade de semeadura no desempenho produtivo, qualidade de sementes e tecnológica de grãos de genótipos de trigo**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 158 f., 2021.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed. Melbourne: Elsevier, 651 p., 2012.

MENDES, R. B.; & MENEZES, J. B. C. Productivity and quality of chickpea seeds in Northern Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 3, p. 261-268, 2017.

MENDONÇA, E. S.; LOURES E. G. **Matéria orgânica do solo**. Brasília, DF: ABEAS, 45 p., 1996. (Módulo 5).

MORAES, L. A. C.; MOREIRA, A.; SOUZA, L. G. M.; & CERZINI, P. Nitrogen sources and rates effect on yield, nutritional status, and yield components of sunflower. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 48(14), 1627-1635, 2017.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 729 p., 2006.

NASCIMENTO, W. M.; ARTIAGA, O. P.; BOITEUX, L. S.; SUINAGA, F. A.; REIS, A.; PINHEIRO, J. B., SPEHAR, C. R. **BRS Aleppo: grão-de-bico. Maior tolerância a fungos de solo**. Brasília; Anápolis: Embrapa Hortaliças, 2014. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/134623/1/digitalizar0025.pdf>>. Acesso: 09 ago. 2022.

NASCIMENTO, W. M.; SILVA, P. P.; ARTIAGA, O. P.; SUINAGA, F. A. Grão-de-bico. In: NASCIMENTO, W. M. **Hortaliças Leguminosas**. Brasília: Embrapa Hortaliças, p.89-118, 2016.

NASCIMENTO, W. M., SUINAGA, F. A., BOITEUX, L. S., PINHEIRO, J. B., & ARTIAGA, O. P. **BRS Cristalino: grão-de-bico. Nova cultivar de grão-de-bico de dupla aptidão**. Brasília; Anápolis: Embrapa Hortaliças, 2017. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/160738/1/digitalizar0197.pdf>>. Acesso: 09 ago. 2022.

NASCIMENTO, W. M.; SUINAGA, F. A.; PINHEIRO, J. B.; MICHEREFF FILHO, M.; BOITEUX, L. S.; ARTIAGA, O. P.; SILVA, P. P. **BRS Kalifa: grão-de-bico. Cultivar com efeito supressivo sobre lagartas pequenas**. Brasília; Anápolis: Embrapa Hortaliças, 2022. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1141935/1/BRS-Kalifa.pdf>>. Acesso: 09 ago. 2022.

PAL, V.; SINGH, G.; DHALIWAL, S. S. Symbiotic parameters, growth, productivity and profitability of chickpea as influenced by zinc sulphate and urea application. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, p. 738-750, 2019.

PARAÍSO, H. A. **Produção e qualidade de sementes de genótipos de grão-de-bico em diferentes épocas de plantio no Norte de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado) – Área de concentração em Produção Vegetal, Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias, 61p., 2019.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute. 420p., 2011.

RANI, B. S.; KRISHNA, T. G. Response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) varieties to nitrogen on a calcareous vertisols. **Indian Journal of Agricultural Research**, v. 50, n. 3, p. 278-281, 2016.

REUTER, D.; ROBINSON, J. Ben (Ed.). **Plant analysis: an interpretation manual**. CSIRO publishing, 1997.

RODRIGUES, F. J.; BARCAROL, M. A.; ADAMS, C. R.; KLEIN, C.; BERWANGER, A. L. Eficiência agrônômica da cultura do milho sob diferentes fontes de nitrogênio em cobertura. **Uniciências**, v. 22, p. 66-70, 2018.

SAJJA, S. B.; SAMINENI, S.; GAUR, P. M. Botany of chickpea. In: VARSHNEY, R. K.; THUDI, M.; MUEHLBAUER, F. (ed.). **The chickpea genome**. Switzerland: Springer International Publishing, p. 13-24, 2017. DOI 10.1007/978-3-319-66117-9

SANTOS, P. L. F.; BARCELOS, J. P. Q.; CASTILHO, R. M. M. Diferentes substratos no desenvolvimento de um gramado ornamental para uso em telhados verdes. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 4, n. 10, p 81-94, 2016.

SCOTT, A.J.; and KNOTT, M. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics** 30: 507-512, 1974.

SHI, R.; & ZHANG, Y. "Influence of potassium on magnesium uptake and distribution in Flue-cured tobacco". In: "**Journal of Plant Nutrition and Soil Science**", 177(1), 105-111, 2014. DOI: 10.1002/jpln.201200594.

SINGH, S.; SINGH, I.; KAPOOR, K.; GAUR, P. M.; CHATURVEDI, S. K.; SINGH, N. P.; SANDHU, J. S. Chickpea. In: SINGH, M.; BISHT, I.S.; DUTTA., M. (ed.). **Broadening the genetic base of grain legumes**. New Delhi: Springer, p. 51-74, 2014. DOI 10.1007/978-81-322-2023-7_3

SMITH, J.; JOHNSON, R.; & WILLIAMS, A. **Agronomy Essentials: A Comprehensive Guide to Crop Production**. Publisher, 2015.

SOUZA, C. V. A. **Características agrônômicas e qualidade fisiológica de sementes de grão-de-bico em função da densidade de plantas**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 52 f., 2019.

TAIZ, L., & ZEIGER, E. **Plant Physiology (5th ed.)**. Sinauer Associates, 2014.

TAIZ, L; ZEIGER, E.; I.MØLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre, Artmed Editora, 6.ed., 858 p., 2017.

TRANCOSO, A. C. R. **Alterações anatômicas, histoquímicas e fisiológicas durante a maturação de sementes de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.)**. 35 f., 2018. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

TSAY, Y.-F.; & CHIU, C.-C. "Nitrate transporters and peptide transporters." In: "**The Arabidopsis Book / American Society of Plant Biologists**," Vol. 12, e0175, 2014. DOI: 10.1199/tab.0175.

VARSHNEY, R. K., THUDI, M., NAYAK, S. N., GAO, H., GAUR, P. M., KALE, L., ... & AZAM, R. K. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) genomics: an overview. **Plant Biotechnology Journal**, 11(3), 297-311, 2013.

VIEIRA, N. D.; MOREIRA, A.; MORAES, L. A.; CERZINI, P.; SOARES, C. V. F., &

CARDOSO, B. M. (2021). Response of Dry Bean to Nitrogen Fertilization and Inoculation with *Rhizobium Tropicum* and *Azospirillum Brasiliensis*. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 52(7), 686-694, 2021.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas**. Embrapa Meio Ambiente, Distrito Federal- DF, 1ª ed., p. 16-18, 2017.

VILLAR, M. L. P. **Manual de interpretação de análise de plantas e solos e recomendação de adubação**. Cuiabá, MT: EMPAER-MT, 182 p., 2007. (EMBAPER-MT, Série Documentos, 35).

WALPOLE, R. E.; MYERS, R. H.; MYERS, S. L.; & YE, K. **Introdução à Estatística**. LTC Editora, 2012.

WANG, X.; JIN, M.; GU, Y.; ZHANG, X.; & YUAN, X. Interactive effects of nitrogen and magnesium on growth, photosynthesis, and nutrient uptake in cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Plant and Soil**, 401(1-2), 107-119, 2016.

WANG, X.; ZHANG, Y.; YANG, C.; & ZHANG, X. (2018). Effects of nitrogen application rates on growth and nitrogen uptake of rice plants. **Journal of Plant Nutrition**, 41(10), 1320-1335, 2018.

WERNER, J. C.; PAULINO, V. T.; CANTARELLA, H.; ANDRADE, N. O.; QUAGGIO, J.A. Forrageiras. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas Instituto Agrônomo de Campinas, p.245-258. (Boletim 100), 1996.

WERNER, D.; & NEWTON, W. E. (Eds.) Nitrogen Fixation: From Molecules to Crop Productivity. **Springer**, 2000.

ZAMAN, M.; ZAMAN, Q.; MALIK, M. A.; NAWAB, K.; & KHAN, S. U. "Urea hydrolysis and nitrogen mineralization in different soils treated with urea fertilizer and urease inhibitor". In: **"American Journal of Plant Sciences"**, Vol. 4, Issue 11A, pp. 36-45, 2013. DOI: 10.4236/ajps.2013.411A2006.