

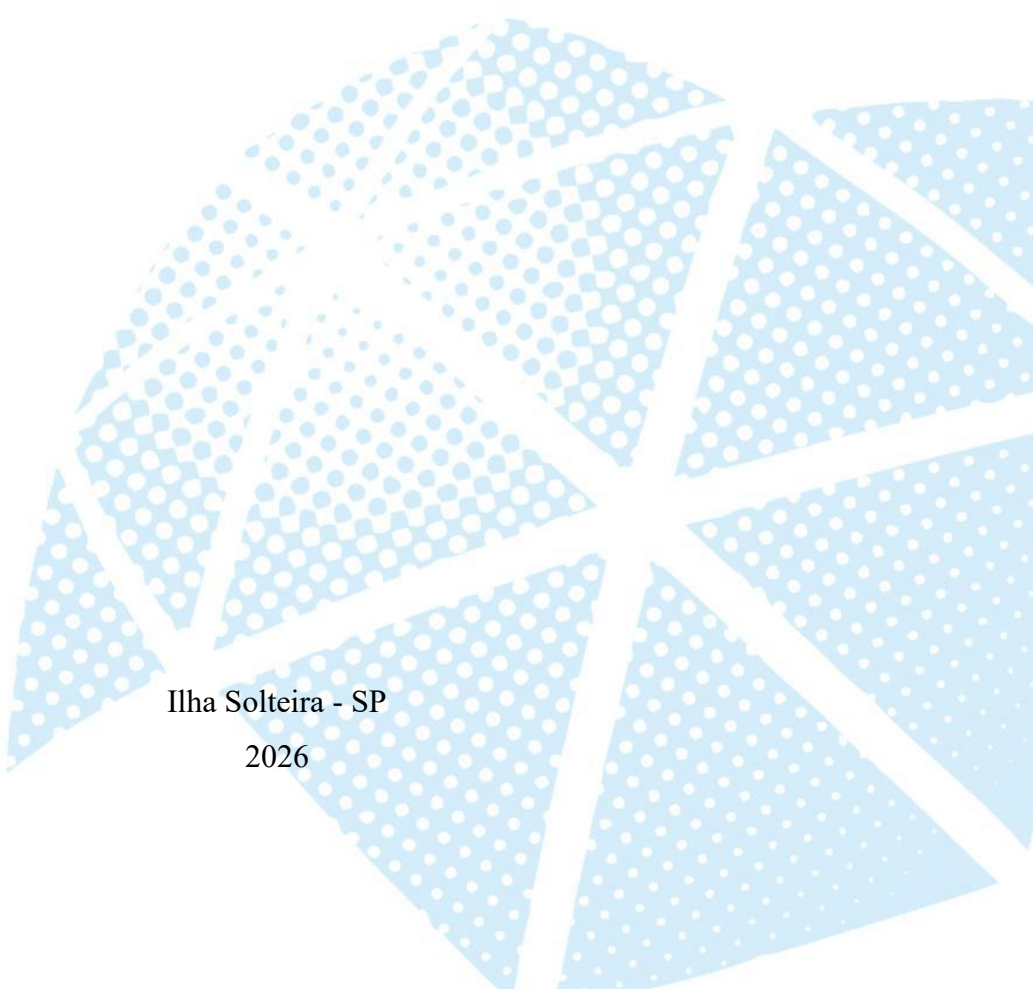
**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

EDUARDA DE ALMEIDA ABRAHÃO

**CALIBRAÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO NO CULTIVO DE HÍBRIDO DE
MILHETO GRANÍFERO EM SOLOS DE TEXTURA ARENOSA E ARGILOSA**

Ilha Solteira - SP

2026



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

EDUARDA DE ALMEIDA ABRAHÃO

**CALIBRAÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO NO CULTIVO DE HÍBRIDO DE
MILHETO GRANÍFERO EM SOLOS DE TEXTURA ARENOSA E ARGILOSA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia da Unesp – Câmpus
de Ilha Solteira para a obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Carvalho
Minhoto Teixeira Filho

Ilha Solteira - SP

2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

A159c Abrahão, Eduarda de Almeida.
Calibração de doses de nitrogênio no cultivo de híbrido de milho granífero em solos de textura arenosa e argilosa: doses de nitrogênio no milho granífero / Eduarda de Almeida Abrahão. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2026
47 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2026

Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Inclui bibliografia

1. Pennisetum glaucum L.. 2. Adubação nitrogenada. 3. Produtividade de grãos. 4. Acúmulo de nutrientes. 5. Teor de proteína.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Calibração de doses de nitrogênio no cultivo de híbrido de milho granífero em solos de textura arenosa e argilosa

ALUNO: Eduarda de Almeida Abrahão **RA:** 212051334

ORIENTADOR: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Aprovado (x) - Reprovado () pela Comissão Examinadora com Nota:10

Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO**
Data: 19/06/2026 11:48:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Presidente (Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **ANGELICA CRISTINA FERNANDES DEUS**
Data: 19/06/2026 16:24:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Angélica Cristina Fernandes Deus

Documento assinado digitalmente
 **PHILIPPE SOLANO TOLEDO SILVA**
Data: 19/06/2026 16:59:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Philippe Solano Toledo Silva

Documento assinado digitalmente
 **EDUARDA DE ALMEIDA ABRAHAO**
Data: 19/06/2026 11:36:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eduarda de Almeida Abrahão

Ilha Solteira, 19 de junho de 2026.

Dedico aos meus pais, Daniel e Solange, que me inspiram a voar e quando aterrisso, estão sempre lá para me receber.

AGRADECIMENTOS

A princípio, agradeço à Deus e ao universo por possibilitar força física e espiritual para que eu pudesse chegar até aqui.

Aos meus pais, Daniel Abrahão e Solange de Almeida Abrahão por todo amor, acolhimento e dedicação. Vocês são meu motivo de persistência ao longo desses 5 anos pautados de adversidades, as quais me proporcionaram crescimento pessoal. Obrigada por não medirem esforços quando se trata de promover o melhor que vocês podem para mim, independentemente de qualquer circunstância.

Aos meus avós, Izael de Almeida e Maria Aparecida Pania de Almeida pela sabedoria transmitida, pelo zelo e amor de sempre.

Às minhas tias e tios, Andreia Pania de Almeida, Adriana Aparecida Pania de Almeida Lucinéia de Almeida por todo cuidado, acolhimento e amor, me incentivando sempre no meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos meus tios, Luiz Fernando Maduro e Adam Von Dohren por todo apoio.

Aos meus primos queridos, Luiz Felipe de Almeida Maduro e Naia de Almeida Vicente Pereira, por todo carinho, amor e admiração.

Ao meu namorado, André Ribeiro Batista, por todo amor, companheirismo e cuidado. Estar contigo é como estar leve e em paz. Obrigada por todo apoio, independente de que sejam em dias de chuva ou sol, você sempre está lá. Obrigada por fazer todos meus dias serem mais felizes ao seu lado.

Aos meus amigos, Leonardo de Almeida Palamin, Bárbara de Almeida Negrão, Luiza Van Leeuwen, os quais são meus irmãos que encontrei, sendo alicerces em minha trajetória na graduação.

Aos meus amigos, Livia Pimenta Rocha, Gabriel de Souza Gerolim, Jhonatan Ferreira Valeriano e Pedro Henrique Afonso Silva, por toda parceria, apoio e amizade durante esses anos.

À República Cabaret, onde morei 4 anos durante a graduação, obrigada por todos os momentos vividos.

Ao meu orientador Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, pela orientação e suporte em toda minha trajetória acadêmica, além da proporção de oportunidades as quais enriqueceram meu conhecimento agrônomo e profissional. Estendo meus agradecimentos também a todos os membros do Grupo Nutrição de Plantas e à UNESP.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro, concedido por meio do Processo nº 2024/2410637-0.

“O segredo, querida Alice, é rodear-se de pessoas que te façam sorrir o coração. É então, e só então, que estarás no país das maravilhas”.

-Chapeleiro Maluco em Alice no País das Maravilhas de Lewis Carroll, 1865.

RESUMO

O milho granífero é cultivado em diversas partes do mundo, cujos grãos são utilizados para a alimentação humana ou animal. Na atualidade, está ganhando espaço em meio as lavouras brasileiras, pois apresenta baixo custo de produção, sendo uma alternativa de diversificação de plantio em áreas de risco de semeadura do milho, graças à sua característica de maior tolerância à seca. Nesse sentido, o estudo de doses de N no cultivo de híbrido de milho granífero teve como intuito estimar a quantidade do nutriente que propiciará a maior produtividade de grãos para cultura, evitando assim a aplicação de doses aquém ou além do ótimo. Além de ser benéfica para manutenção da palhada no sistema plantio direto, estimulará os agricultores a cultivarem mais o milho granífero e contribuirá para uma agricultura mais sustentável e diversificada. Logo, para fins de recomendação de adubação nitrogenada, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de doses de N, na nutrição, extração de nutrientes e produtividade de grãos e palhada de híbrido de milho granífero em solo de texturas contrastantes. Os experimentos foram conduzidos respectivamente em solo argiloso e arenoso nos dois locais: na Fazenda de Extensão e Pesquisa (FEPE) da Faculdade de Engenharia (FEIS) da Universidade Estadual Paulista (UNESP/Ilha Solteira) e na Faculdade de Ciências Tecnológicas e Agrárias (FCTA) - UNESP/Dracena. Nos dois locais, os experimentos foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, sendo os tratamentos compostos por doses de N (0,0; 25,0; 50,0; 100,0 e 200 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia). As doses de N foram aplicadas no sulco de semeadura e em cobertura (35 dias após a emergência das plântulas - DAE em solo argiloso e aos 35 e 50 DAE em solo arenoso, parcelado em doses iguais) nas entrelinhas, sendo as quantidades de 37,5% e 62,5% (do total aplicado), respectivamente. Foram avaliados: concentração foliar, extração de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn; índice de clorofila foliar; altura da planta, comprimento da panícula, massa de grãos por panícula, massa de 100 grãos, produtividade grãos e de palhada; teor de proteína bruta (PB), de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA). O incremento das doses de N aumentou a produtividade de grãos de milho até a dose estimada de 119 kg ha⁻¹ de N no solo de textura argilosa com sistema plantio direto consolidado, sendo 28% superior em relação à testemunha. Já no solo de textura arenosa e na fase inicial de implantação do sistema plantio direto, a produtividade de grãos de milho aumentou linearmente com incremento das doses de N, com a máxima obtida com 200 kg ha⁻¹ de N, sendo 26% maior em relação à testemunha. A adubação nitrogenada aumentou a matéria seca da parte aérea, o comprimento de panícula, a massa de grãos por panícula e, conseqüentemente, a produtividade de grãos e o teor de proteína bruta nos grãos do híbrido de milho granífero.

Palavras-chave: *Pennisetum glaucum* L.; Adubação nitrogenada; Produtividade de grãos; Acúmulo de nutrientes; Teor de proteína.

ABSTRACT

The pearl millet is cultivated in various parts of the world, with its grains used for human or animal feed. Currently, it is gaining ground in Brazilian agriculture due to its low production cost, offering a diversified planting alternative in areas at risk of corn sowing, thanks to its greater drought tolerance. In this sense, the study of nitrogen (N) doses in pearl millet hybrid cultivation aimed to estimate the amount of nutrient that will provide the highest grain productivity for the crop, avoiding the application of doses below or above the optimum. Besides being beneficial for maintaining crop residue in no-till systems, it will encourage farmers to cultivate more pearl millet and contribute to a more sustainable and diversified agriculture. Therefore, for the purpose of recommending nitrogen fertilization, the objective of this study was to evaluate the effect of N doses on the nutrition, nutrient extraction, and productivity of grain and crop residue of millet hybrids in soils with contrasting textures. The experiments were conducted respectively in clayey and sandy soil at two locations: at the Extension and Research Farm (FEPE) of the Faculty of Engineering (FEIS) of the São Paulo State University (UNESP/Ilha Solteira) and at the Faculty of Technological and Agricultural Sciences (FCTA) - UNESP/Dracena. At both locations, the experiments were conducted in a randomized block design with four replications and the treatments consists in doses of N (0.0; 25.0, 50.0, 100.0, and 200 kg ha⁻¹ of N (in the form of urea). N doses were applied in the sowing furrow and as topdressing (35 days after seedling emergence - DAE in clay soil and at 35 and 50 DAE in sandy soil, split into equal doses) between rows, with amounts of 37.5% and 62.5% (of the total applied), respectively. The following were evaluated: leaf concentration, extraction of N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, and Zn; leaf chlorophyll index; plant height, panicle length, grain mass per panicle, mass of 100 grains, grain and straw yield; crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), and acid detergent fiber (ADF) content. Increasing nitrogen (N) doses increased millet grain productivity up to an estimated dose of 119 kg ha⁻¹ of N in clayey soil with a consolidated no-till system, representing a 28% increase compared to the control. In sandy soil and during the initial implementation phase of the no-till system, millet grain productivity increased linearly with increasing N doses, reaching a maximum of 200 kg ha⁻¹ of N, representing a 26% increase compared to the control. Nitrogen fertilization increased shoot dry matter, panicle length, grain mass per panicle, and consequently, grain productivity and crude protein content in the grains of the grain millet hybrid.

Keywords: *Pennisetum glaucum* L.; Nitrogen Fertilization; Grains yield; Nutrient accumulation; Crude protein.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Área experimental de solo argiloso em Selvíria/MS	24
Figura 2- Área experimental de solo arenoso em Dracena/SP	25
Figura 3- Avaliação de ICF e coleta de folha diagnose do milho granífero.....	27
Figura 4- Avaliações: (A)-Colheita do milho granífero, (B) Medição da altura da planta, (C) Comprimento da panícula e (D) Massa de grãos por panícula.....	28
Figura 5- Avaliações: (A) e (B)- Moagem da amostra; (C)-Pesagem da amostra; (D)-Análise química de concentração de nutrientes	29
Figura 6- Produtividade de grãos de milho (ADR_G experimental) em função da aplicação de doses de N em duas localidades: Selvíria/MS (Solo de textura argilosa) (A) e Dracena/SP (Solo de textura arenosa) (B).	32
Figura 7- Produção Relativa de grãos de milho (ADR_G experimental) em função da aplicação de doses de N em duas localidades: Selvíria/MS (Solo de textura argilosa) (A) e Dracena/SP (Solo de textura arenosa) (B).....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Análise química inicial do solo em duas localidades: Selvíria/MS (sistema plantio direto consolidado) e Dracena/SP (sistema plantio direto recente).	25
Tabela 2- Manejo da adubação para os experimentos de doses de N para a cultura do milho (híbrido granífero ADR _G experimental).	26
Tabela 3- Altura de planta (ALT), comprimento de panícula (CP), massa de grãos por panícula (MGP), massa de cem grãos (MCG), matéria seca da parte aérea (MSPA) e produtividade de grãos (PG) da cultura do milho (ADR _G experimental) em função da aplicação de doses de N em duas localidades: Selvíria/MS (Solo de textura argilosa) e Dracena/SP (Solo de textura arenosa)	30
Tabela 4- Clorofilas <i>a</i> , <i>b</i> e total na folha diagnose da cultura do milho (ADR _G experimental) em função da aplicação de doses de N em duas localidades: Selvíria/MS (Solo de textura argilosa) e Dracena/SP (Solo de textura arenosa)	34
Tabela 5- Concentração de macronutrientes na folha diagnose da cultura do milho (ADR _G experimental) em função da aplicação de doses de N em duas localidades: Selvíria/MS (Solo de textura argilosa) e Dracena/SP (Solo de textura arenosa).....	36
Tabela 6- Concentração de micronutrientes na folha diagnose da cultura do milho (ADR _G experimental) em função da aplicação de doses de N em duas localidades: Selvíria/MS (Solo de textura argilosa) e Dracena/SP (Solo de textura arenosa).	37
Tabela 7- Acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas de milho (ADR _G experimental) em função da aplicação de doses de N em duas localidades: Selvíria/MS (Solo de textura argilosa) e Dracena/SP (Solo de textura arenosa).....	38
Tabela 8- Acúmulo de micronutrientes na parte aérea das plantas de milho (ADR _G experimental) em função da aplicação de doses de N em duas localidades: Selvíria/MS (Solo de textura argilosa) e Dracena/SP (Solo de textura arenosa).....	39
Tabela 9- Teor de proteína bruta (PB), de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) nos grãos das plantas de milho (ADR _G experimental) em função da aplicação de doses de N em duas localidades: Selvíria/MS (Solo de textura argilosa) e Dracena/SP (Solo de textura arenosa)	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	MILHETO	16
2.2	NITROGÊNIO E ADUBAÇÃO NITROGENADA	20
3	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	24
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	26
3.3	AVALIAÇÕES REALIZADAS.....	27
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
5	CONCLUSÃO.....	422
	REFERÊNCIAS.....	423

1 INTRODUÇÃO

O milheto (*Pennisetum glaucum* L), cultura anual pertencente à família Poaceae, é uma espécie forrageira que pode ser utilizada na produção de palhada, silagem ou grãos demonstrando grande potencial produtivo, visto que a espécie apresenta pouca exigência em fertilidade do solo e resistente a baixa disponibilidade hídrica (Jacovetti *et al.*, 2018). Esta cultura, originária do sul do deserto do Saara, foi levada para a Índia por volta de 2.000 a.C., tendo assim gerado genótipos distintos dos originais africanos. No Brasil, começou a ser cultivada no Rio Grande do Sul em 1929, inicialmente para alimentação animal e como cobertura no plantio direto. Esta planta forrageira de metabolismo C4 é resistente à seca, possui ciclo curto, um rápido crescimento e alto valor nutritivo. É bem adaptada a solos com baixa fertilidade, pH baixo e alta salinidade, seu desenvolvimento é maximizado em solos férteis ou fertilizados (Gorgen *et al.*, 2016; Pereira Filho, 2016; Silva *et al.*, 2014).

Nos sistemas de produção de grãos em uso no país, ele é geralmente utilizado como cultura de rotação, semeado, sobretudo em safrinha. Assim, em geral, seu desenvolvimento depende do efeito residual da adubação de outras culturas. Contudo, para aumentar sua produtividade, é necessário um manejo adequado da adubação, com a correta aplicação de nutrientes. Estudos mostram que o milheto atua como uma "bomba biológica", extraindo nutrientes do solo e liberando-os gradualmente na palhada para o solo. Além disso, auxilia no controle da erosão e das ervas daninhas, mantendo a umidade do solo e regulando sua temperatura, contribuindo assim para uma agricultura sustentável e a preservação ambiental (Coelho; Pereira Filho, 2012; Pereira Filho, 2016; Santos *et al.*, 2019; Teixeira *et al.*, 2011).

As regiões semiáridas do mundo são caracterizadas por possuir baixa produção de biomassa de forragem, isso, em função da baixa precipitação pluvial e da irregularidade na distribuição das chuvas, resultando em perdas na agropecuária. O semiárido brasileiro, assim como várias regiões do Brasil, não destoa dessa problemática, onde se buscam alternativas para maximizar a produção animal e vegetal (Campos *et al.*, 2011). Como possíveis soluções para melhorar a produtividade na região teríamos a introdução de culturas mais resistentes ou tolerantes à seca, e um manejo cultural diferenciado, a fim de garantir alimento que atenda às necessidades de manutenção e produção do animal.

Como já apresentado, o milheto pode ser utilizado para diversos fins. É uma planta que permite altos desempenhos e retarda a abertura dos silos quando utilizada para pastejo, pois garante pasto de qualidade até o final do outono. Pode-se produzir silagem de boa qualidade, desde que se atente para o momento ideal de ensilagem. E se mostra como um substituto

interessante ao milho e o sorgo com ganhos em produtividade quando plantado no período de safrinha (Ribeirojunior *et al.*, 2009).

Apesar de não ser exigente em fertilidade do solo, é uma cultura que responde à adubação, principalmente a nitrogenada. Em relação às respostas de aplicações de dosagens de nitrogênio (N) o milheto tem respostas significativas, podendo ter um potencial produtivo maior e com rendimento de massa em elevada escala, assim como outras gramíneas que têm boas respostas às doses de N. Além de facilitar as ciclagens e repor os níveis de N ao solo, também beneficia de forma econômica e possibilita que as culturas que serão implantadas possam utilizar esse acúmulo de N disponível ao solo, propiciando uma redução no custo com adubação tanto no plantio como na cobertura, além disso tudo deixa a palhada com mais rendimento pois pode desenvolver estágios vegetativos com maior elevação. Contudo esse benefício é possível ser explorado no sistema de rotação de cultura, proporcionando aos produtores a utilizarem o milheto como forma de rotação e, assim, desenvolverem palhada para a próxima cultura (Inomoto *et al.*, 2008).

Mesmo tendo uma boa aptidão em regiões com baixas fertilidades, para conseguir uma produção elevada é de grande importância se ter uma boa adubação e tratos culturais adequados, com relação às exigências nutricionais das plantas tornam-se mais elevadas na fase de produção, sendo assim uma das fases crítica a de crescimento e formação de colmos e formação e enchimento de grãos, portanto boa parte dos nutrientes são translocados nessas fases, a aplicação da adubação nitrogenada em períodos de exigências da cultura é o estágio principal para se ter uma boa resposta, a maioria das vezes se utiliza na forma de cobertura, e pode variar as épocas de aplicação devido o estágio germinativo, ou de crescimento da planta, outra forma que pode ser utilizada é no plantio, e logo após a emergência da planta se faz as coberturas, esse método se faz quando o plantio é feito em linha, e a maioria das vezes é destinado em uso de silagem (Rosolem; Calonego; Foloni, 2003).

O milheto granífero é cultivado em diversas partes do mundo, cujos grãos são utilizados para a alimentação humana ou animal. Na atualidade, é o sexto cereal mais consumido no mundo, e com o desenvolvimentos de híbridos graníferos de alto potencial produtivo e com bom desempenho agrônômico para as condições edáficas e climáticas, vem ganhando espaço em meio as lavouras brasileiras, sobretudo na região de Cerrado nas últimas safras, pois apresenta baixo custo de produção, sendo uma alternativa de diversificação de plantio em áreas de risco de semeadura do milho, graça à sua característica de maior tolerância à seca (FAO,2023). No Brasil, seu principal uso do milheto é como planta forrageira ou de cobertura para o sistema

plantio direto. Em outros países constitui na maior fonte de alimento (grãos) de populações pobres que vivem, principalmente, em regiões com severos déficits hídricos na Ásia e África.

Nesse contexto, a utilização de cultivares e híbridos de alto potencial produtivo associadas a tecnologias que promovam maior resiliência aos sistemas de produção, e comprometida com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são de fundamental importância para o sucesso da atividade agrícola moderna. Contudo, o atual manejo da adubação nitrogenada da cultura do milheto granífero é empírica, sendo utilizadas quantidades de adubos com base na experiência prática dos agricultores ou tendo como referência a recomendação de adubação de outras gramíneas, como o sorgo. Além disso, até então o principal foco da cultura é a produção de forragem e cobertura do solo e, conseqüentemente, maior escassez de informação existem em relação a produtividade de grãos. A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), em seus boletins de acompanhamento de safra não inclui dados de área plantada, produtividade ou produção nacional de grãos de milheto (CONAB, 2025).

Portanto, para fins de recomendação de adubação nitrogenada, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de doses de N, na nutrição, extração e exportação de nutrientes e produtividade de grãos e palhada de híbrido de milheto granífero em solo de textura arenosa e de textura argilosa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MILHETO

O milheto é uma gramínea cespitosa, de porte ereto e perfilhamento farto, cuja altura do colmo pode ser superior a 3,0 m. De 50 a 55 dias depois da emergência, é possível atingir 1,5 m. Possui folhas longas (20 a 100cm) com lâminas largas (5 a 10 cm) e bordos serrados, com lígula pilosa, sendo a inflorescência uma panícula cilíndrica e longa (10 a 50 cm de comprimento e 0,5 a 4,0 cm de diâmetro) (Fontaneli *et al.*, 2009). Apresenta um ciclo produtivo de 60 a 90 dias para as cultivares precoces ou de 100 a 150 dias para as tardias, com temperatura ideal de 28 a 30 °C (Landau; Pereira Filho, 2009). Em termos qualitativos, o teor de proteína bruta varia de 7% a mais de 20% (Fontaneli *et al.*, 2009) e níveis relativamente baixos de Fibra em Detergente Neutro (FDN) quando comparado com outras espécies forrageiras tropicais, dependendo da contribuição de folhas na forragem amostrada, o que permite bons ganhos de peso quando pastejado por bovinos de corte.

O milheto é uma forrageira de metabolismo C4, moderadamente resistente a seca, ciclo curto, crescimento rápido, com boa capacidade de rebrota e perfilhamento, alto valor nutritivo e por conta de sua origem africana, é adaptado para condições como solos com baixo pH, alta salinidade e tolerância a baixa fertilidade, entretanto, apresenta alta produção em solos férteis ou adubados (Silva *et al.*, 2012). Sua produção pode se destinar tanto ao uso como forragem verde para pastejo, para armazenamento e uso posterior na forma de silagem ou para a produção de grãos.

A produtividade do milheto relaciona-se às condições climáticas, época de semeadura, fertilidade do solo, época de corte, estágio de desenvolvimento e cultivar utilizada (Silva, 2016). De acordo com Herrada *et al.* (2017), o milheto apresenta elevada tolerância a climas secos e altas temperaturas, devido ao seu sistema radicular profundo, capaz de captar água e nutrientes. Segundo Padovan *et al.* (2011), por apresentar elevado acúmulo de biomassa e nutrientes na parte aérea das plantas, o milheto consiste em uma alternativa altamente promissora para adubação verde. Além disso, é resistente às principais pragas, reduz a população de nematóides, como o *Meloidogyne incógnita e javanica*, *Pratylenchus brachyurus* e *Rotylenchulus reniformis*, podendo ter um bom aproveitamento pela pecuária, já que é um ótimo complemento aos capins que apresentam baixos teores de carboidrato e proteína. (Almeida; Ferreira, 2012).

De acordo Jacovetti *et al.* (2018), o milheto possui características qualitativas que permitem produzir silagem com qualidade similar às demais forrageiras tradicionais, contudo, sua viabilidade econômica depende da eficiência produtiva para competir com o milho. Amaral

et al. (2008), avaliando a qualidade e o valor nutritivo de três cultivares de milho observaram nas silagens dos três materiais odor agradável, coloração verde parda, textura firme e ausência de partes mofadas.

Gonçalves *et al.* (2010) avaliaram os efeitos da substituição do grão de milho pelo grão de milho em dietas contendo silagem de milho ou de capim-elefante. De acordo com os autores, a substituição proposta não alterou o consumo e digestibilidade aparente de matéria seca, matéria orgânica, proteína bruta e fibra em detergente neutro, bem como o consumo de extrato etéreo e digestibilidade de fibra em detergente ácido. Dessa forma, o grão de milho pode substituir totalmente o grão de milho na alimentação de bovinos de corte. Além disso, Garcia *et al.* (2012), pesquisando o desempenho de codornas japonesas alimentadas com dietas de substituição de milho por milho, evidenciaram que a substituição total do milho por milho não interferiu na produção de ovos e proporcionou a redução do investimento com alimentação de forma satisfatória.

O sistema plantio direto tem sido uma das melhores alternativas para a manutenção dos recursos naturais na utilização dos solos (Oliveira *et al.*, 2002). A aplicação desse manejo em áreas de cultivo de grãos consolidou-se como uma técnica eficiente de conservação do solo, água e redução de custos operacionais. Entretanto, algumas condições como a rotação de culturas, produção de fitomassa e cobertura do solo são fundamentais para a implantação e manutenção deste sistema (Andrioli *et al.*, 2008).

A cobertura do solo possui papel essencial no plantio direto, onde as espécies utilizadas como cobertura trazem benefícios às propriedades químicas e físicas do mesmo. Para Silva *et al.* (2017), nas regiões de Cerrado, ambiente de altas precipitações pluviais e temperaturas elevadas, é importante a adoção de um manejo que proteja o solo, retenha e armazene a água das chuvas. Neste sentido, a formação de palhada tem como função amparar o solo do impacto das gotas da chuva, e minimizar as perdas de água por evapotranspiração.

As plantas de cobertura utilizadas na formação de palhada para o sistema são essenciais para a ciclagem de nutrientes, desde os adicionados pelos fertilizantes minerais que não são aproveitados pelas culturas comerciais, até aqueles provenientes da mineralização da matéria orgânica do solo (Torres *et al.*, 2008).

Em outros países, o milho constitui na maior fonte de alimento (grãos) de populações pobres que vivem, principalmente, em regiões com severos déficits hídricos na Ásia e África, sendo os maiores produtores a Índia (34%), Nigéria (24%), Níger (9%), China (6%) e Burkina Faso (4%) (Embrapa, 2016). Atualmente é o sexto grão mais consumido no mundo, vem ganhando espaço em meio as lavouras brasileiras e mato-grossenses nas últimas safras, pois

apresenta baixo custo de produção, sendo uma alternativa de diversificação de cultivo em áreas de risco de semeadura do milho fora da sua janela ideal (Canal Rural, 2023).

Portanto, além de ser ótima opção como cobertura do solo, na agricultura, agora surge também como uma excelente opção de alimentação, pois é rico em proteína, com teores entre 12 e 20%, podendo substituir outros alimentos como a carne, e por isso é uma opção aos vegetarianos. Além dessa propriedade, o grão de milheto contém concentrações interessantes de cálcio, fósforo, potássio, possui alto teor de ômega 3, substância que ajuda a diminuir triglicerídeos e a reduzir o efeito do colesterol ruim (LDL), previne doenças do coração, ajuda a controlar diabetes. Isso sem falar que contribui no tratamento do câncer e potencializa a atividade cerebral colaborando não apenas para um raciocínio rápido, mas para estimular o bom humor e a motivação (Gazeta Digital, 2009).

Em termos nutricionais, o milheto tem 50% a mais de proteína do que o milho, melhor perfil de aminoácidos, maior teor de óleo, é livre de aflatoxina e não contém glúten, sendo que os benefícios que o grão apresenta fez com que a Organização das Nações Unidas (ONU) promovesse em 2023 o “Ano Internacional do Milheto”. Entre esses benefícios, estão o impulso ao desenvolvimento sustentável, a eliminação da fome, a adaptação às mudanças climáticas, a promoção da biodiversidade e a transformação dos sistemas agroalimentares (Canal Rural, 2023).

O milheto é uma forrageira que também atende a diversificação no uso de plantas forrageiras para bovinos, sendo de grande importância, utilizada principalmente em sistemas produtivos mais tecnificados. Sua característica principal é alto potencial de produção de forragem com alta qualidade em período mais curto, no qual pode suportar altas taxas de lotação. Além disso, a sua produção pode ser destinada tanto ao uso como forragem verde para pastejo, como para silagem, ou para a produção de grãos (Albuquerque *et al.*, 2020). Entre os cultivares de milheto disponíveis aos produtores no Brasil, o cultivar ADR 500 é um dos mais estudados e tido como referência na maior parte dos estudos cujo objetivo é sua utilização como forragem para os animais. Cultivar esta, que mesmo quando incorporado seu plantio na entressafra, geraram acúmulos de matéria seca próximos a 6.000 e 4.600 kg ha⁻¹ (Campos *et al.*, 2011; Pittelkow *et al.*, 2012).

Asmus e Andrade (1998) relataram também o efeito do cultivo do milheto no controle de nematóides das galhas (*Meloydogine javanica* e *Meloydogine incognita*), e atualmente também há cultivares disponíveis ao produtor com baixo fator de reprodução para o nematóide das lesões. Dentre outros pontos positivos, devido a presença de um sistema radicular fasciculado e profundo, o milheto também auxilia na melhoria das características físicas do

solo, o que ficou evidenciado nas pesquisas desenvolvidas por Silva *et al.* (2017), onde o solo mantido com milheto apresentou menores valores de densidade e maiores valores de porosidade total.

O milheto é uma escolha apropriada para combater escassez de água, aumento populacional e clima mudança em conjunto com o aumento da salinidade, seca, solos inférteis e degradação da terra. Além disso, a cultura pode contribuir para a luta contra a pobreza e a insegurança alimentar para alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável, especialmente em ambientes marginais, salinos do Egito (Salem, 2020). Na Índia, maior produtor de grãos de milheto do mundo (Jukanti *et al.*, 2016), vários estudos de adubação da cultura visam aumentar a produtividade e a qualidade de grãos, com associação de macro e micronutrientes (principalmente o zinco) que visa a biofortificação dos grãos de milheto, ou seja, o seu enriquecimento, o que propicia alimento de melhor qualidade nutricional (Singh *et al.*, 2017; Reddy *et al.*, 2022).

Em relação a produtividade de grãos, estas são muito baixos (900 kg ha^{-1} - média mundial) quando comparados com a média registrada para os casos de outros cereais, como o milho e o sorgo (EMBRAPA, 2016). No entanto, devido ao melhoramento genético, com o desenvolvimento de híbridos graníferos, a cultura pode ter produtividade acima de 40 a 50 sacas ha^{-1} ($2400 \text{ a } 3000 \text{ kg ha}^{-1}$) (Atto Sementes, 2023).

Além da avaliação de cultivares adaptados às condições da região, as características do solo e a deficiência de nutrientes específicos podem afetar o desenvolvimento e a produtividade das plantas forrageiras. Destaca-se nesse contexto a deficiência de nitrogênio (N) como fator limitante para produção das gramíneas, podendo comprometer o crescimento e a produtividade de biomassa (Melo *et al.*, 2015). Desta forma, a adubação com N é uma importante ferramenta para otimizar a produção de matéria seca (MS), sendo o nutriente responsável por promover a expansão celular, o desenvolvimento da parte aérea da planta, além de ser componente essencial de pigmentos (clorofila) e proteínas, com grande efeito sobre a fisiologia do vegetal (Taiz *et al.*, 2017).

Para o manejo nutricional da cultura do milheto (adubação), apenas a Circular Técnica da Embrapa (Manejo da Cultura do Milheto) contém uma recomendação de adubação de N, P e K para a cultura, sendo o foco a utilização da cultura para forragem (pastejo ou ensilagem) ou planta de cobertura (Pereira Filho *et al.*, 2003). No entanto, não há uma recomendação da adubação para a cultura do milheto graníferos, ainda mais para híbridos. Como exemplo, o Boletim 100: recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, publicado em 2022 (Cantarella *et al.*, 2022).

Entretanto, apesar do bom desempenho em condições menos favoráveis, em que outras culturas tradicionais como milho, sorgo e soja não se desenvolveriam tão bem, o milheto é uma cultura altamente responsiva às adubações. Dessa forma, a obtenção de produtividades mais elevadas envolve um manejo adequado da adubação para o milheto. Este manejo envolve a recomendação de doses de N adequadas de acordo com a exigência da cultura, bem como uma série de outras medidas relacionadas às formas de aplicação, à época e às fontes de fertilizantes (Resende *et al.*, 2016). Assim sendo, diante das grandes potencialidades apresentadas pelo milheto, seja em função da sua alta adaptabilidade a condições menos propícias a culturas tradicionais seja em função da sua ampla gama de usos (cobertura do solo, pastagem, silagem e grãos), investimentos em pesquisas que otimizem o seu desempenho, a exemplo da adubação nitrogenada se mostram muito promissoras.

Nesse sentido, a cultura do milheto além de consagrada como planta produtora de forragem e de cobertura do solo, apresenta atualmente no país um potencial para abastecimento de grãos com a finalidade de alimentação animal e humana. No entanto, não há uma recomendação de adubação nitrogenada para híbridos de milheto granífero, o que reforça a importância destes estudos.

2.2 NITROGÊNIO E ADUBAÇÃO NITROGENADA

O N é constituinte de vários compostos em plantas, destacando-se os aminoácidos, ácidos nucleicos, proteínas e clorofila. No solo a principal fonte de N para as plantas é proveniente da mineralização da matéria orgânica (M.O.) (Cantarella, 2007). Na camada arável do solo o N encontra-se principalmente em formas orgânicas, ligado a restos vegetais parcialmente decompostos, ao húmus e, em menores quantidades, nas formas de nitrato e amônio, expressivamente assimiláveis pelas plantas (Lopes; Bastos; Daher, 2007). O NH_4^+ proveniente da fertilização nitrogenada e da mineralização da M.O. é absorvido pelas plantas, entretanto, o NO_3^- é a forma de N predominantemente absorvida (Malavolta, 2006), por estar mais disponível no solo. A aplicação de fertilizantes nitrogenados trata-se de uma alternativa para restabelecer a fertilidade do solo e, assim, a recuperação de áreas degradadas (Silva, 2017).

Dentre os nutrientes, o nitrogênio (N) se destaca no nível de importância, por incrementar a produtividade das gramíneas forrageiras, sendo o principal constituinte das proteínas que participam ativamente na síntese dos compostos orgânicos que formam a estrutura vegetal. Sendo este, imprescindível nas características das plantas, como por exemplo, o comprimento da folha e do colmo, e o aparecimento dos perfilhos (Simili *et al.*, 2008). Destaca-se nesse contexto que a deficiência de nitrogênio pode comprometer o crescimento e a produtividade de

biomassa (Melo *et al.*, 2015).

Segundo Monteiro (2013), o N é o nutriente que estimula a maior produtividade nas plantas forrageiras desde que outros fatores de produção não sejam limitantes. O N estimula o desenvolvimento de todas as partes da planta, desde o crescimento da raiz, o comprimento e o número de perfilhos, o alongamento e o número de folhas. Como resultado do maior desenvolvimento das diferentes partes da planta, observa-se o aumento da produtividade de matéria seca, como verificado em Albuquerque (2020).

Para que o processo seja eficaz, a quantidade de nitrogênio também deve ser verificada, o restante não aproveitado é perdido no sistema solo-planta-atmosfera por inúmeros processos, tais como a lixiviação, volatilização, erosão, desnitrificação e a parcela que permanece no solo na forma orgânica (Dulphy *et al.*, 1980), podendo contaminar o solo e os lençóis freáticos.

A adubação nitrogenada tem sido utilizada como forma de potencializar a produção de biomassa de forragem, no entanto, essa produção pode variar de acordo com a dose e o tipo de fonte de nitrogênio (N) empregada. As principais fontes utilizadas na produção de forrageiras são a ureia e o sulfato de amônio, que normalmente promovem respostas positivas nas características agrônômicas dessas plantas (Oliveira *et al.*, 2016; Costa *et al.*, 2020). A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil, apresentando vantagens comparativas em termos econômico e de fabricação, no entanto o fertilizante apresenta limitações em sua aplicação, em razão de perdas por volatilização de N amoniacal. Já o sulfato de amônio pode não sofrer perdas por volatilização de N amoniacal, quando o pH é inferior a 7, contudo, tem sua eficiência reduzida basicamente pela lixiviação de nitratos (Theago *et al.*, 2014).

O N e o K são os nutrientes com maior acúmulo na cultura do milho (*Pennisetum glaucum* L.) (Pereira Filho *et al.*, 2003). Rodrigues *et al.* (2012) verificaram maior acúmulo de N>K>Ca>P>Mg>S na cultura do milho. Ainda de acordo com Silva *et al.* (2012), o N é o fator que mais limita a produção de forragem em ecossistemas de pastagens do mundo e, quando utilizado corretamente, promove o rápido aumento de matéria seca. Nesse sentido, dentre os nutrientes, o N assume papel importante para a cultura.

Nobrega *et al.* (2019) avaliaram a aplicação de doses de N em quatro cultivares de milho (ADR 300; ADR 500; BRS 1201e BN 2) e constataram que a aplicação de 80 kg ha⁻¹ de N (maior dose aplicada) aumentou em 67,7% a produtividade de massa seca, sendo que esse resultado confirma o indicativo do grande potencial de resposta da cultura a adubação nitrogenada. Silva *et al.* (2012) constataram que a fertilização nitrogenada alterou a produção de matéria seca e composição bromatológica no milho forrageiro cv ADR 300; contudo, em função dos maiores teores de proteína bruta determinados, recomenda-se para a alimentação

animal a aplicação da dose de 150 kg ha⁻¹ de N. No entanto, considerando apenas a produção de matéria seca a aplicação de 91 kg ha⁻¹ de N foi suficiente para maior produção.

Guideli *et al.* (2000) verificaram que a aplicação fracionada de 150 kg ha⁻¹ de N contribuiu para se obter maior produtividade de matéria seca do milheto (*Pennisetum americanum* - cultivar Comum e CMS 02/EMBRAPA). Amaral *et al.* (2020) constataram que as doses de nitrogênio (50, 75 e 100 kg ha⁻¹ de N) influenciaram positivamente no perfilhamento e teor de clorofila das cultivares ADR 8010 e ADR 300. Negreiros Neto *et al.* (2010) constataram que o maior acúmulo de biomassa e matéria seca do milheto (BRS 1501) ocorreu nos tratamentos com aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico. Silva *et al.* (2014) verificaram que a dose de 160 kg ha⁻¹ de N deve ser aplicada aos cultivares de milheto (ADR 7010 e BRS 1505). Melo *et al.* (2015) observaram que as cultivares de milheto (BN2 e ADR 500) apresentaram maior produção de matéria seca da parte aérea foi obtida com a dose estimada de 179 kg ha⁻¹ de N.

Fonteles (2018) avaliou a adubação nitrogenada no cultivo do milheto (BRS 1501) em ambiente semiárido e verificou que a dose 202 kg ha⁻¹ de N proporcionou maior crescimento de plantas. Costa *et al.* (2020) recomendam a aplicação de 60 a 80 kg ha⁻¹ de N com a finalidade de pastejo e de 80 e 100 kg ha⁻¹ de N para silagem. Em relação a fonte de N, Albuquerque *et al.* (2020) constataram que os melhores resultados para a cultura do milheto (BRS 1501) foram observados com o uso da ureia, como fonte única, em todo o ciclo de produção, seja para pastejo ou ensilagem e o uso cíclico da adubação com sulfato de amônio nos primeiros 43 dias do ciclo e ureia no período final.

No Brasil, a cultura do milheto é utilizada como forragem (pastejo ou silagem) ou planta de cobertura. Na Circular Técnica da Embrapa (Manejo da Cultura do Milheto) preconizam que quando o milheto for utilizado como planta de cobertura de solo em sucessão a uma gramínea, recomenda-se aplicação de 20 a 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura e em sucessão a uma leguminosa, pode-se dispensar. Para forragem (pastejo ou silagem), além da aplicação do N na semeadura (20 a 30 kg ha⁻¹), recomenda-se a aplicação de 60 a 80 kg ha⁻¹ de N em cobertura no início do perfilhamento (Pereira Filho *et al.*, 2003). No entanto, não há uma recomendação da adubação nitrogenada para a cultura do milheto granífero que tem como principal finalidade a produção de grãos.

Alguns estudos fora do Brasil têm como foco a produção de grãos pela cultura do milheto. Na Índia, maior produtor da cultura do milheto (Jukanti *et al.*, 2016), a adubação nitrogenada influencia positivamente a produtividade de grãos. Para alta produção de grãos de milheto a cultura deve ser abastecida com 100 kg ha⁻¹ de N em solos franco-arenosos (Reddy *et al.*, 2016);

máxima produtividade de grãos com a aplicação de 100 kg ha^{-1} de N em solos baixo teor de matéria orgânica (Kumar *et al.*, 2022) e maior número de panícula/planta, comprimento da panícula, circunferência da panícula, número de grãos/panícula, peso de grãos/panícula e produtividade de grãos de milho com aplicação de 60 kg ha^{-1} de N (Prasad *et al.*, 2014).

Com base nos dados da literatura em relação a adubação nitrogenada da cultura do milho a dose média aplicada de N é de 118 kg ha^{-1} , sendo que essa varia de 60 a 202 kg ha^{-1} de N. Deve-se considerar que a dose recomendada varia de acordo com a fertilidade do solo, cultivar ou híbrido utilizado (exigência), a finalidade (uso) e histórico de cultivo da área (sucessão de culturas). Assim, o estudo de doses de N para cultura do milho grão é de suma importância nas condições de solo de textura contrastantes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi instalado na segunda safra de 2024 em duas localidades, sendo a primeira na Fazenda de Extensão e Pesquisa (FEPE) da Faculdade de Engenharia (FEIS) da Universidade Estadual Paulista (UNESP/Ilha Solteira) em Selvíria, estado de Mato Grosso do Sul, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (Santos *et al.*, 2018), com caracterização granulométrica de 471, 90, 439 g kg⁻¹ de areia, silte e argila em profundidade de solo de 0,00 - 0,25 m. O local experimental tem um histórico de mais de 30 anos de cultivo com rotação anual de culturas de cereais e leguminosas. Além disso, o local esteve sob sistema plantio direto durante os últimos 16 anos (alta fertilidade, “fertilidade construída”), sendo representado na Figura 1, apresentando coordenadas geográficas de 20°23’52” S e 51°21’26” W e altitude de 336 m. De acordo com Koppen, a classificação climática é Aw, pautado por clima tropical com inverno seco e verão chuvoso, apresentando valores anuais médios de precipitação pluvial de 1370 mm, temperatura de 24,5 °C e umidade relativa do ar de 75%.

Figura 1. Área experimental de solo argiloso em Selvíria/MS.



Fonte: Autoria própria (2024).

O segundo local foi em uma área experimental da Faculdade de Ciências Tecnológicas e Agrárias (FCAT) - UNESP/Dracena, em Dracena, estado de São Paulo, em ARGISSOLO VERMELHO Distrófico, textura arenosa (Santos *et al.*, 2018), com caracterização granulométrica de 840, 76 e 86 g kg⁻¹ de areia, silte e argila em profundidade de solo de 0,00 - 0,20 m. O local experimental tem um histórico recente de cultivo com rotação anual de culturas de cereais e leguminosas sob sistema plantio direto (baixa fertilidade), sendo representado na Figura 2, com coordenadas geográficas de 21°29’00” S e 51°52’00” W e altitude de 420 m. A classificação climática também é Aw, de acordo com Koppen, apresentando valores anuais

médios de precipitação pluvial de 1680 mm, temperatura de 24 °C e umidade relativa do ar de 75%.

Figura 2. Área experimental de solo arenoso em Dracena/SP.



Fonte: Autoria própria (2024).

A análise química do solo das duas localidades na profundidade de 0,00 - 0,20 m (Tabela 1), segundo a metodologia descrita por Raij et al. (2001).

Tabela 1. Análise química inicial do solo em duas localidades: Selvíria/MS (sistema plantio direto consolidado) e Dracena/SP (sistema plantio direto recente).

Selvíria/MS								
P _{resina} mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al mmol _c dm ⁻³	Al	SB
26,0	19,0	5,2	3,1	22,0	18,0	31,0	0,0	43,1
CTC mmol _c dm ⁻³	V %	m	S-SO ₄ ²⁻	B	Cu	Zn mg dm ⁻³	Mn	Fe
74,1	58,0	0,0	34,0	0,22	5,8	1,4	20,2	25,0
Dracena/SP								
P _{resina} mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al mmol _c dm ⁻³	Al	SB
32,0	12,0	5,6	2,0	19,0	11,0	15,0	0,0	32,0
CTC mmol _c dm ⁻³	V %	m	S-SO ₄ ²⁻	B	Cu	Zn mg dm ⁻³	Mn	Fe
47,0	68,0	0,0	11,0	0,13	1,7	1,0	15,6	15,6
Interpretações dos Teores								
■ Alto			■ Médio			■ Baixo		

Fonte: Autoria própria (2024).

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

Nos dois locais, os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, sendo os tratamentos compostos por doses de N (0,0; 25,0; 50,0; 100,0 e 200 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia). O manejo da adubação mineral completo: quantidade, fonte, local e época de aplicação estão descritos na Tabela 2. Ademais, foi utilizado a mesma adubação para solo argiloso e solo arenoso.

Tabela 2. Manejo da adubação para os experimentos de doses de N para a cultura do milho (híbrido granífero ADR_G experimental).

Tratamento	Nitrogênio						
	-----Semeadura-----					-----Cobertura-----	
Doses de N kg ha ⁻¹	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	B kg ha ⁻¹	Zn	N	K ₂ O
0	0,0	80,0	30,0	1,0	2,0	0,0	50,0
25	9,4	80,0	30,0	1,0	2,0	15,6	50,0
50	18,8	80,0	30,0	1,0	2,0	31,2	50,0
100	37,6	80,0	30,0	1,0	2,0	62,4	50,0
200	75,2	80,0	30,0	1,0	2,0	124,8	50,0
Fonte	Ureia	SPT	KCl	Áci. Bórico	Sul. Zn	Ureia	KCl
Local	Linha	Linha	Linha	Linha	Linha	Linha	Linha

Fonte: Autoria própria (2024).

Cada parcela experimental teve seis linhas com 5 m cada (13,5 m²), sendo a área útil de 4,5 m² (duas linhas centrais da parcela com 4 m cada linha).

No manejo da adubação, as doses de N foram aplicadas no sulco de semeadura e em cobertura (35 dias após a emergência das plântulas – DAE em solo argiloso e aos 35 e 50 DAE em solo arenoso, parcelado em doses iguais) nas entrelinhas, sendo as quantidades de 37,5% e 62,5% (do total aplicado), respectivamente. As quantidades totais, fonte, local e época de aplicação estão descritos na Tabelas 2.

As áreas experimentais foram pulverizadas com glifosato (Roundup™) + 2,4-D (Até 1,0 L ha⁻¹) 15 dias antes da semeadura dos experimentos para controle de plantas daninhas pré-emergidas e dessecação da área. Foi utilizado o híbrido granífero ADR_G experimental, o qual foi semeado em sistema plantio direto, sendo o espaçamento de 0,45 m entrelinhas com 20 sementes m⁻¹ (444444 plantas ha⁻¹).

A irrigação foi realizada por meio de sistema de irrigação por aspersão com pivô central em solo argiloso, em média com volume de água de 14 mm em turno de 72 horas ou conforme necessidade da cultura. Já no solo arenoso, a irrigação foi feita por aspersão, também seguindo a necessidade do milho. Quando necessário foi realizado o controle de plantas daninhas, pragas e doenças. O híbrido granífero ADR_G experimental apresenta ciclo médio de 90 a 100 dias, sendo o ponto de colheita quando os grãos atingirem a umidade de 14%.

3.3 AVALIAÇÕES REALIZADAS

Foram realizadas as seguintes avaliações:

Concentração foliar de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn determinados com base em metodologia proposta por Malavolta *et al.* (1997), coletou-se no início do florescimento a folha diagnose (primeira folha completamente desenvolvida com a bainha visível presente na Figura 3);

Índice de clorofila foliar (ICF) avaliando clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila *total* por meio de um clorofilômetro digital (clorofiLOG modelo CFL1030 da Falker), na folha diagnose e no período da manhã demonstrado na Figura 3;

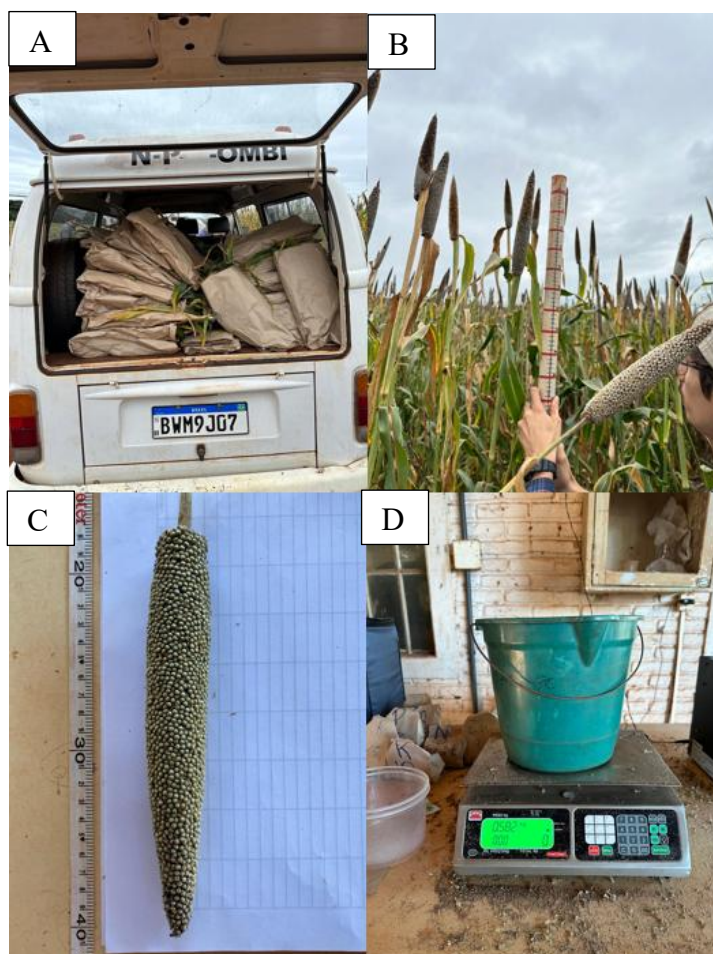
Figura 3. Avaliação de ICF e coleta de folha diagnose do milheto granífero.



Fonte: Autoria própria (2024).

Na colheita, foram retiradas aleatoriamente dez plantas da área útil de cada parcela para realizar as avaliações presentes na Figura 4, as quais são a medição da altura da planta (mediu-se as plantas desde a superfície do solo até o ápice superior da panícula), comprimento da panícula, massa de grãos por panícula e massa de 100 grãos (medida em balança de precisão com umidade de 13% base úmida);

Figura 4. Avaliações: (A)-Colheita do milheto granífero, (B) Medição da altura da planta, (C) Comprimento da panícula e (D) Massa de grãos por panícula.



Fonte: Autoria própria (2024).

Produtividade de massa fresca e de massa seca (MS) de folhas + colmos e grãos: foi coletado todas as plantas da área útil de cada parcela sendo retirada as panículas com grãos, após serão pesadas. Após esse procedimento foi retirada amostra folhas + colmos e grãos para serem encaminhadas para o laboratório, onde foram acondicionadas em sacos de papel, identificadas e levadas à estufa para secagem a 65 °C, por 72 horas. Posteriormente esse material foi pesado em balança semi-analítica para obtenção da massa seca de folhas + colmos e grãos. Com esses dados foi estimado a produtividade de MS de folhas + colmos e grãos em kg ha^{-1} ;

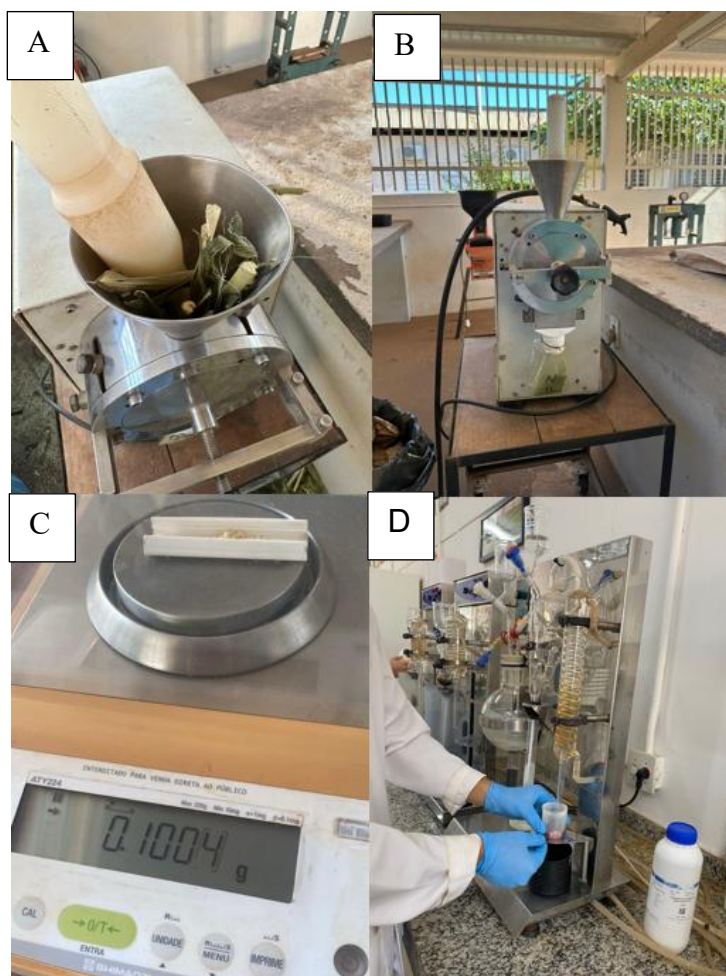
Produtividade de grãos: as panículas da área útil de cada parcela foram colhidas manualmente, trilhadas mecanicamente e a massa dos grãos foi convertida em kg ha^{-1} a 13% de umidade;

Acúmulo de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) na planta: após determinação da MS de folhas + colmos; e grãos, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley e submetidas às análises químicas para determinação das concentrações de nutrientes,

como ilustrado na Figura 5 e de acordo com a metodologia proposta por Malavolta *et al.* (1997), para posterior cálculo do acúmulo de nutrientes (em kg ou g ha⁻¹) com base nas respectivas matérias secas obtidas.

Determinações do teor de proteína bruta (PB), de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) de acordo com o método de Van Soest *et al.* (1991), com o intuito de analisar a qualidade desta forrageira (folhas + colmos, panículas e grãos);

Figura 5. Avaliações: (A) e (B)- Moagem da amostra; (C)-Pesagem da amostra; (D)-Análise química de concentração de nutrientes.



Fonte: Autoria própria (2024).

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de homogeneidade das variâncias através do teste de Bartlett ($P < 0,05$) e normalidade das variâncias através do teste de Shapiro Wilk ($P < 0,05$). Com os pressupostos atendidos então foram submetidos ao teste de análise das variâncias pelo teste F ($P < 0,05$). Ao apresentar resultado significativo pelo teste F, foi realizado análises de regressão para averiguar o efeito de doses de N. As análises estatísticas foram

kg ha ⁻¹	ALT	CP	MGP	MCG	MSPA	PG
	cm	cm	g	g	t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
0,0	189,2 ^{ns}	22,8 ^{ns}	17,6 ⁽⁴⁾	1,3 ^{ns}	6,6 ⁽⁵⁾	5139,2 [*]
25,0	196,0	24,1	20,7	1,1	9,4	6262,2
50,0	196,4	23,7	21,5	1,3	9,1	6631,5
100,0	190,1	23,9	23,5	1,1	9,6	6288,7
200,0	186,5	24,1	22,2	1,3	9,9	7155,7
C.V. (%)	6,37	4,28	9,38	20,37	31,55	20,93

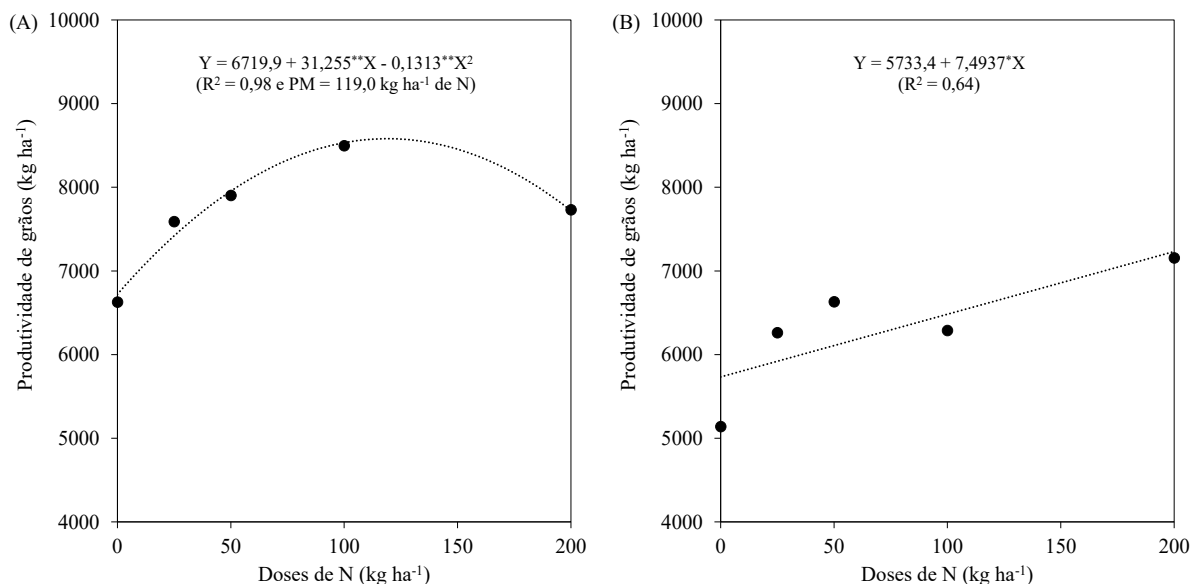
Equação	R ²	PM (kg ha ⁻¹ de N)
(1) $Y = -0,0004 \cdot X^2 + 0,0964 \cdot X + 25,926$	0,95	120,5
(2) $Y = -0,0008 \cdot X^2 + 0,1745 \cdot X + 23,763$	0,78	109,1
(3) $Y = -0,0003 \cdot X^2 + 0,0569 \cdot X + 16,471$	0,87	94,8
(4) $Y = -0,0004 \cdot X^2 + 0,0927 \cdot X + 17,955$	0,97	115,9
(5) $Y = -0,0002 \cdot X^2 + 0,0429 \cdot X + 7,3246$	0,72	107,2

**significativo a 1%, *significativo a 5% e ns = não significativo pelo teste de F

Fonte: Autoria própria (2024).

Panículas maiores e de maior massa em função da aplicação de N, propiciou o incremento na produtividade de grãos de milho (Figuras 6 A e B). A dose calculada de 119,0 kg ha⁻¹ de N propiciou maior produtividade de grãos de milho cultivado em Selvíria/MS (sistema plantio direto consolidado), com incremento de 28% em relação à testemunha (0,0 kg ha⁻¹ de N) (Figura 6A). No entanto, na condição de solo de textura mais arenosa e na fase inicial de implantação do sistema plantio direto, a produtividade de grãos de milho aumentou linearmente com incremento das doses de N, sendo a máxima obtida com 200 kg ha⁻¹ de N, com incremento de 26% em relação à testemunha (0,0 kg ha⁻¹ de N) (Figura 6B).

Figura 6. Produtividade de grãos de milho (ADR_G experimental) em função da aplicação de doses de N em duas localidades: Selvíria/MS (Solo de textura argilosa) (A) e Dracena/SP (Solo de textura arenosa) (B).

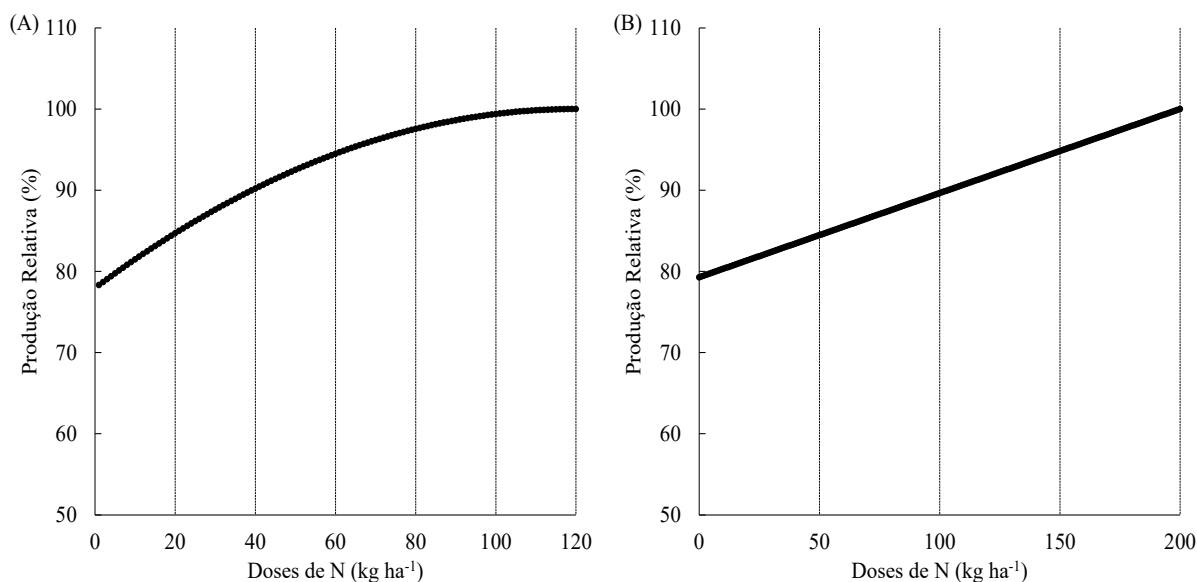


Fonte: Autoria própria (2024).

A produção relativa ilustrada nas Figuras 7 A e B foram elaboradas com base nos dados de produtividade de grãos de milho em função da aplicação das doses de N. Assim, para obtenção da máxima produção de grãos de milho (100%) a dose recomendada para condição de solo de textura argilosa e sistema plantio direto consolidado está na faixa entre 100 a 120 kg ha⁻¹ de N, para 95 e 90% de 60 e 40 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Figura 7A).

A cultura do híbrido de milho granífero é uma alternativa de cultivo de 2^a Safra nas condições de plantio tardio da cultura do milho “risco” e uma prática adequada em área cultivadas pela sucessão de soja e milho, para adoção de rotação de culturas. Além disso, deve-se considerar também que habitualmente a cultura do milho é mais rentável e, portanto, é de se esperar que o agricultor opte por reduzir custos com aquisição de insumos para o cultivo do milho e, conseqüentemente, prefira aplicar baixas dose de N. No entanto, nas condições de preço dos grãos de milho mais atrativo, pode-se recomendar a dose de 100 kg ha⁻¹ de N (37,5 e 62,5 kg ha⁻¹ de N na semeadura e cobertura, respectivamente) e de menos atrativo a dose entre 40 a 60 kg ha⁻¹ de N aplicada em cobertura.

Figura 7. Produção Relativa de grãos de milho (ADR_G experimental) em função da aplicação de doses de N em duas localidades: Selvíria/MS (Solo de textura argilosa) (A) e Dracena/SP (Solo de textura arenosa) (B).



Fonte: Autoria própria (2024).

Na condição de solo de textura mais arenosa e na fase inicial de implantação do sistema plantio direto, para obtenção da máxima produção de grãos de milho (100%) a dose recomendada é de 200 kg ha⁻¹ de N e para entre 85 a 90% de 50 a 100 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Figura 7B). No entanto, além do fator econômico (preços dos grãos de milho x preço do adubo nitrogenado), deve-se considerar o potencial produtivo da área (histórico), que é menor do que a de solo de textura argilosa e sistema plantio direto consolidado (produtividade média de 7669 e 6295 kg ha⁻¹ de grãos de milho das áreas de Selvíria/MS e Dracena/SP, respectivamente). Nesse sentido, nas condições de preço dos grãos de milho mais atrativo, pode-se recomendar a dose de 100 kg ha⁻¹ de N (37,5 e 62,5 kg ha⁻¹ de N na semeadura e cobertura, respectivamente) e de menos atrativo a dose de 50 kg ha⁻¹ de N aplicada em cobertura.

Nesse sentido, as doses obtidas nesse estudo são condizentes com os dados da literatura em relação a adubação nitrogenada da cultura do milho em que a dose média de N é de 118 kg ha⁻¹ (Prasad *et al.*, 2014; Jukanti *et al.*, 2016; Reddy *et al.*, 2016; Kumar *et al.*, 2022).

As clorofilas *a*, clorofila *b* e clorofila total (ICFa, ICFb e ICFtotal, respectivamente) na folha diagnose da cultura do milho (ADR_G experimental) não foram influenciadas pela

aplicação das doses de N (Tabela 4), o que também foi verificado para as concentrações N na folha diagnose (Tabela 5).

O ICF mede indiretamente a quantidade de clorofila das folhas e, conseqüentemente, o estado nutricional de N na planta. Pois os teores indiretos de clorofila correlacionam com as concentrações de N (Madeira *et al.*, 2009) o que sugere a possibilidade de medições indiretas de clorofila como indicador do estado nutricional de N na planta (Ribeiro *et al.*, 2009). É uma ferramenta de diagnóstico rápida e eficaz para monitorar o status do N nas plantas (Acevedo *et al.*, 2020).

Tabela 4. Clorofilas *a*, *b* e *total* na folha diagnose da cultura do milho (ADR_G experimental) em função da aplicação de doses de N em duas localidades: Selvíria/MS (Solo de textura argilosa) e Dracena/SP (Solo de textura arenosa).

Textura argilosa			
Dose de N kg ha ⁻¹	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Clorofila <i>total</i>
0,0	42,0 ^{ns}	33,7 ^{ns}	75,6 ^{ns}
25,0	42,0	33,6	75,7
50,0	42,3	35,4	77,8
100,0	41,9	32,5	74,5
200,0	41,3	29,3	67,3
C.V. (%)	2,08	12,32	7,66
Textura arenosa			
Dose de N kg ha ⁻¹	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Clorofila <i>total</i>
0,0	40,0 ^{ns}	31,1 ^{ns}	69,7 ^{ns}
25,0	39,5	29,5	69,0
50,0	39,4	29,3	68,8
100,0	39,9	30,8	70,8

200,0	39,8	29,1	70,4
C.V. (%)	2,89	17,51	9,28

ns = não significativo pelo teste de F.

Fonte: Autoria própria (2024).

Não houve alteração da concentração de N e do ICF nas folhas do milho em função da aplicação de N. Embora era esperado aumento dessas variáveis com a aplicação de N em relação a testemunha. No entanto, pode-se inferir que com o maior crescimento das plantas (matéria seca da parte aérea e produtividade de grãos) (Tabela 3) houve a diluição do N nas folhas, e menor crescimento (testemunha) a concentração do mesmo nas folhas.

As concentrações de Mg e S foliar diminuíram (solo de textura arenosa e argilosa, respectivamente) com o aumento das doses de N (Tabela 5). Tal fato, deve-se provavelmente ao efeito diluição desses nutrientes em função do maior crescimento das plantas (matéria seca da parte aérea e produtividade de grãos) (Tabela 3) e efeito concentração com o menor crescimento das plantas (testemunha). E para os demais macronutrientes (Tabela 5) e micronutrientes (Tabela 6) não foram influenciados pelas doses de N.

Tabela 5. Concentração de macronutrientes na folha diagnose da cultura do milho (ADR_G experimental) em função da aplicação de doses de N em duas localidades: Selvíria/MS (Solo de textura argilosa) e Dracena/SP (Solo de textura arenosa).

Dose de N kg ha ⁻¹	Textura argilosa					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
0,0	39,7 ^{ns}	4,1 ^{ns}	19,0 ^{ns}	10,4 ^{ns}	3,6 ^{ns}	3,0 ⁽¹⁾
25,0	38,6	4,0	18,0	9,8	3,3	3,3
50,0	37,7	3,6	18,6	10,1	3,3	2,8
100,0	38,5	3,8	18,9	9,6	2,6	2,7
200,0	38,3	3,5	19,0	10,3	3,6	2,6
C.V. (%)	3,71	10,15	4,79	5,64	21,37	9,34
Dose de N kg ha ⁻¹	Textura arenosa					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
0,0	39,6 ^{ns}	3,6 ^{ns}	21,8 ^{ns}	11,8 ^{ns}	3,8 ⁽²⁾	2,3 ^{ns}
25,0	39,7	3,8	20,9	12,1	3,7	2,6
50,0	41,3	3,9	21,3	11,6	3,5	2,7
100,0	39,9	3,5	19,8	11,4	3,5	2,3
200,0	41,0	3,6	21,1	10,9	3,1	2,7
C.V. (%)	3,57	7,17	5,27	12,08	9,17	8,93
Equação		R ²		PM (kg ha ⁻¹ de N)		
(1)	Y = -0,0027*X + 3,0825	0,59		-		
(2)	Y = -0,0033*X + 3,7675	0,94		-		

*significativo a 5% e ns = não significativo pelo teste de F.

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 6. Concentração de micronutrientes na folha diagnose da cultura do milho (ADR_G experimental) em função da aplicação de doses de N em duas localidades: Selvíria/MS (Solo de textura argilosa) e Dracena/SP (Solo de textura arenosa).

Dose de N kg ha ⁻¹	Textura argilosa				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg kg ⁻¹				
0,0	14,0 ^{ns}	13,3 ^{ns}	217,7 ^{ns}	325,3 ^{ns}	33,3 ^{ns}
25,0	12,7	13,3	187,3	362,3	31,7
50,0	13,1	13,0	164,3	322,3	36,3
100,0	16,4	13,3	170,3	339,3	37,3
200,0	14,4	13,7	167,7	333,7	34,7
C.V. (%)	11,06	6,57	15,81	17,71	7,98
Dose de N kg ha ⁻¹	Textura arenosa				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg kg ⁻¹				
0,0	35,0 ^{ns}	12,3 ^{ns}	192,3 ^{ns}	158,0 ^{ns}	23,0 ^{ns}
25,0	37,3	12,0	190,0	147,0	23,7
50,0	35,0	12,0	191,0	148,7	26,3
100,0	34,7	12,3	201,0	170,3	23,3
200,0	34,7	11,3	190,7	142,3	24,7
C.V. (%)	8,58	8,33	7,12	27,81	8,50

ns = não significativo pelo teste de F.

Fonte: Autoria própria (2024).

Em relação ao acúmulo dos nutrientes na parte aérea das plantas de milho (folhas, colmos, panículas e grãos) somente o acúmulo de N nas condições do solo de textura arenosa aumentou com incremento das doses de N (Tabelas 7 e 8).

Tabela 7. Acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas de milho (ADR_G experimental) em função da aplicação de doses de N em duas localidades: Selvíria/MS (Solo de textura argilosa) e Dracena/SP (Solo de textura arenosa).

Dose de N kg ha ⁻¹	Textura argilosa					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹					
0,0	404,5 ^{ns}	50,2 ^{ns}	481,3 ^{ns}	175,2 ^{ns}	87,6 ^{ns}	45,5 ^{ns}
25,0	581,0	59,9	640,7	221,2	102,7	46,4
50,0	491,4	56,3	587,7	194,0	100,4	37,5
100,0	486,2	58,8	513,5	177,5	83,7	35,8
200,0	435,6	50,1	523,0	140,6	80,4	38,5
C.V. (%)	13,95	16,76	16,56	20,52	10,58	19,44
Dose de N kg ha ⁻¹	Textura arenosa					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹					
0,0	306,4 ⁽¹⁾	49,3 ^{ns}	299,0 ^{ns}	37,4 ^{ns}	32,2 ^{ns}	19,9 ^{ns}
25,0	359,9	51,0	236,0	40,1	39,4	18,8
50,0	321,7	46,2	279,6	38,6	38,1	17,6
100,0	505,6	68,1	484,6	66,4	54,3	34,9
200,0	450,6	49,4	326,5	38,1	45,6	22,0
C.V. (%)	25,13	25,74	44,31	28,92	27,32	43,34
Equação				R ²	PM (kg ha ⁻¹ de N)	
⁽¹⁾ Y = 0,7979*X + 329,0				0,54	-	

*significativo a 5% e ns = não significativo pelo teste de F.

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 8. Acúmulo de micronutrientes na parte aérea das plantas de milho (ADRG experimental) em função da aplicação de doses de N em duas localidades: Selvíria/MS (Solo de textura argilosa) e Dracena/SP (Solo de textura arenosa).

Dose de N kg ha ⁻¹	Textura argilosa				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g ha ⁻¹				
0,0	271,7 ^{ns}	1032,3 ^{ns}	5373,4 ^{ns}	7501,6 ^{ns}	536,1 ^{ns}
25,0	287,0	1390,0	5439,8	8975,8	857,2
50,0	363,7	1146,3	9874,4	7868,9	653,4
100,0	292,5	1119,7	6687,7	8198,1	667,9
200,0	238,9	1308,1	4755,2	7491,1	666,1
C.V. (%)	18,33	38,23	41,59	20,71	18,11
Dose de N kg ha ⁻¹	Textura arenosa				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g ha ⁻¹				
0,0	207,3 ^{ns}	131,7 ^{ns}	1565,2 ^{ns}	661,3 ^{ns}	445,4 ^{ns}
25,0	197,4	146,8	1680,3	703,3	514,4
50,0	163,4	131,2	1567,1	750,0	472,1
100,0	265,5	283,2	2538,1	1105,5	669,7
200,0	174,9	147,3	2015,7	883,5	561,0
C.V. (%)	34,92	27,67	27,42	29,39	27,86

ns = não significativo pelo teste de F.

Fonte: Autoria própria (2024).

A adubação nitrogenada aumentou o teor de proteína bruta nos grãos nas duas localidades (Selvíria/MS e Dracena/SP) e de FDN e FDA na condição de solo de textura arenosa (Dracena/SP) (Tabela 9), sendo que o aumento de FDN em níveis aceitáveis, sem prejudicar a qualidade. Nesse sentido, a adubação nitrogenada propicia melhorias na qualidade dos grãos de milho, enriquecendo os grãos em proteína.

Tabela 9. Teor de proteína bruta (PB), de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) nos grãos das plantas de milho (ADR_G experimental) em função da aplicação de doses de N em duas localidades: Selvíria/MS (Solo de textura argilosa) e Dracena/SP (Solo de textura arenosa).

Dose de N kg ha ⁻¹	Textura argilosa		
	PB	FDN %	FDA
0,0	10,8 ⁽¹⁾	22,6 ^{ns}	5,4 ^{ns}
25,0	11,0	24,1	6,4
50,0	10,3	21,8	5,3
100,0	11,2	23,3	5,4
200,0	11,9	25,6	6,6
C.V. (%)	7,19	8,78	16,25

Dose de N kg ha ⁻¹			
	PB	FDN %	FDA
0,0	9,6 ⁽²⁾	15,1 ⁽³⁾	5,1 ⁽⁴⁾
25,0	10,8	17,4	5,8
50,0	10,8	16,9	5,7
100,0	11,5	18,5	6,1
200,0	11,6	15,8	5,0
C.V. (%)	4,30	1,86	3,10

Equação		R ²	PM (kg ha ⁻¹ de N)
(1)	Y = 0,006*X + 10,590	0,66	-
(2)	Y = 0,0083*X + 10,238	0,67	-
(3)	Y = -0,0003**X ² + 0,0575**X + 15,363	0,84	95,8

$$(4) \quad Y = -0,0001^{**}X^2 + 0,0187^{**}X + 5,1785 \quad 0,91 \quad 93,5$$

******significativo a 1%, *****significativo a 5% e ns = não significativo pelo teste de F.

Fonte: Autoria própria (2024).

5 CONCLUSÃO

A adubação com N na cultura do milho granífero depende da textura do solo e do histórico de cultivo da área. O fator econômico também deve ser considerado para a recomendação de adubação desses nutrientes.

O incremento das doses de N aumentou a produtividade de grãos de milho até a dose estimada de 119 kg ha⁻¹ de N no solo de textura argilosa com sistema plantio direto consolidado, sendo 28% superior em relação à testemunha. No entanto, no solo de textura arenosa e na fase inicial de implantação do sistema plantio direto, a produtividade de grãos de milho aumentou linearmente com incremento das doses de N, com a máxima obtida com 200 kg ha⁻¹ de N, sendo 26% maior em relação à testemunha.

A adubação nitrogenada aumentou a matéria seca da parte aérea, o comprimento de panícula, a massa de grãos por panícula e, conseqüentemente, a produtividade de grãos e o teor de proteína bruta nos grãos do híbrido de milho granífero.

REFERÊNCIAS

- ACEVEDO, M., *et al.* Nitrogen loading of *Eucalyptus globulus* seedlings nutritional dynamics and influence on morphology and root growth potential. **New Forests**, v. 52, n. 2, 2020.
- ALBUQUERQUE, A. L. B. *et al.* Uso cíclico das fontes de nitrogênio no cultivo de milho. **Research, Society and Development**, v.9, n. 8, p. e535985992, 2020.
- ALMEIDA, I.L.; FERREIRA, L. T. **Milho é cultura alternativa para cobertura de solo**. Brasília- DF :Embrapa, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/1460918/milho-e-cultura--alternativa-para-cobertura-de-solo> Acesso em: 12 jan 2026.
- AMARAL, A. G. *et al.* Efeito de diferentes doses de adubação nitrogenada sobre o teor de clorofila, dinâmica do perfilhamento e composição morfológica em cultivares de milho no Cerrado. **Brazil Journal of Develop.**, v. 6, n. 4, p. 21643-21659. 2020.
- AMARAL, P. N. C. *et al.* Qualidade e valor nutritivo da silagem de três cultivares de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 611-617, 2008.
- ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, F. F.; COUTINHO, E. L. M. Produção de milho em plantio direto com adubação nitrogenada e cobertura do solo na pré-safra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 1691-1698, 2008.
- ASMUS, G. L.; ANDRADE, P. J. M. **Reprodução de nematoide de galhas em plantas forrageiras utilizadas em sistemas integrados de produção agropecuária**. Dourados: Embrapa, 1998. 5 p.
- CAMPOS, F. S.; SANTOS, E. M.; BENEDETTI, E. 2011. Rendimento forrageiro de genótipos de milho em função da adubação nitrogenada no semiárido paraibano. **FAZU em Revista**, v. 8, p. 177-181, 2011.
- CANAL RURAL. **Milho é o sexto grão mais consumido no mundo**. 2023. Disponível em: <<https://www.canalrural.com.br/agricultura/milho-e-o-sexto-grao-mais-consumido-nomundo/>>. Acesso em: 20 set. 2023.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.
- CANTARELLA, H. *et al.* (Ed.) **Boletim 100: recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 2022. 489p.
- COELHO, A. M.; PEREIRA FILHO, I. A. A importância do milho na disponibilização de potássio. **Campo & Negócios**, Uberlândia, v. 10, n. 110, p. 40-42, abr. 2012.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: Grãos**. v. 11. safra 2024/25 Terceiro levantamento. Brasília DF. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/>. Acesso em: 15 de janeiro de 2026.

COSTA, J. G. J. *et al.* Crescimento e trocas gasosas em milho sob diferentes doses e fontes de nitrogênio. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e820974988. 2020.

DULPHY, J.P., REMOND, B., THERIEZ, M. 1980. Ingestive behavior and related activities in ruminants. In: RUCKEBUSH, Y., THIVEND, P. (Eds.). **Digestive physiology and metabolism in ruminants**. Lancaster: MTP. p.103-122.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) - **Cultivo do Milheto**. 2016. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/993985/1/Sistema-de-Producao-Cultivo-do-Milheto.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2026.

FAO. **International Year of Millets 2023**. Roma: FAO, 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/millets-2023/en>. Acesso em: 12 jan. 2026.

FERREIRA, D.F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 37, n.4, p.529-535, 2019.

FOLONI, J. S. S. *et al.* Acúmulo de nutrientes e relação C/N em diferentes estádios fenológicos do milho submetido à adubação nitrogenada. **Revista Agro@mbiente**, 10(1): 1-9. 2016.

FONTANELI, REN. S.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, ROB. S. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. Cap. 10, p. 185-197.

FONTELES, J. L. V. **Doses de adubação nitrogenada no cultivo do milho em ambiente semiárido**. 2018. 39 f. (mestrado em Manejo do Solo) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2018.

GARCIA, A. F. Q. M.; MURAKAMI, A. E.; MASSUDA, E. M.; URGNANI, F. J.; POTENÇA, A.; DUARTE, C. R. A.; EYNG, C. Milho na alimentação de codornas japonesas. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 1, n. 13, p.150-159, 2012.

GAZETA DIGITAL. **Milho: uma novidade para a saúde**. 2009. Disponível em: <<https://www.gazetadigital.com.br/suplementos/viva-bem/milho-uma-novidade-para-a-saude/223468>>. Acesso em: 12 jan. 2026.

GONÇALVES, J. R. S. *et al.* Substituição do grão de milho pelo grão de milho em dietas contendo silagem de milho ou silagem de capim-elefante na alimentação de bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.9, p.2032-2039, 2010.

GÖRGEN, A. V. *et al.* Produtividade e qualidade da forragem de trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench) e de milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R.BR). **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 17, p. 599-607, 2016.

GUIDELI, C. *et al.* Produção e qualidade do milho semeado em duas épocas e adubado com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 10, p. 2093-2098, 2000.

HERRADA, M. R.; LEANDRO, W. M.; FERREIRA, E. P. B. Leguminosas isoladas e consorciadas com milho em diferentes sistemas de manejo do solo no feijão orgânico. **Terra Latino Americana**, v. 35, n.4, p. 293-299, 2017.

INOMOTO, M. M.; ANTEDOMÊNICO, S. R.; SANTOS, V. P.; SILVA, R. A.; ALMEIDA, G. C. Avaliação em casa de vegetação do uso de sorgo, milho e crotalária no manejo de *Meloidogyne javanica*. **Tropical Plant Pathology**, v. 33, n. 2, p. 125-129, 2008.

JACOVETTI, R. *et al.* Milho como silagem comparado a gramíneas tradicionais: aspectos quantitativos, qualitativos e econômicos. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v.19, 1- 16, e-26539, 2018.

JUKANTI, A. K. *et al.* Crops that feed the world 11. Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* L.): an important source of food security, nutrition and health in the arid and semi-arid tropics. **Food Sec.**, v. 8, p. 307-329, 2016.

KUMAR, S. *et al.* Effect of nitrogen and potassium with zinc levels on growth and green yield of fodder pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.). **The Pharma Innovation Journal**, v. 11, n. 5, p. 2138-2141, 2022.

LANDAU, E. C.; PEREIRA FILHO, I. A. **Cultivo do Milho**. 2.ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 3. ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 1ªediçãoSet./2009.Disponível em:http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_2_ed/clima.html Acesso em: 12 jan 2026.

LOPES, A. S. *et al.* Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados e sulfatados na agricultura brasileira: Uma visão do futuro. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. p. 161- 187.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.638p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MADEIRA, A. C., *et al.* Avaliação do estado de nutrição de plantas jovens de *Eucalyptus globulus* por análise foliar e espectroradiométrica. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 32, n. 1, p. 13-26, 2009.

MELO, N. C. *et al.* Crescimento e eficiência nutricional do nitrogênio em cultivares de milho forrageiro na Amazônia. **Revista Caatinga**, v. 28, n.3, p. 68-78. 2015.

MONTEIRO, F. A. Uso de corretivos agrícolas e fertilizantes. Em Reis, R. A., Bernardes, T. F., & Siqueira, G. R.(Ed.), **Forragicultura: Ciência, Tecnologia e Gestão dos Recursos Forrageiros** (pp.275-290). Jaboticabal, SP: Funep.2013.

NOBREGA, E. B. *et al.* Produção e composição bromatológica da palhada de cultivares de milho sob doses de nitrogênio. **Singular - Meio Ambiente e Agrárias**, v.1, p. 28-44, 2019.

NEGREIROS NETO, J. V. *et al.* Análise de diferentes doses de nitrogênio e espaçamento em milho no norte do Tocantins. **Biotemas**, v. 23, n. 4, p. 19-23, 2010.

OLIVEIRA, F. C. *et al.* Corn development and production in function of sources of nitrogen fertilizers and doses. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 4, p. 812-821, 2016.

OLIVEIRA, F. H. T. *et al.* Fertilidade do solo no sistema plantio direto. **Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, p. 393-486, 2002.

PADOVAN, M.P.; MOTTA, I de S; CARNEIRO, L.F.; MOITINHO, M.R. **Estádio mais adequado de manejo do milho para fins de adubação verde**. ISSN 1679-0472. Dourados, MS Comunicado técnico Embrapa, 2011.

PEREIRA FILHO, I. A. **Cultivo do Milho**. 5ª ed. Sete Lagoas - MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2016.

PEREIRA FILHO, I. A. *et al.* **Manejo da Cultura do Milho**. 2003. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/487545/manejo-da-cultura-do-milho> >. Acesso em: 12 jan. 2026.

PITTELKOW, F. K. *et al.* Produção de biomassa e acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista Agrarian**, v. 5, n. 17, p. 212-222, 2012.

PRASAD, S. K. *et al.* Effect of nitrogen and zinc fertilizer on pearl millet (*Pennisetum glaucum*) under agri-horti system of eastern Uttar pradesh. **The Bioscan**, 9(1): 163-166. 2014.

RAIJ, B. van., *et al.* **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285 p.

REDDY, S. B. P. *et al.* Effect of Nitrogen and Potassium on Yield and Quality of Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* L.). **International Journal of Agriculture Innovations and Research**, v. 4, n. 4, p. 2319-1473, 2016.

REDDY, V. S. N. *et al.* Effect of phosphorus and zinc on growth and yield of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.). **The Pharma Innovation Journal**, v. 11, n. 4, p. 542-545. 2022.

RESENDE, A. V. Fertilidade de solos. IN: PEREIRA FILHO, I. A. (Org.). **Cultivo do milho**. (Sistemas de produção, 3). 5. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016.

RIBEIRO JUNIOR, G. O. *et al.* O milho como opção para gado de leite. In: GONÇALVES, L. C. Borges, I. Ferreira, P. D. S. **Alimentos para gado de leite** –Belo Horizonte: FEPMVZ, 2009. p. 65-87.

RODRIGUES, G. B. *et al.* Matéria e nutrientes da parte aérea de adubos verdes em cultivos exclusivo e consorciado. **Revista Ceres**, v. 59, n. 3, p. 380-385, 2012.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação do potássio da palhada de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 355-362, 2003.

SALEM, E. M. M. Cooperative Effect of Salicylic Acid and Boron on the Productivity of Pearl Millet Crop under the Degraded Saline Soils Conditions. **Egyptian Journal of Agronomy**, v. 42, n. 2, p. 185-195, 2020.

SANTOS, F. C.; COELHO, A. M.; RESENDE, A. V. **Cultivo do Milheto**: fertilidade de solos. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1109927/cultivo-do-milheto-fertilidade-de-solos-e-adubacao>. Acesso em 12 de janeiro de 2026.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SILVA, A. F.; LAZARINI, E. Doses e épocas de aplicação de potássio na cultura da soja em sucessão a plantas de cobertura. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 179-192. 2014.

SILVA, A. G. *et al.* Rendimento forrageiro e composição bromatológica de milheto sob adubação nitrogenada. **Ciência Animal Brasileira**, v. 13, n. 1, p. 67-75, 2012.

SILVA, M.M. D. **Características agronômicas e nutricionais de genótipos de milheto**. 2016. Dissertação-Universidade Federal do Mato Grosso, Sinop, 2016. Disponível em: https://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/BRCRIS_7b48d516fe4f9e9a8994b22daf2eebbb. Acesso em: 15 jan 2026.

SILVA, M. P.; ARF, O.; SÁ, M. E.; ABRANTES, F. L.; BERTI, C. L. F.; SOUZA, L. C. D. Plantas de cobertura e qualidade química e física de latossolo vermelho distrófico sob plantio direto. Agrária – **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 12, n. 1, p. 60- 67, 2017.

SIMILI, F. F. *et al.* Resposta do híbrido de sorgo-sudão à adubação nitrogenada e potássica: composição química e digestibilidade in vitro da matéria orgânica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 474-480, 2008.

SINGH, L. *et al.* Effect of Phosphorus and Zinc Application on Growth and Yield Attributes of Pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) under Rainfed Condition. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 6, n. 1, p. 388-391, 2017.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed. 2017.

TEIXEIRA, M. B. *et al.* Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milheto e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 35, v. 3, 2011.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; FABIAN, A.J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.421-428, 2008.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1991.