



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS CAMPUS PALMAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA**

LUIS CLAUDIO SOUSA RABELO

**RESPOSTA DA CULTIVAR DE MILHO (*ZEA MAYS L.*) SOB MANEJO DE
ADUBAÇÃO NITROGENADA ANTECIPADA EM SOLO DO CERRADO**

**PALMAS-TO
2026**

LUIS CLAUDIO SOUSA RABELO

**RESPOSTA DA CULTIVAR DE MILHO (*ZEA MAYS L.*) SOB MANEJO DE
ADUBAÇÃO NITROGENADA ANTECIPADA EM SOLO DO CERRADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Bacharelado em Engenharia Agrônômica, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas, como exigência à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Dr. Edvaldo Vieira Pacheco
Sant'Ana

**PALMAS-TO
2026**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

- S725r Sousa Rabelo, Luis Claudio
 Resposta da cultivar de milho (ZEA MAYS L.) sob manejo de
 adubação nitrogenada antecipada em solo do cerrado / Luis Claudio
 Sousa Rabelo. – Palmas, TO, 2026.
 53 p.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) –
 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins,
 Campus Palmas, Palmas, TO, 2026.
- Orientador: Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'ana
1. Milho. 2. Adubação nitrogenada. 3. Adubação antecipada. I.
 Sant'ana, Edvaldo Vieira Pacheco. II. Título.

CDD 630



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS - TO
COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA

LUIS CLAUDIO SOUSA RABELO

**RESPOSTA DA CULTIVAR DE MILHO (*Zea mays* L.) SOB MANEJO DE ADUBAÇÃO
NITROGENADA ANTECIPADA EM SOLO DO CERRADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso Superior Bacharelado
em Engenharia Agrônômica do Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins - *Campus* Palmas - TO, como
exigência à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Agrônômica.

Aprovado em: 11 de junho de 2026

BANCA AVALIADORA

Prof. Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'Ana
IFTO - Campus Palmas - TO

Prof. Dr. Thomas Vieira Nunes
IFTO - Campus Palmas - TO

Profa. Dra. Vanessa David Domingos Valença
IFTO - Campus Palmas - TO

Palmas - TO, 11 de junho de 2026



Documento assinado eletronicamente por **Edvaldo Vieira Pacheco Santana, Coordenador**, em 11/06/2026, às 10:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thomas Vieira Nunes, Servidor**, em 11/06/2026, às 11:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vanessa David Domingos Valença, Servidor**, em 11/06/2026, às 11:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.iftto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3213439** e o código CRC **CA5EB06D**.



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS

Campus Palmas 310 Sul, Av. LO 5, s/n, esquina com a Avenida NS 10 - Plano Diretor Sul — CEP 77021-090 Palmas/TO - portal.iftto.edu.br — reitoria@iftto.edu.br

Referência: Proces

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por ser minha base e meu sustento em todos os momentos. Por me dar força nos dias difíceis, sabedoria para seguir em frente e graça para chegar até aqui. Sem Ele, nada disso seria possível.

À minha mãe, Maria, meu maior exemplo de força e dedicação. Expressar toda a gratidão que sinto por tudo que você fez e continua fazendo por mim. Por acreditar em mim mesmo nos momentos em que eu duvidei de mim mesmo, e por estar presente em cada passo desta caminhada. Esta conquista também é sua.

Ao professor Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant’Ana por ter me orientado e prestado todo o apoio necessário para a conclusão desse trabalho, pela sua paciência, e seus conselhos que foram de extrema importância para mim.

Aos meus amigos especiais: Ana Clara Dionísio, Amanda Araújo, Deborah Cardoso, Eduardo Brasileiro, Gisele Ribeiro, Isabella Santana, Felipe Goulart, Kayran Costa, Mateus Santos e Naiara Dias, pela amizade e pelos momentos que tornaram essa caminhada mais leve.

Em especial, agradeço ao meu amigo Maiko França, que esteve presente em todo o processo de desenvolvimento deste trabalho, contribuindo de forma fundamental para a sua realização.

A todos os meus professores, pelos ensinamentos passados a mim que me moldaram e me fizeram alguém melhor, não só no âmbito acadêmico, mas na vida de forma geral.

A todos os meus colegas de turma, pessoas que convivi durante todos esses anos de curso, pela companhia, pelas conversas, por estarem nos bons e maus momentos, sempre um ajudando o outro.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins Campus Palmas, essencial e de extrema importância em todo o meu processo de formação.

*“Porque sete vezes cairá o Justo e se
levantará.”*

Provérbios 24:16

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho agronômico da cultivar de milho NS44 VIP3 sob diferentes épocas e formas de aplicação da adubação nitrogenada em sistema de plantio direto no Cerrado tocantinense, por meio da comparação entre o manejo antecipado e o manejo convencional quanto ao crescimento vegetativo, ao teor relativo de clorofila e à produtividade de grãos da cultura. O experimento foi conduzido na área experimental de Forragicultura do IFTO – *Campus* Palmas, no período de outubro de 2025 a março de 2026, em delineamento em blocos ao acaso com cinco tratamentos e quatro repetições. Foram avaliadas variáveis de crescimento vegetativo, teor relativo de clorofila (índice SPAD), altura de planta, diâmetro do caule, Índice de Área Foliar (IAF), massa seca da parte aérea, massa seca total e produtividade de grãos, em seis momentos ao longo do ciclo da cultura. Os resultados não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos avaliados para nenhuma das variáveis analisadas, em razão da elevada variabilidade experimental observada ao longo do ciclo. Essa variabilidade esteve associada à combinação de fatores limitantes que atuaram de forma simultânea: déficit hídrico de 14 dias após a semeadura, limitação na absorção de fósforo identificada no estágio V4, reinfestação heterogênea por plantas daninhas entre parcelas e falhas no estande com necessidade de replantio. Apesar da ausência de significância estatística, as tendências numéricas observadas ao longo de todas as avaliações foram consistentes. O tratamento com aplicação integral antecipada sem complementação em cobertura (T1-ATN) tendeu a registrar os menores valores de teor relativo de clorofila e produtividade de grãos ao longo do ciclo, enquanto os tratamentos com parcelamento convencional do N em cobertura (T4 e T5) tenderam a apresentar as maiores médias numéricas de produtividade, registrando 1.399,30 e 1.254,87 kg ha⁻¹, respectivamente. Entre os tratamentos com adubação antecipada, o T3-ATN, que combinou dose antecipada com parcelamento em cobertura nos estádios V4 e V8, tendeu a apresentar os melhores resultados numéricos de crescimento vegetativo ao longo do ciclo.

Palavras-chave: Milho. Adubação nitrogenada. Produtividade. Manejo nutricional.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the agronomic performance of the corn cultivar NS44 VIP3 under different timings and forms of nitrogen fertilization application in a no-tillage system in the Tocantins Cerrado, through comparison between early and conventional management regarding vegetative growth, relative chlorophyll content, and grain yield of the crop. The experiment was conducted in the Forage Experimental Area of IFTO – Campus Palmas, from October 2025 to March 2026, in a randomized complete block design with five treatments and four replications. Vegetative growth variables, relative chlorophyll content (SPAD index), plant height, stem diameter, Leaf Area Index (LAI), shoot dry mass, total dry mass, and grain yield were evaluated at six points throughout the crop cycle. The results showed no statistically significant differences among the evaluated treatments for any of the analyzed variables, due to the high experimental variability observed throughout the cycle. This variability was associated with the combination of limiting factors acting simultaneously: a 14-day water deficit after sowing, a limitation in phosphorus uptake identified at the V4 stage, heterogeneous weed reinfestation among plots, and stand failures requiring replanting. Despite the lack of statistical significance, the numerical trends observed throughout all evaluations were consistent. The treatment with full early application without topdressing supplementation (T1-ATN) tended to record the lowest values of relative chlorophyll content and grain yield throughout the cycle, while treatments with conventional split topdressing of N (T4 and T5) tended to show the highest numerical mean yields, recording 1,399.30 and 1,254.87 kg ha⁻¹, respectively. Among the early-application treatments, T3-ATN, which combined an early dose with topdressing split application at the V4 and V8 stages, tended to present the best numerical results for vegetative growth throughout the cycle.

Keywords: Corn. Nitrogen fertilization. Productivity. Nutritional management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Aplicação antecipada de ureia, 20 dias antes da semeadura, realizada em 21/10/2025.....	26
Figura 2. Semeadura manual da cultivar de milho NS44 VIP3 realizada em 10/11/2025	26
Gráfico 1. Precipitação acumulada mensal (mm) Palmas – TO, outubro/2025 a março/2026	28
Gráfico 2. Temperaturas máxima e mínima (°C), Palmas – TO, outubro/2025 a março/2026.	28
Gráfico 3. Umidade relativa do ar (%) Palmas – TO, outubro/2025 a março/2026.....	29
Figura 3. Determinação do Teor Relativo de Clorofila (TRC) com clorofilômetro portátil na primeira coleta de dados, realizada em 02/12/2025, aos 22 DAS	30
Figura 4. Replântio realizado em 02/12/2025, aos 22 DAS, nas parcelas com falhas no estande inicial	30
Figura 5. Medição da altura de plantas com trena de fibra de vidro, da superfície do solo até a inserção da quarta folha completamente expandida, estágio V4, realizada em 18/12/2025..	31
Figura 6. Determinação do Teor Relativo de Clorofila (TRC) com clorofilômetro portátil na folha mais jovem completamente expandida, estágio V4, realizada em 18/12/2025.....	32
Figura 7. Medição do diâmetro de colmo com paquímetro digital na região do entrenó basal, estágio V4, realizada em 18/12/2025	32
Figura 8. Adubação de cobertura nitrogenada realizada em 18/12/2025, estágio V4	32
Figura 9. Sintomas visuais de deficiência de fósforo nas plantas de milho no estágio V4, caracterizados pelo roxeamento das folhas mais velhas, observados em 18/12/2025.....	33
Figura 10. Aplicação suplementar de 200 kg ha ⁻¹ de superfosfato simples (SFS) em todos os tratamentos, realizada em 18/12/2025, estágio V4.....	33
Figura 11. Material coletado das parcelas secando em estufa de ventilação forçada a 65°C por 24 horas	34
Figura 12. Colheita manual das espigas realizada em 04/03/2026.....	36
Figura 13. Espigas colhidas do Bloco I ao final do ciclo da cultivar NS44 VIP3	36
Figura 14. Espigas colhidas do Bloco II ao final do ciclo da cultivar NS44 VIP3	36
Figura 15. Espigas colhidas do Bloco III ao final do ciclo da cultivar NS44 VIP3	37
Figura 16. Espigas colhidas do Bloco IV ao final do ciclo da cultivar NS44 VI	37

Figura 17. Espécies infestantes observadas na área experimental durante a condução do experimento, destacando-se capim-colonião (*Megathyrsus maximus*), dormideira (*Mimosa pudica*) e picão-roxo (*Ageratum conyzoides*)..... 38

Figura 18. Presença de malva-branca (*Sida cordifolia* L.) na área experimental, destacando seu potencial de interferência no desenvolvimento e na produtividade da cultura do milho.). 38

Figura 19. Isca formicida granulada utilizada no controle de formigas-cortadeiras durante a condução do experimento..... 38

Gráfico 4. Massa seca total em g m⁻¹ da cultivar de milho NS44 VIP3 sob diferentes estratégias de adubação nitrogenada 47

Gráfico 5. Produtividade de grãos (kg ha⁻¹) da cultivar de milho NS44 VIP3 sob diferentes estratégias de adubação nitrogenada..... 47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos do solo da área experimental — IFTO Campus Palmas, Palmas – TO. Laudo N°: 1246/2025	24
Tabela 2. Atributos físicos e hídricos do solo da área experimental — IFTO Campus Palmas, Palmas – TO. Laudo N°: 1246/2025.	24
Tabela 3. Estimativa da Adubação Nitrogenada para Milho: Produtividade, Suprimento do Solo e Eficiência do Fertilizante	25
Croqui 1. Delineamento experimental em blocos ao acaso (DBC) com 5 tratamentos e 4 repetições. IFTO – Campus Palmas, 2025	27
Tabela 4. Teor Relativo de Clorofila (TRC, unidade SPAD) e Número de Plantas por metro (NP) da cultivar de milho NS44 VIP3 sob diferentes manejos de adubação nitrogenada, avaliados aos 22 dias após a semeadura (DAS)	41
Tabela 5. Teor Relativo de Clorofila (TRC SPAD), Diâmetro do Caule (DC mm), Altura de Planta (AP cm), Índice de Área Foliar (IAF m ²) e Massa Seca da Parte Aérea (MSPA g m ⁻¹) da cultivar de milho NS44 VIP3 sob diferentes manejos de adubação nitrogenada, avaliados no estágio V4 (38 DAS)	43
Tabela 6. Teor Relativo de Clorofila (TRC SPAD), Diâmetro do Caule (DC, mm), Altura de Planta (AP, cm), Índice de Área Foliar (IAF m ²) e Massa Seca da Parte Aérea (MSPA g m ⁻¹) da cultivar de milho NS44 VIP3 sob diferentes manejos de adubação nitrogenada, avaliados no estágio V8 (70 DAS)	44
Tabela 7. Teor Relativo de Clorofila (TRC SPAD) da cultivar de milho NS44 VIP3 sob diferentes manejos de adubação nitrogenada, avaliado no estágio reprodutivo R1 (florescimento - 84 DAS)	45

LISTA DE ABREVIATURAS

Al^{3+}	Alumínio (íon)
C/N	Relação carbono/nitrogênio
Ca^{2+}	Cálcio (íon)
cmolc dm^{-3}	Centimol de carga por decímetro cúbico
g dm^{-3}	Gramas por decímetro cúbico
g kg^{-1}	Gramas por quilograma
H + Al	Acidez potencial (hidrogênio + alumínio)
K^{+}	Potássio (íon)
kg ha^{-1}	Quilogramas por hectare
m	Saturação por alumínio
mg dm^{-3}	Miligramas por decímetro cúbico
Mg^{2+}	Magnésio (íon)
mm/cm	Milímetros por centímetro
N	Nitrogênio
NH_4^{+}	Amônio (íon)
NO_2^{-}	Nitrito
NO_3^{-}	Nitrato
P	Fósforo
S- SO_4^{2-}	Enxofre na forma de sulfato
t ha^{-1}	Toneladas por hectare
V	Saturação por bases
V4,V8,V12	Estádios de desenvolvimento vegetativo do milho

LISTA DE SIGLAS

AD4	Classe de disponibilidade de água (nível 4)
ATP	Adenosina trifosfato
C.O.	Carbono orgânico
CaCl ₂	Cloreto de cálcio
CO ₂	Dióxido de carbono
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CTC	Capacidade de troca catiônica
DNA	Ácido desoxirribonucleico
Ef	Eficiência de uso do fertilizante
H ₂ O	Água
IFTO	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
M.O.	Matéria orgânica
MOS	Matéria orgânica do solo
N ₂	Gás dinitrogênio
N ₂ O	Óxido nitroso
NBPT	N-(n-butil) triamida tiofosfórica
Nf	Necessidade de adubação nitrogenada
NH ₃	Amônia (gasosa)
PRNT	Poder relativo de neutralização total
RNA	Ácido ribonucleico
SB	Soma de bases
SIPA	Sistemas integrados de produção agropecuária
SPAD	Índice obtido por clorofilômetro portátil (Soil Plant Analysis Development)
SPD	Sistema de plantio direto
USDA	United States Department of Agriculture (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Milho: Mercado Global e Posicionamento do Brasil	15
2.2 Ciclo Biogeoquímico do Nitrogênio.....	16
2.3 Nitrogênio na cultura do milho	18
2.4 Antecipação da adubação nitrogenada na cultura do milho	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
3.1 Caracterização do Local	23
3.2 Instalação e Condução do Experimento.....	24
3.3 Características Avaliadas.....	29
3.4 Análise Estatística dos Dados	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) constitui um dos macronutrientes de maior relevância para o crescimento vegetal, participando diretamente da síntese de aminoácidos, proteínas, enzimas e clorofila, compostos essenciais para o crescimento vegetativo e para o potencial produtivo das culturas agrícolas. A deficiência desse nutriente compromete processos fundamentais como a fotossíntese, a divisão celular e o acúmulo de biomassa, com reflexos diretos na capacidade produtiva das plantas (DA SILVA *et al.*, 2024; TAIZ *et al.*, 2017).

Na cultura do milho (*Zea mays L.*), o nitrogênio destaca-se como o nutriente de maior exigência ao longo do ciclo produtivo, exercendo papel determinante na produção de biomassa e no enchimento de grãos. Bono, Setti e Pereira (2017) e Da Silva *et al.* (2024) registraram que a resposta do milho à adubação nitrogenada está entre as mais expressivas para gramíneas cultivadas no Brasil, evidenciando a centralidade desse nutriente para o desempenho econômico e produtivo da cultura.

Nos solos do Cerrado, a dinâmica do N é marcada por elevada complexidade, decorrente das transformações biogeoquímicas que ocorrem na interface solo-planta e das condições edafoclimáticas predominantes no bioma. As altas temperaturas, o regime pluviométrico concentrado e os baixos teores de matéria orgânica configuram um ambiente propício a perdas expressivas do nutriente por lixiviação, volatilização e desnitrificação, comprometendo sua eficiência de aproveitamento pelas plantas (VIEIRA, 2017; SOUSA; LOBATO, 2004).

Em sistemas de plantio direto com cobertura de palhada, esse cenário torna-se ainda mais desafiador. A atividade microbiana sobre resíduos com elevada relação carbono/nitrogênio (C/N) promove a imobilização temporária do N, reduzindo sua disponibilidade nos estádios iniciais de crescimento da cultura, aspecto amplamente discutido por Lara Cabezas (2008) e Kluthcouski *et al.* (2006).

Ao longo do ciclo fenológico do milho, a absorção de N ocorre de forma crescente, atingindo maior intensidade entre os estádios V4 e V12, período crítico para a definição do potencial produtivo da cultura. A ruptura da sincronia entre a disponibilidade do nutriente no solo e a demanda fisiológica da planta, por aplicação precoce ou tardia do fertilizante, tende a resultar em perdas nutricionais e redução da eficiência agrônômica, como demonstrado por Bono, Setti e Pereira (2017) e Coelho (2006).

A definição do momento mais adequado de aplicação do N permanece, portanto, como uma questão técnica relevante, especialmente na comparação entre a adubação

antecipada e o manejo convencional. Taiz *et al.* (2017) e Neto, Lima e Borges (2025) fundamentam que o fornecimento equilibrado de nutrientes é condição essencial para que a planta expresse plenamente seu potencial genético, sustentando crescimento vigoroso e elevada capacidade produtiva.

A avaliação de estratégias que ampliem a eficiência de uso do nitrogênio assume relevância não apenas sob o ponto de vista agrônomo, mas também em termos de sustentabilidade dos sistemas produtivos. A adubação nitrogenada antecipada apresenta potencial para otimizar as operações de campo e aprimorar a logística de implantação da cultura, embora sua eficiência esteja diretamente condicionada às características do solo, às condições climáticas e ao sistema de manejo adotado, podendo apresentar respostas variáveis conforme o ambiente de cultivo, como apontado por Silva *et al.* (2021).

Lopes *et al.* (2017) e Schlatter (2023) mostraram que estratégias de manejo mais eficientes tendem a promover maior aproveitamento dos fertilizantes, redução de perdas nutricionais, diminuição dos custos de produção e maior resiliência dos sistemas produtivos ao longo das safras. A compreensão do comportamento do nitrogênio em sistemas de plantio direto sobre palhada no Cerrado é fundamental para o desenvolvimento de recomendações técnicas mais consistentes e adaptadas às condições locais de produção.

Este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho agrônomo da cultivar de milho NS44 VIP3 sob diferentes épocas e formas de aplicação da adubação nitrogenada em sistema de plantio direto no Cerrado tocantinense, por meio da comparação entre o manejo antecipado e o manejo convencional quanto ao crescimento vegetativo, ao teor relativo de clorofila e à produtividade de grãos da cultura.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Milho: Mercado Global e Posicionamento do Brasil

O milho (*Zea mays L.*) figura entre os cereais de maior relevância para a segurança alimentar mundial, com ampla utilização na alimentação humana, na cadeia produtiva animal e na geração de energia renovável (WANDER; CUNHA, 2022). O Brasil ocupa posição estratégica nesse cenário, como terceiro maior produtor e segundo maior exportador mundial do cereal, com produção estimada em 138,4 milhões de toneladas para a safra 2025/26 e Valor Bruto da Produção de R\$ 124,9 bilhões em 2024, representando 9,8% do total agropecuário nacional (CONAB, 2026).

Internamente, cerca de 70% da produção é consumida no mercado doméstico, com aproximadamente 60% destinados à ração animal e parcela crescente direcionada à produção de etanol, reforçando a posição estratégica da cultura no agronegócio brasileiro (SANCHES *et al.*, 2024). Os ganhos de produtividade observados nas últimas décadas, impulsionados pelo melhoramento genético, pelo plantio direto e pela mecanização, foram determinantes para esse crescimento, conforme registrado por Almeida e Spolador (2024).

Nesse contexto, a eficiência no uso de insumos, especialmente dos fertilizantes nitrogenados, torna-se fator central para a competitividade e a sustentabilidade dos sistemas produtivos. O nitrogênio representa um dos maiores custos variáveis da lavoura de milho e, ao mesmo tempo, o nutriente de maior impacto sobre a produtividade, o que torna o aprimoramento das estratégias de manejo uma demanda técnica e econômica permanente para os sistemas de produção no Cerrado brasileiro (COELHO, 2006; LOPES *et al.*, 2017).

2.2 Ciclo Biogeoquímico do Nitrogênio

O nitrogênio (N) é o nutriente mineral mais exigido pela maioria das culturas agrícolas e, ao mesmo tempo, o que mais limita a produtividade no campo. Embora represente cerca de 78% da atmosfera na forma de gás dinitrogênio (N_2), as plantas não conseguem absorvê-lo diretamente, necessitando que ele passe por uma série de transformações no solo para tornar-se disponível às raízes (VIEIRA, 2017; CANTARELLA, 2007).

No solo, estima-se que cerca de 95% do N total esteja preso na fração orgânica, ligado à matéria orgânica e indisponível para as plantas. Apenas uma pequena fração encontra-se nas formas inorgânicas de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-), que são as únicas absorvíveis pelas raízes (VIEIRA, 2017; KLUTHCOUSKI *et al.*, 2006). O conjunto de processos que transforma o N orgânico em formas disponíveis, e que também provoca perdas do nutriente, é chamado de ciclo biogeoquímico do nitrogênio, envolvendo mineralização, nitrificação, imobilização, desnitrificação, volatilização e fixação biológica (OLIVEIRA, 2015). Mota *et al.* (2015) e Sichoeki *et al.* (2014) destacam que essa complexidade é uma das principais razões pelas quais a eficiência de aproveitamento do N pelos fertilizantes é baixa, resultado corroborado por Setti *et al.* (2006) em condições de Cerrado.

A mineralização é o primeiro passo para que o N orgânico fique disponível e ocorre em duas etapas sequenciais. A primeira, denominada amonificação, consiste na decomposição da matéria orgânica por microrganismos do solo, com liberação de amônio

(NH_4^+). A velocidade dessa transformação depende da umidade do solo, idealmente entre 50% e 70% da capacidade de campo, da temperatura, entre 10 °C e 40 °C, e do pH, próximo ao neutro, entre 6 e 7 (VIEIRA, 2017; SOUSA; LOBATO, 2004). Na prática, Coelho (2006) estimou que a cada 1% de matéria orgânica no solo são liberados aproximadamente 20 a 30 kg ha^{-1} de N por ano.

A segunda etapa é a nitrificação, processo pelo qual o amônio (NH_4^+) é convertido em nitrito (NO_2^-) e, em seguida, em nitrato (NO_3^-), por ação de bactérias específicas como *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*. Em condições de umidade adequada, essa conversão completa-se em cerca de três a quatro semanas após a aplicação da ureia, tornando o N inteiramente na forma nítrica, altamente móvel e suscetível à lixiviação no perfil do solo (SOUSA; LOBATO, 2004; VIEIRA, 2017). Embora a nitrificação torne o N mais disponível para as plantas, ela também aumenta o risco de perdas, especialmente em solos arenosos e em períodos de chuva intensa, aspecto relevante nas condições do Cerrado tocantinense (NETO; LIMA; BORGES, 2025).

Um fator decisivo para determinar se a mineralização irá liberar ou consumir N do solo é a relação C/N dos resíduos vegetais. Resíduos com relação C/N abaixo de 20, como os de leguminosas, favorecem a liberação líquida de N para as plantas. Já resíduos com relação C/N acima de 30, como os de milheto, braquiária e palhada de milho, têm efeito contrário: os microrganismos que os decompõem competem com as plantas pelo nutriente, fenômeno denominado imobilização microbiana (VIEIRA, 2017; SOUSA; LOBATO, 2004).

Na área experimental do presente estudo, o sistema de plantio direto foi implantado sobre palhada de capim-massai (*Megathyrsus maximus* cv. *Massai*) e milho (*Zea mays* L.), culturas com elevada relação C/N. Essa condição favoreceu a imobilização temporária do N nos estádios iniciais da cultura, reduzindo a disponibilidade do nutriente justamente no período de maior demanda fisiológica das plântulas, conforme discutido por Kluthcouski et al. (2006) e Bono, Setti e Pereira (2017). Nos primeiros anos de adoção do plantio direto, a imobilização tende a superar a mineralização, e somente após um período de ajuste o sistema começa a fornecer N às culturas de forma mais consistente (OLIVEIRA, 2015).

A volatilização da amônia representa uma das principais formas de perda de N no campo, especialmente quando a ureia é aplicada na superfície do solo. Nesse processo, a ureia é hidrolisada pela enzima urease, presente no solo e nos resíduos vegetais, liberando amônio (NH_4^+) que, em condições de pH elevado, temperatura alta ou baixa umidade, converte-se em amônia gasosa (NH_3) e escapa para a atmosfera. Vieira (2017), Cantarella et

al. (2007) e Bono, Setti e Pereira (2017) registraram perdas de até 78% do N aplicado dessa forma. No plantio direto, o problema é amplificado porque a urease se concentra na interface entre o solo e a palha, acelerando a hidrólise antes que a ureia seja incorporada ao solo.

A lixiviação é outra via importante de perda, especialmente em solos arenosos. O nitrato (NO_3^-), por ser carregado negativamente, não é retido pelas partículas de argila e move-se livremente com a água da chuva para camadas mais profundas, ficando fora do alcance das raízes. Kluthcouski *et al.* (2006) estimaram perdas em torno de 5% do N aplicado para cada 1.000 mm de chuva em solos de textura mais equilibrada, enquanto Sousa e Lobato (2004) registraram que em solos arenosos esse movimento pode ser quatro a seis vezes mais rápido do que em solos argilosos.

A desnitrificação ocorre quando o solo fica encharcado e sem oxigênio, condição em que bactérias utilizam o nitrato (NO_3^-) como fonte de oxigênio, transformando-o em gases como N_2O e N_2 que se perdem para a atmosfera. Vieira (2017) e Bono, Setti e Pereira (2017) destacam que esse processo tem impacto ambiental relevante, pois o óxido nitroso (N_2O) é um gás de efeito estufa 310 vezes mais potente que o CO_2 , com permanência na atmosfera de cerca de 114 anos.

A matéria orgânica do solo (MOS) é o principal reservatório de N e desempenha papel central na dinâmica do nutriente. Sousa e Lobato (2004) e Oliveira (2015) recomendam doses maiores de adubação nitrogenada em áreas recém-convertidas ou nos primeiros anos de plantio direto, período em que a imobilização microbiana pode ser intensa. Em áreas bem manejadas, com rotação de culturas e manutenção permanente de palha, a mineralização da matéria orgânica pode suprir volumes expressivos de N por ano, reduzindo a dependência de doses elevadas de fertilizantes. Silva *et al.* (2022) destacam que o sistema de plantio direto com rotação de culturas no Cerrado melhora as condições físicas, químicas e biológicas do solo, tornando a ciclagem de N mais eficiente ao longo do tempo.

2.3 Nitrogênio na cultura do milho

O milho (*Zea mays L.*) apresenta elevada exigência nutricional em nitrogênio entre as gramíneas cultivadas, sendo o N indispensável para a formação de proteínas, enzimas, material genético (DNA e RNA), clorofila e moléculas de energia como o ATP, estruturas que sustentam todos os processos vitais da planta, desde a fotossíntese até o crescimento dos grãos (NETO; LIMA; BORGES, 2025; TAIZ *et al.*, 2017). Coelho (2006) registrou que entre 70% e 90% dos experimentos de campo realizados em várias regiões do Brasil apresentaram

aumento de produtividade com a aplicação de N, evidenciando como esse nutriente é decisivo para o desempenho da cultura.

Quando o N está em falta, os primeiros sinais aparecem nas folhas mais velhas, que começam a amarelecer a partir da ponta em direção à nervura central, formando um padrão característico em forma de V. Esse comportamento ocorre porque o N é um nutriente altamente móvel dentro da planta e, quando escasso, é redistribuído das folhas mais antigas para abastecer as mais novas. Além do amarelecimento, a deficiência provoca redução da área foliar, menor crescimento do colmo e queda expressiva na produtividade (OLIVEIRA, 2015; NETO; LIMA; BORGES, 2025). A área foliar é importante porque determina diretamente a capacidade fotossintética da planta, podendo ser estimada a partir de três quartos do produto entre a largura máxima e o comprimento total de cada folha, equação válida para diferentes cultivares (GUIMARÃES *et al.*, 2002).

A quantidade de N que o milho necessita está diretamente ligada à produtividade almejada. Em média, para cada tonelada de grãos produzida a planta acumula cerca de 20 a 21 kg de N na parte aérea (SOUSA; LOBATO, 2004; JEAN *et al.*, 2025). Para uma lavoura com meta de 10 t ha⁻¹, a demanda total de N pode ultrapassar 200 kg ha⁻¹ (COELHO, 2006), sendo que entre 60% e 77% desse total absorvido é exportado pelos grãos na colheita (CANTARELLA *et al.*, 2007; JEAN *et al.*, 2025).

A absorção de N pelo milho não ocorre de forma uniforme ao longo do ciclo. Nos primeiros 30 dias após a emergência a absorção é pequena, mas cresce rapidamente a partir do estágio V4. Dois momentos de absorção intensa foram identificados por Coelho (2006) e Oliveira (2015): o primeiro vai do estágio V12 ao V18, fase em que se define o número potencial de grãos, e o segundo ocorre durante a fase reprodutiva, quando no florescimento a taxa de absorção pode superar 4,5 kg ha⁻¹ por dia. Mais de 50% do N total requerido pela planta é absorvido nesse período crítico, de modo que a falta de N nessa fase compromete definitivamente a produtividade, independentemente do suprimento anterior.

A cor verde das folhas é um indicador prático do estado nutricional de N no milho, já que mais de 50% do N presente nas folhas compõe as moléculas de clorofila. O índice SPAD, medido com clorofilômetro, permite estimar indiretamente o teor de N foliar de forma rápida e não destrutiva. Da Silva *et al.* (2024) reforçam o uso do SPAD como ferramenta eficiente de monitoramento da nutrição nitrogenada em gramíneas, resultado corroborado por Lopes *et al.* (2017), que confirmaram correlação forte e positiva entre o teor de clorofila, o teor de N foliar e a produtividade de grãos.

As doses de N recomendadas para o milho de sequeiro variam entre 60 e 100 kg ha⁻¹

em cobertura, dependendo da produtividade esperada. Em sistemas irrigados com alto nível tecnológico, as doses podem chegar a 120 a 160 kg ha⁻¹. Sousa e Lobato (2004) registraram que o milho pode responder positivamente a doses de até 200 kg ha⁻¹ de N no Cerrado, atingindo produtividades próximas a 8 t ha⁻¹ com 100 kg ha⁻¹ em solos com 3% a 4% de matéria orgânica. Sem adubação nitrogenada em cobertura, a produtividade fica restrita ao que o próprio solo consegue fornecer, geralmente em torno de 4.000 a 4.300 kg ha⁻¹, nível insuficiente para a viabilidade econômica da lavoura na maioria das situações (COELHO, 2006; LIMA; SOUZA, 2025).

Para definir a dose ideal de N, é necessário considerar simultaneamente o tipo de solo, o regime de chuvas, o sistema de cultivo, a época de semeadura, a variedade cultivada, a rotação de culturas adotada e a fonte de N disponível (BONO; SETTI; PEREIRA, 2017). A fórmula adaptada por Sousa e Lobato (2004) para as condições do Cerrado expressa essa relação como: Dose de N (kg ha⁻¹) = (RNC – SNS) × f, em que RNC é a quantidade de N necessária para atingir a produtividade desejada, SNS é o quanto o solo já consegue fornecer por mineralização da matéria orgânica e f é o fator de correção pela eficiência de uso do fertilizante.

As fontes nitrogenadas mais utilizadas no milho são a ureia e o sulfato de amônio. A ureia apresenta maior concentração, com 45 a 46% de N, tornando o custo por unidade de N geralmente menor, mas com alta suscetibilidade à volatilização quando aplicada na superfície do solo (BONO; SETTI; PEREIRA, 2017; SCHLATTER, 2023). O sulfato de amônio, com cerca de 20% de N, perde menos por volatilização e ainda fornece enxofre, nutriente importante em solos deficientes nesse elemento. Schlatter (2023) comprovou essa vantagem em experimento com solo arenoso, no qual os tratamentos com sulfato de amônio produziram, em média, 529 kg ha⁻¹ a mais de grãos do que os com ureia, resultado atribuído ao fornecimento de enxofre em solo com teor insuficiente desse nutriente.

O parcelamento da adubação nitrogenada é uma das estratégias mais recomendadas para aumentar a eficiência do uso do N pelo milho. Em vez de aplicar toda a dose de uma vez, ela é dividida, geralmente com 10 a 30 kg ha⁻¹ de N no plantio e o restante em cobertura entre os estádios V4 e V8. Em solos arenosos com doses acima de 100 kg ha⁻¹, Sousa e Lobato (2004) recomendam o parcelamento em até três aplicações de cobertura para reduzir o risco de lixiviação, recomendação corroborada por Oliveira (2015). Jean *et al.* (2025) confirmaram essa estratégia em experimento no Piauí, no qual três aplicações em cobertura aos 15, 30 e 40 dias após a emergência resultaram em espigas com maior quantidade, peso, diâmetro e comprimento do que uma ou duas aplicações.

A escolha dos estádios V4 e V8 como momentos de cobertura no presente experimento fundamenta-se nessa lógica de sincronização entre oferta e demanda. O estágio V4 marca o início da aceleração da taxa de crescimento vegetativo e da demanda por N, enquanto o V8 antecede o período de maior absorção do nutriente, entre V12 e o florescimento, garantindo que o N esteja disponível no solo justamente quando a cultura mais necessita para definir o número de grãos por espiga e sustentar o enchimento posterior (COELHO, 2006; KLUTHCOUSKI *et al.*, 2006).

2.4 Antecipação da adubação nitrogenada na cultura do milho

A antecipação da adubação nitrogenada consiste em aplicar o fertilizante dias ou semanas antes da semeadura do milho, em vez de aguardar os estádios vegetativos para realizar a adubação de cobertura. Coelho (2006) e Bono, Setti e Pereira (2017) registraram os ganhos operacionais dessa prática, que oferece maior flexibilidade no calendário agrícola, permite uso mais racional das máquinas, reduz a pressão de trabalho na época de semeadura e aproveita melhor as janelas climáticas favoráveis.

A principal justificativa técnica para antecipar o N está na sincronização entre oferta e demanda do nutriente. No plantio direto, especialmente nos primeiros anos de adoção, a palhada com alta relação C/N retarda a disponibilização natural do N por imobilização microbiana. Quando a adubação de cobertura é realizada apenas no estágio V6, o N pode chegar tarde demais, após o período de maior demanda da planta. Ao antecipar a aplicação, o objetivo é garantir que o N esteja disponível justamente quando a demanda da cultura começa a crescer (KLUTHCOUSKI *et al.*, 2006; SOUSA; LOBATO, 2004).

No Cerrado, o milheto é a planta de cobertura mais utilizada para a antecipação da adubação nitrogenada, por ser resistente ao déficit hídrico, produzir muita biomassa e ter custo de semente acessível. Bono, Setti e Pereira (2017) demonstraram que as altas temperaturas e a umidade do verão promovem decomposição relativamente rápida dos resíduos de menor relação C/N, favorecendo o uso dessas coberturas junto à adubação antecipada.

Fertilizantes nitrogenados de liberação lenta representam uma alternativa interessante para a antecipação do N, pois liberam o nutriente de forma gradual e controlada, permitindo aplicar doses maiores com menor risco de perda. Setti *et al.* (2006) e Bono, Setti e Pereira (2017) mostraram que esse tipo de produto amplia a flexibilidade no calendário de adubação. Em experimento conduzido em São Gabriel do Oeste-MS, a combinação de 30

kg ha⁻¹ de N antecipados, mais 80 kg ha⁻¹ no plantio e 70 kg ha⁻¹ em cobertura sobre palhada de milho resultou em produtividade superior a 7.400 kg ha⁻¹ (BONO; SETTI; PEREIRA, 2017).

Em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA), a antecipação do N pode ir ainda mais longe, com o fertilizante aplicado na pastagem de inverno e seu efeito residual beneficiando o milho cultivado no verão seguinte. Lopes *et al.* (2017) mostraram que apenas 75 kg ha⁻¹ de N aplicados em pré-semeadura do milho aumentaram a produtividade em mais de 71% em relação ao tratamento sem N, atingindo 7.148 kg ha⁻¹, e que parcelas que receberam 225 kg ha⁻¹ de N na pastagem de inverno chegaram a 12.338 kg ha⁻¹ de grãos sem necessidade de adubação de cobertura no milho, em razão do N residual da pastagem.

No entanto, a antecipação não produz os mesmos resultados em todos os tipos de solo e situações climáticas, e sua adoção sem critério pode aumentar significativamente os riscos de perda do nutriente. Lara Cabezas (2008), em experimento com solo arenoso no Noroeste Paulista, comparou três épocas de aplicação de sulfato de amônio: 59 dias antes da semeadura, 21 dias antes da semeadura e 22 dias após a semeadura. A antecipação de 59 dias resultou em apenas 4.758 kg ha⁻¹, enquanto a antecipação de 21 dias, com 5.860 kg ha⁻¹, não diferiu da cobertura convencional, que produziu 5.825 kg ha⁻¹. O autor concluiu que em solos arenosos antecipar excessivamente o N representa risco elevado de perda por lixiviação, principalmente em períodos de chuva intensa antes da semeadura, conclusão corroborada por Sousa e Lobato (2004).

Os principais fatores de risco associados à antecipação da adubação nitrogenada podem ser organizados em quatro situações. Chuvas intensas após a aplicação favorecem a lixiviação do nitrato (NO₃⁻) para camadas profundas do solo, fora do alcance das raízes, especialmente em solos de textura arenosa. Altas temperaturas associadas à baixa umidade do solo aceleram a volatilização da amônia (NH₃) a partir da ureia aplicada na superfície, com perdas que podem atingir 70% a 78% do N aplicado (VIEIRA, 2017; BONO; SETTI; PEREIRA, 2017). A presença de palhada com elevada relação C/N, como capim-massai (*Megathyrsus maximus*) e milho (*Zea mays* L.), favorece a imobilização microbiana do N antecipado, reduzindo sua disponibilidade nos estádios iniciais da cultura (KLUTHCOUSKI *et al.*, 2006). Por fim, a ausência de sincronismo entre a aplicação antecipada e a demanda fisiológica da cultura, especialmente quando toda a dose é aplicada sem complementação em cobertura, resulta em esgotamento do N disponível antes dos estádios críticos de florescimento e enchimento de grãos, penalizando severamente a produtividade final (COELHO, 2006; LOPES *et al.*, 2017).

Outro cuidado importante é evitar doses elevadas de N diretamente no sulco de semeadura junto às sementes, pois o efeito salino dos fertilizantes nitrogenados pode prejudicar a germinação e o crescimento inicial das plântulas. Kluthcouski *et al.* (2006) documentaram essa limitação e recomendaram realizar a antecipação em operação separada da semeadura, incorporando o fertilizante a 6 a 8 cm de profundidade, longe das sementes.

A escolha da fonte de N também influencia os resultados quando o fertilizante é aplicado antecipadamente. Fontes nítricas, como o nitrato de amônio, são mais suscetíveis à lixiviação quando aplicadas com muita antecedência. Fontes amoniacaais, como ureia e sulfato de amônio, permanecem por mais tempo no solo na forma de NH_4^+ , que fica retido nas partículas de argila antes de converter-se em nitrato. O uso de inibidores de nitrificação prolonga ainda mais esse período de retenção, reduzindo o risco de perdas por lixiviação (VIEIRA, 2017; NETO; LIMA; BORGES, 2025).

De forma geral, a antecipação da adubação nitrogenada é uma prática com potencial real de ganho operacional e produtivo, desde que as condições locais sejam favoráveis. Em solos de textura argilosa no Cerrado, com plantio direto consolidado, boa rotação de culturas e palhada abundante, antecipar parte do N pode ser tão eficiente quanto a cobertura convencional, com benefícios adicionais de menor custo operacional e menos tráfego de máquinas na lavoura (KLUTHCOUSKI *et al.*, 2006). Em contrapartida, em solos arenosos, com baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, ou em cenários de chuva intensa, alta temperatura, palhada com elevada relação C/N e ausência de parcelamento em cobertura, os riscos de perda superam os ganhos operacionais, tornando o parcelamento convencional nos estádios V4 a V8 a estratégia mais segura para garantir a sincronização entre a oferta de N e a demanda fisiológica da cultura (KLUTHCOUSKI *et al.*, 2006; LARA CABEZAS, 2008; SOUSA; LOBATO, 2004).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização do Local

O experimento foi conduzido na área experimental de Forragicultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas (IFTO), localizado no município de Palmas, estado do Tocantins, durante o período de outubro de 2025 a março de 2026.

A área está situada nas coordenadas geográficas de 10°12'46" de latitude sul e

48°21'37" de longitude oeste, com altitude média de 330 metros. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Aw, caracterizado como tropical quente e úmido, com precipitação média anual em torno de 1.500 mm, concentrada entre os meses de outubro e maio.

3.2 Instalação e Condução do Experimento

A área experimental foi conduzida em sistema de plantio direto sobre palhada de capim-massai (*Megathyrus maximus cv. Massai*) e milho (*Zea mays L.*), cultivados nos anos de 2023 a 2025. Antes da implantação do experimento, realizou-se a caracterização química e física do solo por meio de amostragem na camada de 0–20 cm, com coleta de amostras simples distribuídas de forma representativa na área e homogêneas para a formação de uma amostra composta. Os resultados analíticos são apresentados nas Tabelas 1 e 2. Com base nesses resultados, foram realizadas a correção do pH do solo e a adubação de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do milho. A análise física indicou disponibilidade hídrica classificada como AD4, correspondente à classe de maior disponibilidade de água para as plantas, conforme critério adotado no laudo de análise de solo (Laudo N°: 1246/2025).

Tabela 1. Resultado de Análise de Solo — IFTO Campus Palmas, Palmas – TO. Laudo N°: 1246/2025.

PH H ₂ O	pH CaCl ₂	P mg dm ⁻³	K ⁺ cmol _c dm ⁻³	Ca ²⁺ cmol _c dm ⁻³	Mg ²⁺ cmol _c dm ⁻³	Al ³⁺ cmol _c dm ⁻³	H+Al cmol _c dm ⁻³	M.O. g dm ⁻³	C.O. g dm ⁻³
5,47	4,84	9,35	0,07	1,71	0,88	0,25	4,10	26,63	15,45
SB cmol _c dm ⁻³	CTC cmol _c dm ⁻³	V (%)	m (%)	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
2,66	6,76	39,35	8,59	25,30	13,02	1,04	1,94	24,43	12,57

M.O.: matéria orgânica; C.O.: carbono orgânico; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio.

Tabela 2. Atributos físicos e hídricos do solo da área experimental — IFTO Campus Palmas, Palmas – TO. Laudo N°: 1246/2025.

Areia (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Água Disponível (mm cm ⁻¹)	Classe AD
554	341	105	0,97	AD4

Areia, argila e silte expressos em g kg⁻¹; água disponível em mm cm⁻¹; AD4: classe de disponibilidade de água.

A correção do solo foi realizada com aplicação de 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 70%), calculada pelo método da saturação por bases, conforme recomendado por Sousa e Lobato (2004), com o objetivo de elevar a saturação por bases de 39,35% para 60%,

valor recomendado para a cultura do milho no Cerrado. A necessidade de calagem foi estimada pela fórmula: $NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = [(V2 - V1) / 100] \times T \times f$, em que V2 é a saturação por bases desejada (60%), V1 é a saturação por bases atual (39,35%), T é a capacidade de troca catiônica efetiva ($6,76 \text{ cmolc dm}^{-3}$) e f é o fator de correção pelo PRNT do calcário ($100/70 = 1,43$). O resultado obtido foi de $1,99 \text{ t ha}^{-1}$, arredondado para $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário dolomítico (PRNT 70%), aplicado a lanço antes da semeadura.

A estimativa da necessidade de adubação nitrogenada foi realizada com base na metodologia proposta por Sousa & Lobato (2004) e Coelho (2006), utilizando a seguinte fórmula: $Nf = (Ny - Ns) / Ef$, em que Nf corresponde à quantidade de nitrogênio requerida pela planta; Ny representa o nitrogênio acumulado na matéria seca da parte aérea para a produtividade desejada; Ns é o nitrogênio suprido pelo solo; e Ef é o fator de eficiência do fertilizante, adotado como 0,50 (50%) nas condições do presente experimento, considerando o sistema de plantio direto sobre palhada e as condições edafoclimáticas do Cerrado. Os cálculos resultaram em uma necessidade estimada de $115,06 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, arredondada para 120 kg ha^{-1} , conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 3. Estimativa da Adubação Nitrogenada para Milho: Produtividade, Suprimento do Solo e Eficiência do Fertilizante

Parâmetro / Cálculo	Valor
Necessidade da cultura para produzir	
Grãos: $4950,34 \text{ kg ha}^{-1} \times 1,4\% \text{ kg N kg ha}^{-1}$	$69,30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N}$
Palhada: $5919,35 \text{ kg ha}^{-1} \times 1\% \text{ kg N kg ha}^{-1}$	$59,19 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N}$
Total (Ny)	$128,49 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N}$
Fornecimento pelo solo:	
20 kg de N por 1 % de M.O. (solo com 2,66% de M.O).	$53,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N}$
Resíduo de cultura, 30 % de N da palhada (59,19)	$17,76 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N}$
Total (Ns)	$70,96 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N}$
Necessidade de adubação nitrogenada	
$Nf = (Ny - Ns) / Ef = (128,49 - 70,96) / 0,50$	$115,06 \text{ kg ha}^{-1}$
Arredondado (conforme Sousa & Lobato, 2004)	$120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N}$

Fonte: Adaptado de Coelho (2006) e Sousa e Lobato (2004). Elaborado pelo Autor, 2026.

Com base no teor de argila do solo (34,1%), classificado como textura média a argilosa, e na dose total de 120 kg ha^{-1} de N, foi adotada a possibilidade de aplicação em uma única época para doses até 120 kg ha^{-1} em solos de textura média e argilosa (SOUSA; LOBATO, 2004). Essa fundamentação embasou a estruturação dos tratamentos com aplicação antecipada (T1, T2 e T3), comparados ao manejo convencional (T4 e T5).

A adubação fosfatada foi realizada com 350 kg ha^{-1} de superfosfato simples (SFS, 20% de P_2O_5), totalizando 70 kg ha^{-1} de P_2O_5 , com aplicação no sulco de semeadura em todos os tratamentos. A dose foi definida com base na interpretação da análise de solo e nas tabelas de recomendação de Sousa e Lobato (2004). A adubação potássica foi realizada com

83 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (KCl, 60% de K₂O), totalizando 50 kg ha⁻¹ de K₂O, aplicados também na semeadura, seguindo as recomendações de Sousa e Lobato (2004).

A aplicação antecipada de nitrogênio foi realizada no dia 21 de outubro de 2025, correspondente a 20 dias antes da semeadura. O fertilizante foi incorporado manualmente ao solo com auxílio de enxada, em operação separada da semeadura, conforme os tratamentos estabelecidos no delineamento experimental e de acordo com a recomendação de Kluthcouski et al. (2006), que orienta a incorporação do fertilizante antecipado em profundidade, longe das sementes, para evitar efeito salino sobre a germinação, conforme ilustrado na Figura 1. A semeadura foi realizada em 10 de novembro de 2025, de forma manual, com o auxílio de semeadora manual, adotando espaçamento de 0,60 m entre linhas e 0,20 m entre plantas, com profundidade de deposição das sementes de 5 cm. Foram semeadas 12 sementes por fileira, totalizando 48 sementes por parcela, distribuídas nas 4 fileiras de cada unidade experimental. Foi utilizada a cultivar NS44 VIP3, de ciclo precoce e adaptada às condições edafoclimáticas do Cerrado (NIDERA SEMENTES, 2024), conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 1. Aplicação antecipada de ureia, 20 dias antes da semeadura, realizada em 21/10/2025.



Fonte: Autor, (2026).

Figura 2. Semeadura manual da cultivar de milho NS44 VIP3 realizada em 10/11/2025.



Fonte: Autor, (2026).

O delineamento experimental adotado foi o Delineamento em Blocos ao Acaso (DBC), com 5 tratamentos e 4 repetições, totalizando 20 parcelas experimentais. Cada parcela apresentou dimensões de 2,4 m × 2,4 m, contendo quatro linhas de plantio espaçadas em 0,60 m. As duas linhas centrais de cada parcela foram destinadas à coleta de dados, enquanto as linhas extremas funcionaram como bordaduras, garantindo maior confiabilidade nos resultados experimentais.

Os tratamentos consistiram em diferentes épocas e formas de aplicação do nitrogênio, tendo como fonte a ureia (45% de N), descritos a seguir:

- T1: aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N, 20 dias antes da semeadura + 70kg ha⁻¹ P₂O₅ e 50kg ha⁻¹ K₂O na semeadura;
- T2: aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N, 20 dias antes da semeadura + 70kg ha⁻¹ P₂O₅ e 50kg ha⁻¹ K₂O na semeadura + 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura no estágio V4;
- T3: aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N, 20 dias antes da semeadura + 70kg ha⁻¹ P₂O₅ e 50kg ha⁻¹ K₂O na semeadura + 30 kg ha⁻¹ de N em cobertura no estágio V4 + 30 kg ha⁻¹ de N no estágio V8;
- T4: aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 70kg ha⁻¹ P₂O₅ e 50kg ha⁻¹ K₂O + 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura no estágio V4;
- T5: aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 70kg ha⁻¹ P₂O₅ e 50kg ha⁻¹ K₂O + 50 kg ha⁻¹ de N em cobertura no estágio V4 + 50 kg ha⁻¹ de N no estágio V8.

A distribuição aleatorizada dos tratamentos dentro dos blocos é apresentada no Croqui 1, a seguir. A disposição foi definida de forma a garantir a homogeneidade das condições experimentais dentro de cada bloco.

Croqui 1. Delineamento experimental em blocos ao acaso (DBC) com 5 tratamentos e 4 repetições. IFTO – Campus Palmas, 2025..

Bloco I	Bloco II	Bloco III	Bloco IV
P1 – T4	P6 – T2	P11 – T1	P16 – T5
P2 – T1	P7 – T4	P12 – T4	P17 – T3
P3 – T2	P8 – T5	P13 – T5	P18 – T1
P4 – T5	P9 – T3	P14 – T3	P19 – T2
P5 – T3	P10 – T1	P15 – T2	P20 – T4

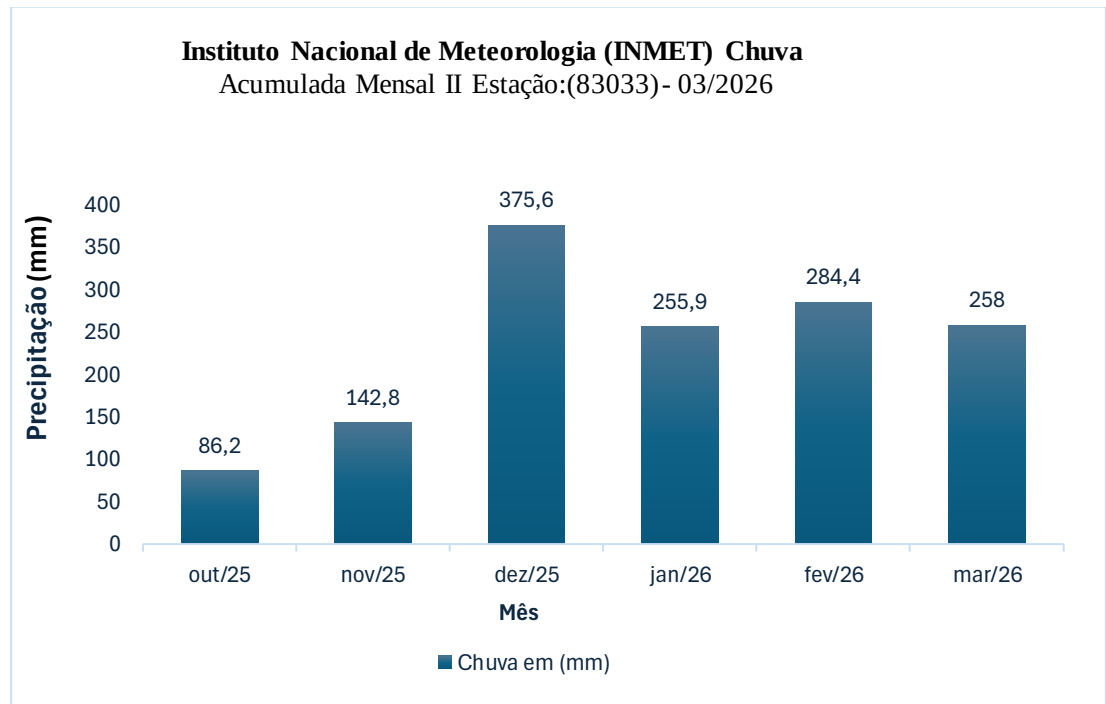
Fonte: Autor, (2026).

As condições climáticas registradas durante o período de condução do experimento foram obtidas junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), por meio da estação meteorológica automática de Palmas – TO (Estação 83033). Foram coletados dados mensais de precipitação pluviométrica acumulada (mm), temperatura máxima e mínima (°C) e umidade relativa do ar (%), referentes ao período de outubro de 2025 a março de 2026, os

quais são apresentados nos Gráficos 1, 2 e 3, respectivamente.

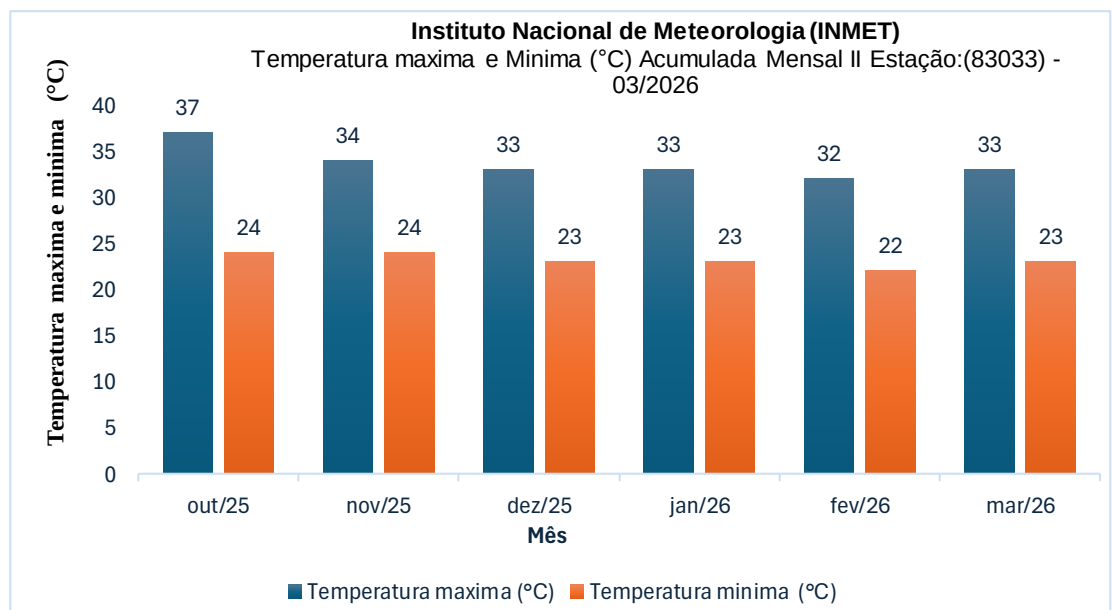
Essas informações serviram de suporte para a interpretação dos resultados obtidos, especialmente no que se refere à disponibilidade hídrica e às condições térmicas durante as fases críticas de desenvolvimento da cultura do milho.

Gráfico 1. Precipitação acumulada mensal (mm) Palmas – TO, outubro/2025 a março/2026.



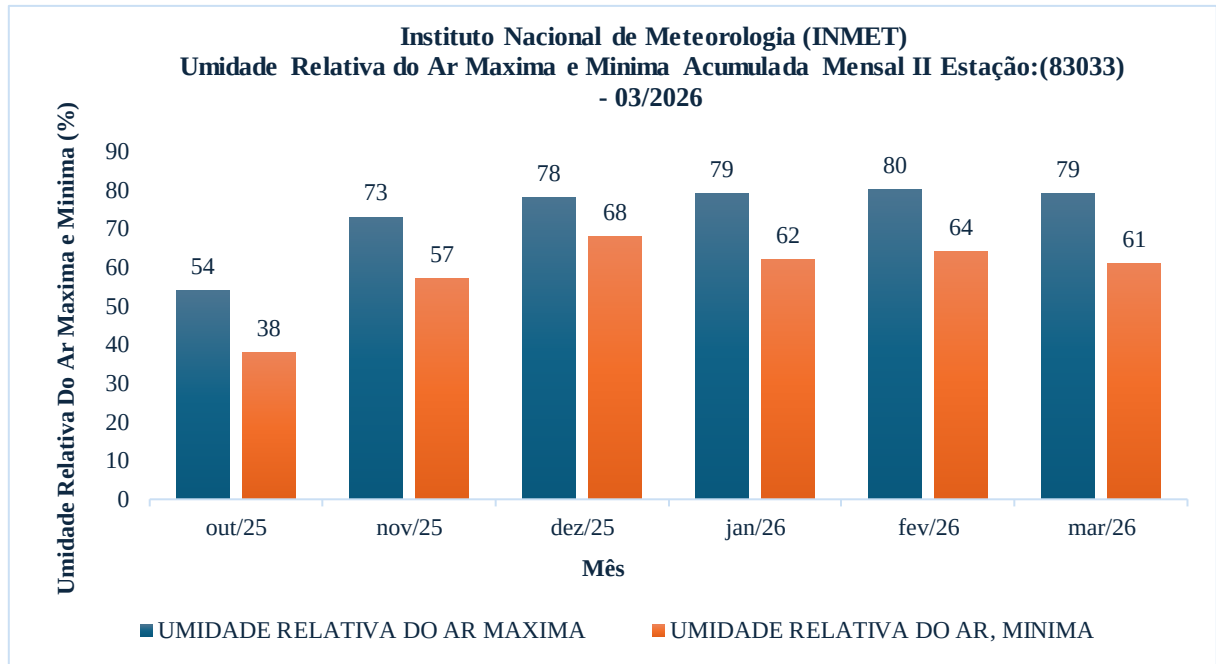
Fonte: INMET (2026)

Gráfico 2. Temperaturas máxima e mínima (°C), Palmas – TO, outubro/2025 a março/2026.



Fonte: INMET (2026)

Gráfico 3. Umidade relativa do ar (%) Palmas – TO, outubro/2025 a março/2026.



3.3 Características Avaliadas

Durante o desenvolvimento da cultura, foram realizadas coletas e observações periódicas nas parcelas, com o objetivo de avaliar o efeito da adubação antecipada sobre os seguintes parâmetros:

- Teor relativo de clorofila (TRC) em unidade SPAD.
- Altura de plantas (cm);
- Diâmetro do caule (mm);
- IAF (m²);
- Massa seca da parte aérea (g m⁻¹);
- Massa seca total (g m⁻¹);
- Produtividade (kg ha⁻¹);

1ª Coleta – 02/12/2025 (20 dias após a semeadura – DAS)

No dia 02 de dezembro de 2025, aos 22 dias após a semeadura (DAS), foi realizada a primeira avaliação do experimento. Nessa data procedeu-se à contagem do número de plantas

emergidas por parcela, com o objetivo de verificar o estande inicial e identificar a necessidade de replantio. As variáveis avaliadas nessa coleta foram o Teor Relativo de Clorofila (TRC, unidade SPAD) e o número de plantas emergidas por parcela (NP).

A determinação do TRC foi realizada por meio de clorofilômetro portátil, na folha mais jovem completamente expandida de cada planta amostrada na área útil das parcelas, conforme ilustrado na Figura 3. O TRC é um indicador indireto do status nutricional de nitrogênio da planta, uma vez que a clorofila é constituída por aproximadamente 6% de nitrogênio em sua estrutura (Da Silva *et al.*, 2024).

Constatadas falhas no estande, foi realizado o replantio das sementes nas linhas de plantio afetadas, conforme ilustrado na Figura 4, com o objetivo de uniformizar a população de plantas entre as parcelas. Ressalta-se que o replantio constitui uma limitação experimental, pois as plantas oriundas dessa operação apresentaram estágio fenológico distinto das demais ao longo do ciclo, podendo ter contribuído para o aumento da variabilidade nas variáveis de crescimento, massa seca e produtividade, conforme discutido na seção de Resultados e Discussão.

Figura 3. Determinação do Teor Relativo de Clorofila (TRC) com clorofilômetro portátil na primeira coleta de dados, realizada em 02/12/2025, aos 22 DAS.



Fonte: Autor, 2026.

Figura 4. Replanteio realizado em 02/12/2025, aos 22 DAS, nas parcelas com falhas no estande inicial.



Fonte: Autor, 2026.

2ª Coleta – 18/12/2025 (estádio V4)

A segunda avaliação foi conduzida no dia 18 de dezembro de 2025, quando as plantas se encontravam no estágio vegetativo V4 (quatro folhas completamente expandidas). As variáveis avaliadas nessa coleta foram: Teor Relativo de Clorofila (TRC, unidade SPAD); altura de plantas (cm), determinada com trena de fibra de vidro, medindo-se da superfície do solo até a inserção da quarta folha completamente expandida; Índice de Área Foliar (IAF), estimado pelo método proposto por Guimarães, Sans e Moraes (2002), em que o fator 0,75 representa a proporção da área foliar real em relação ao produto entre o comprimento e a largura máxima da folha; e diâmetro de colmo (mm), mensurado com paquímetro digital na região do entrenó basal, conforme ilustrado nas Figuras 5, 6 e 7.

Nessa mesma data foi realizada a adubação nitrogenada de cobertura nos tratamentos T2, T3, T4 e T5, conforme os tratamentos descritos anteriormente, conforme ilustrado na Figura 8. Também foi efetuada a coleta da parte aérea das plantas na área útil de cada parcela para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA). O material vegetal foi acondicionado em sacos de papel identificados por parcela e submetido à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 24 horas, conforme ilustrado na Figura 11. Posteriormente, procedeu à pesagem das amostras no laboratório de Fitotecnia em balança analítica, com registro dos dados em planilha digital. laboratório de Fitotecnia (sala 191 do bloco 13) em balança analítica, com registro dos dados em planilha digital.

Figura 5. Coleta de dados das parcelas realizada no dia 18/12/2025



Fonte: Autor, 2026.

Figura 6. Determinação do Teor Relativo de Clorofila (TRC) com clorofilômetro portátil no estágio V4, realizada em 18/12/2025.



Fonte: Autor, 2026.

Figura 7. Medição do diâmetro de colmo com paquímetro digital na região do entrenó basal, estágio V4, realizada em 18/12/2025.



Fonte: Autor, 2026

Figura 8. Adubação de cobertura nitrogenada realizada em 18/12/2025, estágio V4.



Fonte: Autor, 2026

Durante o acompanhamento das parcelas, foram observados sintomas visuais de deficiência de fósforo nas plantas de milho, caracterizados pelo avermelhamento e

roxramento das folhas mais velhas e pelo desenvolvimento vegetativo reduzido, conforme ilustrado na Figura 9. Esses sintomas são consistentes com os descritos por Goulart (2025) e Pereira (2025), em estudos conduzidos na mesma área experimental do IFTO – Campus Palmas, nos quais a limitação de fósforo no solo resultou em deficiência nutricional visível a partir do estágio V4, comprometendo o crescimento vegetativo inicial das plantas de milho.

Diante da constatação da deficiência, foi realizada no estágio V4 uma aplicação suplementar de 200 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (SFS, 20% de P₂O₅), equivalente a 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅, em todos os tratamentos, como medida corretiva para garantir condições mínimas de desenvolvimento da cultura, conforme ilustrado na Figura 10. Ressalta-se que essa intervenção constitui uma limitação experimental relevante, pois a aplicação igualitária de fósforo em todos os tratamentos a partir do estágio V4 pode ter homogeneizado parte das condições nutricionais entre as parcelas, reduzindo a capacidade de discriminação entre os tratamentos nitrogenados nas variáveis de crescimento avaliadas nos estádios subsequentes, conforme fundamentado por Taiz et al. (2017).

Figura 9. Sintomas visuais de deficiência de fósforo nas plantas de milho no estágio V4, caracterizados pelo roxamento das folhas mais velhas, observados em 18/12/2025.



Fonte: Autor, 2026

Figura 10. Aplicação suplementar de 200 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (SFS) em todos os tratamentos, realizada em 18/12/2025, estágio V4.



Fonte: Autor, 2026

Figura 11. Material coletado das parcelas secando em estufa de ventilação forçada à 65°C 24 horas.



Fonte: Autor, 2026

3ª Coleta – 19/01/2026 (estádio V8)

A terceira avaliação foi realizada no dia 19 de janeiro de 2026, com as plantas no estágio vegetativo V8 (oito folhas completamente expandidas). As variáveis avaliadas foram as mesmas da segunda coleta: TRC (SPAD), altura de plantas (cm), IAF (m^2), diâmetro de colmo (mm) e massa seca da parte aérea (MSPA, $g\ m^{-1}$).

Para a determinação do Teor Relativo de Clorofila (TRC), foram avaliadas 4 plantas por parcela, sendo uma planta por fileira, com leitura realizada na folha mais jovem completamente expandida de cada planta amostrada. A altura de plantas e o diâmetro de colmo foram determinados em 2 plantas por 0,50 metro linear de cada parcela, sendo a altura medida da superfície do solo até a inserção da última folha completamente expandida e o diâmetro mensurado com paquímetro digital na região do entrenó basal. O Índice de Área Foliar (IAF) foi estimado em 2 plantas por parcela, com contagem e medição de todas as folhas completamente expandidas de cada planta, pelo método proposto por Guimarães, Sans e Moraes (2002). A massa seca da parte aérea (MSPA) foi determinada a partir da coleta de 2 plantas por 0,50 metro linear da área útil de cada parcela, com secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 24 horas e posterior pesagem em balança analítica no laboratório de Fitotecnia.

Nessa data também foi realizada a adubação nitrogenada de cobertura nos tratamentos T3 e T5, conforme os tratamentos descritos anteriormente.

4ª Coleta – 02/02/2026 (estádio R1 – florescimento)

A quarta avaliação fisiológica foi conduzida no dia 02 de fevereiro de 2026, quando as plantas se encontravam no estágio reprodutivo R1, correspondente ao florescimento ou emissão dos estilos-estigmas da espiga. Nessa data foi realizada exclusivamente a determinação do Teor Relativo de Clorofila (TRC, SPAD), indicador do status nutricional de nitrogênio na fase reprodutiva, período de alta demanda pelo nutriente para a formação e enchimento de grãos. As leituras foram realizadas na folha mais jovem completamente expandida de cada planta amostrada, seguindo o mesmo critério adotado nas coletas anteriores, com 4 plantas avaliadas por parcela, sendo uma planta por fileira.

Colheita Final – 04/03/2026

A colheita foi realizada no dia 04 de março de 2026, com coleta manual das espigas na área útil de cada parcela, correspondente a 0,50 metro linear das linhas de plantio, conforme ilustrado na Figura 12. Em algumas parcelas, em razão de falhas no estande nas linhas centrais, foi necessário incluir plantas da bordadura na colheita, o que constitui uma limitação experimental, pois plantas de bordadura podem apresentar comportamento distinto das plantas da área útil em virtude da menor competição intraespecífica nas extremidades da parcela.

Após a colheita, procedeu-se à coleta da parte aérea das plantas (colmos e folhas) conjuntamente com as espigas. Todo o material vegetal foi acondicionado em sacos de papel identificados e submetido à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 48 horas, para a determinação da massa seca total (parte aérea + espiga), conforme ilustrado na Figura 11. Após a secagem, as espigas foram debulhadas e os grãos pesados em balança digital de precisão.

A produtividade de grãos foi estimada por parcela por meio da seguinte sequência de cálculo: dividiu-se 10.000 pelo espaçamento entre linhas (0,60 m), obtendo-se o número de linhas por hectare; esse resultado foi dividido pelo comprimento colhido (0,50 m), obtendo-se o número de amostras por hectare; esse valor foi então multiplicado pelo número de espigas coletadas e pelo peso dos grãos obtido por parcela, resultando na produtividade estimada em kg ha⁻¹.

Ressalta que a produtividade não foi corrigida para a umidade padrão de 13%, uma vez que os grãos foram secos em estufa a 65 °C por 48 horas antes da pesagem. Essa ausência de correção constitui uma limitação para a comparação direta dos resultados com outros estudos que adotam a umidade padrão, devendo ser considerada na interpretação dos dados de

produtividade apresentados neste trabalho. As espigas colhidas nos Blocos I, II, III e IV estão apresentadas nas Figuras 13, 14, 15 e 16, respectivamente.

Figura 12. Colheita manual das espigas realizada em 04/03/2026.



Fonte: Autor, 2026

Figura 13. Espigas colhidas nas parcelas do Bloco I ao final do ciclo da cultivar NS44 VIP3.



Fonte: Autor, 2026

Figura 14. Espigas colhidas nas parcelas do Bloco II ao final do ciclo da cultivar NS44 VIP3.



Fonte: Autor, 2026.

Figura 15. Espigas colhidas nas parcelas do Bloco III ao final do ciclo da cultivar NS44 VIP3.



Fonte: Autor, 2026.

Figura 16. Espigas colhidas nas parcelas do Bloco IV ao final do ciclo da cultivar NS44 VIP3.



Fonte: Autor, 2026

Durante toda a condução do experimento foram realizadas avaliações periódicas das parcelas para identificação das principais plantas daninhas e pragas presentes na área experimental. A identificação das espécies foi realizada com auxílio do aplicativo PlantNet como ferramenta de apoio inicial, sendo as espécies confirmadas com base no Manual de Identificação de Plantas Daninhas de Lorenzi (2014). As principais espécies identificadas na área foram: dormideira (*Mimosa pudica* L.), picão-roxo (*Ageratum conyzoides*), capim-colonião (*Megathyrsus maximus*) e malva-branca (*Sida cordifolia* L.), conforme ilustrado nas Figuras 17 e 18.

Para o controle de formigas-cortadeiras (*Atta* spp. e *Acromyrmex* spp.), que representaram ameaça ao estabelecimento e ao desenvolvimento da cultura na área experimental, foi utilizado o formicida Isca Granulada Iscanil, aplicado nos carreiros e na

proximidade dos formigueiros identificados na área, seguindo as recomendações de uso do produto, conforme ilustrado na Figura 19.

Figura 17. Espécies infestantes observadas na área experimental durante a condução do experimento, destacando-se capim-colonião (*Megathyrsus maximus*), dormideira (*Mimosa pudica*) e picão-roxo (*Ageratum conyzoides*), reconhecidas pela elevada capacidade competitiva em cultivos de milho.



Fonte: Autor, 2026

Figura 18. Presença de malva-branca (*Sida cordifolia* L.) na área experimental, destacando seu potencial de interferência no desenvolvimento e na produtividade da cultura do milho.



Fonte: Autor, 2026

Figura 19. Isca formicida granulada utilizada no controle de formigas-cortadeiras durante a condução do experimento



Fonte: Autor, 2026

3.4 Análise Estatística dos Dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com o objetivo de verificar a existência de diferenças significativas entre os tratamentos. Quando constatada significância estatística, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$). As análises foram realizadas com o auxílio da planilha eletrônica do Microsoft Excel, disponibilizada pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar, 2026).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No decorrer do experimento foi constatada deficiência visual de fósforo nas plantas de milho ainda nos estádios iniciais de crescimento, com sintomas característicos de coloração arroxeada nas folhas mais velhas e redução no crescimento vegetativo, evidentes a partir do estágio V4, conforme documentado por Goulart (2025) e Pereira (2025) em estudos conduzidos na mesma área experimental.

A análise de solo realizada antes da implantação do experimento indicou teor de P Mehlich de $9,35 \text{ mg dm}^{-3}$, valor acima do nível crítico de $8,0 \text{ mg dm}^{-3}$ recomendado por Rein et al. (2022) para solos argilosos. Dessa forma, a deficiência visual observada não está associada à ausência do nutriente no solo, mas sim à limitação de sua absorção radicular em razão do déficit hídrico ocorrido nos 14 dias subsequentes à semeadura. O fósforo se move no solo predominantemente por difusão, processo diretamente dependente da umidade do solo, de modo que em condições de seca prolongada as raízes perdem a capacidade de absorver o nutriente mesmo quando seu teor no solo está em nível adequado, conforme fundamentado por Sousa e Lobato (2004) e Rein *et al.* (2022).

A semeadura foi realizada no dia 10 de novembro de 2025, com chuva registrada nessa data. Nos 14 dias seguintes não houve precipitação, período que coincidiu com as fases de germinação e emergência das plântulas, comprometendo o estabelecimento inicial da cultura e a absorção de nutrientes pelas raízes ainda pouco desenvolvidas. Esse quadro resultou em falhas no estande, exigindo replantio em algumas parcelas, e contribuiu para o aumento da variabilidade experimental, refletindo principalmente nos dados iniciais de

número de plantas por parcela, conforme fundamentado por Costa, Pinho e Parry (2008).

As altas temperaturas máximas registradas ao longo do ciclo, conforme apresentado no Gráfico 2, agravaram esse cenário, intensificando as perdas de N por volatilização e reduzindo a eficiência de absorção radicular do nutriente nos períodos de maior demanda da cultura. Vieira (2017) e Bono, Setti e Pereira (2017) registraram que altas temperaturas associadas à irregularidade hídrica intensificam as perdas de N por volatilização, e Costa, Pinho e Parry (2008) demonstraram que o déficit hídrico nos estádios críticos do milho reduz significativamente a uniformidade de emergência e a produção de matéria seca, condição que compromete a representatividade estatística dos dados mesmo diante de tendências agronômicas relevantes. experimento, já que o N antecipado foi incorporado em operação separada da semeadura.

Na avaliação realizada aos 22 dias após a semeadura (DAS), nenhum dos tratamentos se destacou de forma estatisticamente significativa. Do ponto de vista agrônomo, entretanto, os tratamentos com adubação nitrogenada antecipada apresentaram tendência de maior Teor Relativo de Clorofila (TRC), com o T1-ATN registrando 37,24 SPAD, seguido pelo T3-ATN (36,71 SPAD) e T2-ATN (36,11 SPAD), enquanto os tratamentos convencionais T4 e T5 apresentaram os menores valores, de 34,06 e 34,81 SPAD, respectivamente, conforme apresentado na Tabela 4. Esse padrão sugere que a antecipação do N, aplicada 20 dias antes da semeadura e incorporada ao sulco, pode ter favorecido disponibilidade inicial levemente superior do nutriente no solo, refletindo em maior síntese de clorofila nas plantas nos estádios iniciais, resultado consistente com a correlação forte e positiva entre o índice SPAD e o status nutricional de N confirmada por Lopes *et al.* (2017).

Os valores de F não atingiram o limiar de significância estatística para nenhuma das variáveis avaliadas aos 22 DAS, resultado compreensível do ponto de vista fisiológico, uma vez que Kluthcouski *et al.* (2006) demonstraram que a taxa de absorção de N pelas raízes do milho atinge seu pico máximo por volta dos 20 dias de vida da planta, mas que seus efeitos sobre variáveis morfológicas e fisiológicas tendem a manifestar de forma mais evidente apenas a partir dos estádios V4 e V6. Coelho (2006) reforça que a absorção de N pelo milho é relativamente pequena nos primeiros 30 dias após a emergência, o que naturalmente limita a expressão de diferenças entre estratégias de manejo nessa fase.

Para o número de plantas por parcela (NP), as variações registradas, com T4 apresentando a maior média (28,50 plantas por parcela) e T1-ATN a menor (22,25 plantas por parcela), conforme a Tabela 4, estão mais associadas às condições ambientais do período de implantação do que ao efeito da adubação nitrogenada. O déficit hídrico de 14 dias

ocorrido após a semeadura comprometeu a germinação uniforme entre parcelas e exigiu replantio nas linhas com falhas, sendo que Kluthcouski *et al.* (2006) alertam que apenas doses elevadas de N aplicadas diretamente no sulco de semeadura representam risco à germinação por efeito salino, situação que não ocorreu neste experimento, já que o N antecipado foi incorporado em operação separada da semeadura.

Tabela 4. Teor Relativo de Clorofila (TRC, unidade SPAD) e Número de Plantas por parcela (NP) da cultivar de milho NS44 VIP3 sob diferentes manejos de adubação nitrogenada, avaliados aos 22 dias após a semeadura (DAS).

Tratamentos	NP	TRC (SPAD)
T1 - ATN	22,25	37,24
T2 - ATN	24,00	36,11
T3 - ATN	25,50	36,71
T4	28,50	34,06
T5	25,50	34,81
F	ns	ns
Média geral	25,15	35,78
CV (%)	19,04	12,42

Nível de significância: *: 5%; e ns: não significativo. ATN: adubação nitrogenada antecipada.
Fonte: Autor, 2026.

À medida que a cultura avança para os estádios vegetativos V4 e V8, período de maior síntese de clorofila e rápida expansão foliar, as diferenças entre os manejos nitrogenados tendem a ser mais expressivas nas variáveis de crescimento e nutrição, sendo que Coelho (2006) e Lopes *et al.* (2017) fundamentam que no estágio V4, período em que a taxa de crescimento vegetativo se intensifica e a demanda por N começa a crescer de forma mais acelerada, os efeitos dos diferentes manejos nitrogenados passaram a refletir de forma mais clara nas variáveis avaliadas, conforme apresentado na Tabela 5.

No estágio V4 (38 DAS), o T3-ATN apresentou numericamente o maior Teor Relativo de Clorofila (TRC), registrando 55,54 SPAD, seguido pelo T2-ATN (52,96 SPAD) e T1-ATN (49,86 SPAD), enquanto os tratamentos convencionais T4 e T5 registraram os menores valores, de 42,33 e 41,32 SPAD, respectivamente, conforme apresentado na Tabela 5. A diferença numérica média de aproximadamente 13,21 unidades SPAD entre os grupos ATN e os tratamentos convencionais é biologicamente expressiva, uma vez que Da Silva *et al.* (2024), Lopes *et al.* (2017) e Coelho (2006) registraram que mais de 50% do N foliar está incorporado às moléculas de clorofila, tornando o índice SPAD um indicador sensível do

status nutricional de N da planta. Contudo, como o teste F não atingiu significância estatística para nenhuma das variáveis avaliadas nesse estágio, conforme apresentado na Tabela 5, esses resultados devem ser interpretados como tendência numérica, sem que seja possível afirmar com segurança estatística a superioridade de nenhum tratamento.

A tendência observada indica que a antecipação do N, especialmente quando associada ao parcelamento em cobertura como no T3-ATN, pode ter favorecido a disponibilidade precoce do nutriente no período de maior demanda inicial da cultura, resultado alinhado com a premissa de Kluthcouski *et al.* (2006) de que o N precisa estar disponível justamente nos primeiros 20 dias de vida da planta, quando a taxa de absorção radicular atinge seu pico máximo.

Os elevados coeficientes de variação registrados para IAF (74,44%) e MSPA (68,71%), conforme a Tabela 5, refletem a heterogeneidade entre parcelas decorrente da pressão não uniforme de plantas daninhas, especialmente do capim-colonião (*Megathyrus maximus*), variáveis que refletem diretamente a capacidade fotossintética e o acúmulo de biomassa da cultura nesse estágio apontado por Oliveira (2015), e da aplicação corretiva de fósforo em todos os tratamentos nesse estágio, que pode ter homogeneizado parte das condições nutricionais entre parcelas, reduzindo a capacidade de discriminação entre os tratamentos nitrogenados nas variáveis de crescimento, conforme fundamentado por Taiz *et al.* (2017).

Por outro lado, Goulart (2025) e Pereira (2025) identificaram as mesmas limitações em solo da mesma área experimental do IFTO – *Campus* Palmas, reforçando que a baixa disponibilidade de P é uma característica intrínseca dessa área e que seus efeitos sobre o crescimento vegetativo do milho são independentes da estratégia de adubação nitrogenada adotada. A aplicação corretiva de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em todos os tratamentos nesse estágio foi necessária para garantir o crescimento mínimo da cultura, mas pode ter igualado as condições entre parcelas a partir desse ponto, reduzindo a capacidade de discriminação entre os tratamentos nitrogenados nas variáveis de crescimento avaliadas, conforme fundamentado por Taiz *et al.* (2017).

Os valores de F não atingiram o limiar de significância estatística para nenhuma das variáveis avaliadas no estágio V4; contudo, as tendências numéricas observadas para o TRC reforçam que a antecipação do N exerceu efeito positivo sobre o status nutricional das plantas nesse estágio vegetativo, padrão alinhado com as premissas de Kluthcouski *et al.* (2006) e Coelho (2006), que apontam a disponibilidade precoce de N como fator determinante para a expressão do potencial de crescimento vegetativo e produtivo do milho.

Tabela 5. Teor Relativo de Clorofila (TRC, SPAD), Diâmetro do Caule (DC, mm), Altura de Planta (AP, cm), Índice de Área Foliar (IAF, m²) e Massa Seca da Parte Aérea (MSPA, g m⁻¹) da cultivar de milho NS44 VIP3 sob diferentes manejos de adubação nitrogenada, avaliados no estágio V4 (38 DAS).

Tratamentos	AP (cm)	DC (mm)	IAF (m ²)	TRC (SPAD)	MSPA (g.m ⁻¹)
T1 - ATN	40,00	6,38	0,37	49,86	3,13
T2 - ATN	39,00	4,25	0,21	52,96	2,01
T3 - ATN	43,13	6,13	0,26	55,54	3,40
T4	42,63	7,25	0,27	42,33	3,59
T5	43,88	5,13	0,21	41,32	2,51
F	ns	ns	ns	ns	ns
Média geral	41,73	5,83	0,26	48,40	2,93
CV (%)	22,44	44,83	74,44	25,73	68,71

Nível de significância: *: 5%; e ns: não significativo. ATN: adubação nitrogenada antecipada.

Fonte: Autor, 2026

No estágio V8, período de intensa demanda por N e de definição do número de grãos por espiga, os efeitos acumulados do manejo nitrogenado ao longo das fases vegetativas anteriores passaram a refletir de forma mais expressiva nas variáveis de crescimento e nutrição, conforme apresentado na Tabela 6.

No estágio V8(70 DAS), o cenário observado nas coletas anteriores foi alterado de forma expressiva para o TRC. O T4 passou a registrar o maior valor (53,90 SPAD), seguido pelo T2-ATN (46,75 SPAD) e T5 (46,63 SPAD), enquanto o T1-ATN registrou o menor TRC de todo o experimento nessa coleta, com apenas 32,21 SPAD, valor que representou queda acentuada em relação aos 49,86 SPAD registrados no estágio V4. Esse declínio expressivo no T1-ATN, tratamento que recebeu toda a dose de 120 kg ha⁻¹ de N de forma antecipada sem qualquer complementação em cobertura, indica esgotamento progressivo do N disponível no solo ao longo das fases vegetativas.

Lara Cabezas (2008) verificou comportamento semelhante ao concluir que a antecipação excessiva do N em solos sem planejamento de rotação de culturas representa alto risco de perda do nutriente antes que a cultura esteja em plena demanda nos estádios vegetativos críticos, resultando em menor eficiência agrônômica em relação ao manejo convencional. Kluthcouski *et al.* (2006) reforçam esse ponto ao demonstrar, em experimentos nas várzeas tropicais do Tocantins, que a antecipação isolada sem complementação em cobertura resultou em produtividades expressivamente inferiores às da combinação entre antecipação e cobertura.

Em contraste, o T3-ATN, que combinou 60 kg ha⁻¹ de N antecipado com parcelamento em cobertura nos estádios V4 e V8, apresentou os maiores valores numéricos

de Altura de Planta (81,38 cm) e Massa Seca (19,00 g m⁻¹), superando inclusive o T4 (67,50 cm e 18,77 g m⁻¹), conforme a Tabela 6. Esse resultado demonstra que a distribuição do N ao longo das fases vegetativas, mesmo quando parte da dose é antecipada, favorece o crescimento vegetativo de forma mais sustentada do que a aplicação integral antecipada (LOPES *et al.*, 2017), corroborando as recomendações de Coelho (2006) de que o parcelamento é a estratégia prioritária para solos de textura média a argilosa com doses acima de 100 kg ha⁻¹.

A continuidade da pressão das plantas daninhas, especialmente do capim-colonião (*Megathyrus maximus*), que reinfestou a área mesmo após os controles manuais, e o regime hídrico irregular registrado em janeiro de 2026, conforme apresentado no Gráfico 1, contribuíram para os elevados CVs de IAF (51,91%) e MS (94,77%) na Tabela 6, reduzindo a sensibilidade estatística do experimento para discriminar diferenças entre tratamentos (PIMENTEL-GOMES, 2023; OLIVEIRA, 2015). As temperaturas máximas e mínimas registradas no período, apresentadas no Gráfico 2, e os níveis de umidade relativa do ar, apresentados no Gráfico 3, reforçam o quadro de estresse térmico e hídrico acumulado ao longo do ciclo.

Tabela 6. Teor Relativo de Clorofila (TRC, SPAD), Diâmetro do Caule (DC, mm), Altura de Planta (AP, cm), Índice de Área Foliar (IAF, m²) e Massa Seca da Parte Aérea (MS, g m⁻¹) da cultivar de milho NS44 VIP3 sob diferentes manejos de adubação nitrogenada, avaliados no estágio V8 (70 DAS).

Tratamentos	AP (cm)	DC (mm)	IAF (m ²)	TRC (SPAD)	MSPA (g.m ⁻¹)
T1 - ATN	46,6	6,75	0,38	32,21	4,03
T2 - ATN	53,6	8,50	0,35	46,75	11,64
T3 - ATN	81,38	10,13	0,77	43,43	19,00
T4	67,5	10,00	0,64	53,90	18,77
T5	59,0	9,75	0,62	46,63	11,51
F	ns	ns	ns	ns	ns
Média geral	61,63	9,03	0,55	44,58	12,99
CV (%)	34,04	22,85	51,91	23,05	94,77

Nível de significância: *: 5%; e ns: não significativo. ATN: adubação nitrogenada antecipada.

Fonte: Autor, 2026

No florescimento (R1), o T5 registrou o maior TRC (52,04 SPAD), seguido pelo T2-ATN (49,01 SPAD) e T3-ATN e T4 (ambos com 47,48 SPAD), conforme apresentado na Tabela 7. O T1-ATN, pelo segundo período consecutivo, apresentou o menor TRC de todo o experimento, com apenas 36,56 SPAD, consolidando a trajetória descendente observada desde o estágio V8.

Coelho (2006) destaca que a taxa de absorção de N pela cultura pode superar 4,5 kg ha⁻¹ por dia no florescimento, e que mais de 50% do N total requerido pela planta é absorvido

durante o período entre o florescimento e o enchimento de grãos. Lopes *et al.* (2017) encontraram correlação forte e positiva entre TRC e produtividade de grãos no florescimento (R1), reforçando que baixos valores de SPAD nessa fase são indicativos diretos de menor potencial produtivo.

O desempenho superior do T5N na Tabela 7, nessa coleta reforça que o parcelamento do N ao longo das fases vegetativas V4 e V8 foi a estratégia mais eficiente para manter o status nutricional das plantas no momento de maior exigência da fase reprodutiva, em consonância com as recomendações consolidadas de Coelho (2006) e com os resultados de Kluthcouski *et al.* (2006), que identificaram a cobertura aos 25 DAS como o momento mais eficiente para complementação do N nos experimentos conduzidos no Tocantins. O regime hídrico irregular registrado entre janeiro e fevereiro de 2026, conforme apresentado no Gráfico 1, com veranicos intercalados às precipitações, pode ter limitado adicionalmente a absorção de N pelas raízes nos tratamentos que ainda tinham N disponível no solo, homogeneizando parte dos resultados entre os grupos, sendo que as condições de temperatura registradas no período (Gráfico 2) e a umidade relativa do ar (Gráfico 3) indicam episódios de estresse combinado que, associados à pressão contínua das plantas daninhas e aos múltiplos estresses acumulados desde a implantação, reduziram a capacidade do experimento de expressar estatisticamente as diferenças entre tratamentos, mesmo diante de tendências agrônômicas relevantes, conforme fundamentado por Costa, Pinho e Parry (2008) e Pimentel-Gomes (2023).

Tabela 7. Teor Relativo de Clorofila (TRC, SPAD) da cultivar de milho NS44 VIP3 sob diferentes manejos de adubação nitrogenada, avaliado no estágio reprodutivo R1 (florescimento — 84 DAS).

Tratamentos	TRC (SPAD)
T1 - ATN	36,56
T2 - ATN	49,01
T3 - ATN	47,48
T4	47,48
T5	52,04
F	ns
Média geral	46,51
CV (%)	21,67

Nível de significância: *: 5%; e ns: não significativo. Adubação nitrogenada antecipada.

Fonte: Autor, 2026

Na colheita final, os efeitos acumulados de todas as avaliações ao longo das fases vegetativas e reprodutiva convergiram para os resultados de produtividade de grãos e massa

seca total (MST), expressos nos Gráficos 4 e 5. O T4 registrou a maior produtividade de grãos ($1.399,30 \text{ kg ha}^{-1}$) e a maior massa seca total incluindo espiga ($352,68 \text{ g m}^{-1}$), seguido pelo T5 ($1.254,87 \text{ kg ha}^{-1}$ e $319,74 \text{ g m}^{-1}$).

Entre os tratamentos ATN, o T3-ATN apresentou o melhor desempenho ($935,61 \text{ kg ha}^{-1}$), seguido pelo T2-ATN ($916,24 \text{ kg ha}^{-1}$). O T1-ATN registrou os piores resultados em ambas as variáveis, com produtividade de apenas $450,80 \text{ kg ha}^{-1}$ e MST de $178,57 \text{ g m}^{-1}$, representando, respectivamente, 32,2% e 50,6% dos valores obtidos pelo T4. Esse resultado confirma o esgotamento progressivo do N nesse tratamento, que recebeu toda a dose de forma antecipada sem complementação em cobertura, penalizando severamente a produtividade final.

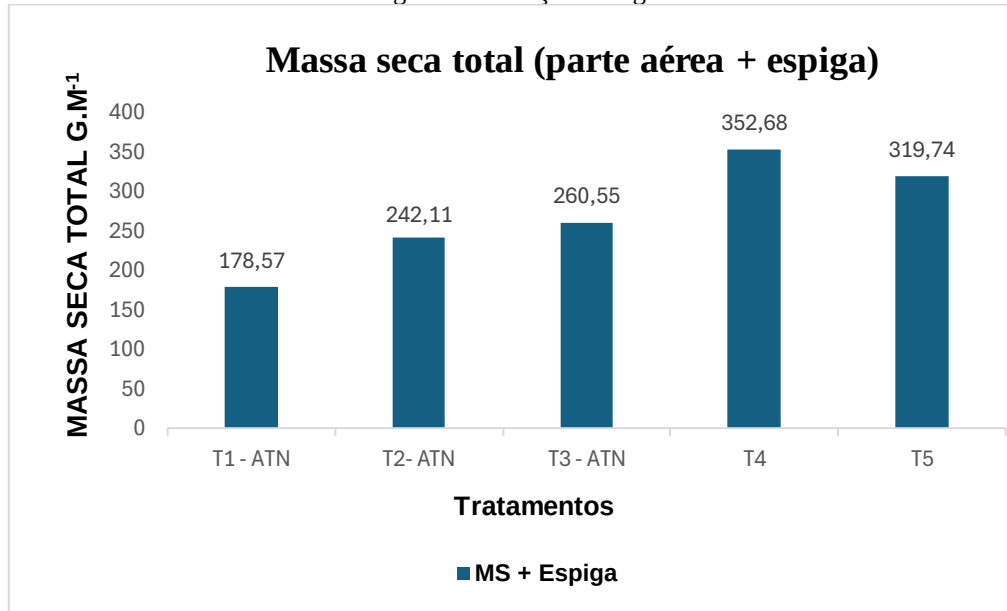
Da Silva *et al.* (2021), ao avaliarem a adubação antecipada e as formas de distribuição do fertilizante na semeadura do milho, verificaram que estratégias que combinaram a antecipação com o parcelamento em cobertura nos estádios vegetativos críticos proporcionaram maior sincronização entre a oferta de N e a demanda fisiológica da planta, resultando em maior produtividade de grãos na colheita final em comparação à aplicação integral antecipada sem complementação. Esse resultado é diretamente coerente com o observado no presente experimento, em que os tratamentos ATN com parcelamento em cobertura, T2-ATN ($916,24 \text{ kg ha}^{-1}$) e T3-ATN ($935,61 \text{ kg ha}^{-1}$), superaram numericamente o T1-ATN ($450,80 \text{ kg ha}^{-1}$).

O desempenho superior dos tratamentos T4 e T5 está alinhado com as conclusões de Lara Cabezas (2008), que verificou que a adubação nitrogenada convencional em cobertura parcelada é a estratégia mais eficiente para obtenção de maiores produtividades de milho em solos sem preparo e sem planejamento de rotação de culturas. Nas condições edafoclimáticas do Cerrado tocantinense, marcadas por altas temperaturas e regime hídrico irregular, a sincronização entre a oferta de N e a demanda da cultura ao longo das fases vegetativas e reprodutiva mostrou-se o fator mais determinante para a eficiência do fertilizante e para a produtividade do milho, conforme fundamentado por Coelho (2006) e Kluthcouski *et al.* (2006).

Os elevados CVs registrados, 69,05% para MST e 91,87% para produtividade, conforme ilustrado nos Gráficos 4 e 5, refletem a variabilidade acumulada ao longo de todo o experimento. Essa variabilidade resultou da combinação dos fatores limitantes já discutidos: déficit hídrico de 14 dias após a semeadura, deficiência de absorção de P identificada no estágio V4, pressão contínua de plantas daninhas e falhas no estande com replantio. Pimentel-Gomes (2023) destaca que CVs acima de 60% em experimentos de

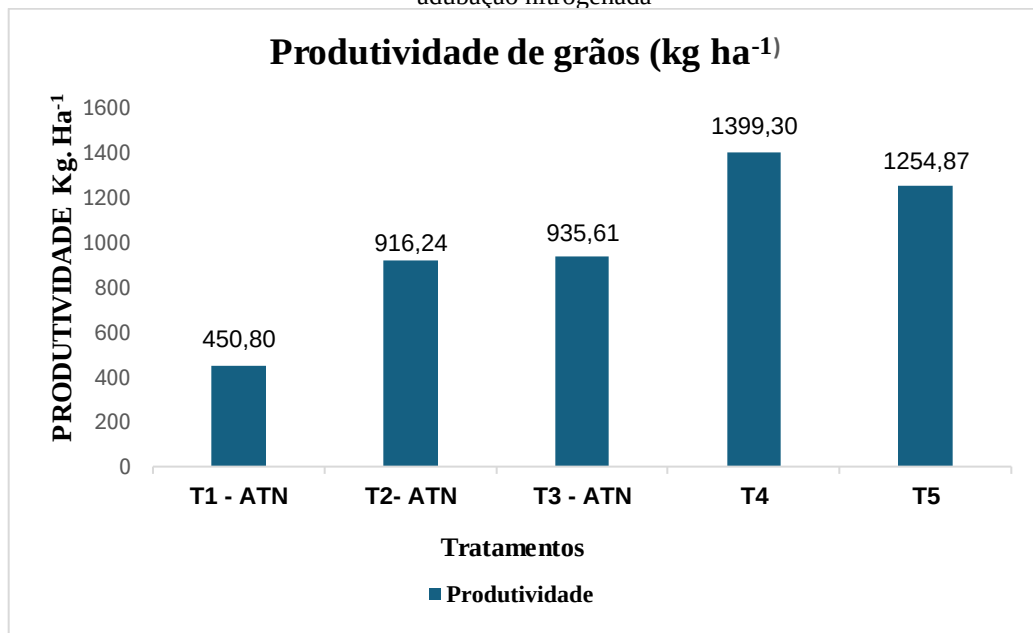
campo indicam variabilidade muito alta, comprometendo a precisão das estimativas e a sensibilidade dos testes estatísticos, sem invalidar, contudo, as tendências numéricas observadas ao longo das coletas.

Gráfico 4. Massa seca total (parte aérea + espiga) em g m^{-1} da cultivar de milho NS44 VIP3 sob diferentes estratégias de adubação nitrogenada.



Fonte: Autor, 2026

Gráfico 5. Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) da cultivar de milho NS44 VIP3 sob diferentes estratégias de adubação nitrogenada



Fonte: Autor, 2026.

Os resultados da colheita final confirmam a tendência observada ao longo de todas as avaliações: os tratamentos com parcelamento do N, especialmente T4 e T5, apresentaram os melhores resultados, enquanto a aplicação total e antecipada sem complementação em cobertura (T1-ATN) resultou nos piores desempenhos, com produtividade de apenas 450,80 kg ha⁻¹, correspondendo a 32,2% do valor registrado pelo T4, sendo que Coelho (2006) e Kluthcouski *et al.* (2006) fundamentam que nas condições edafoclimáticas do Cerrado tocantinense a sincronização entre a oferta de N e a demanda da cultura ao longo das fases vegetativas e reprodutiva é o fator mais determinante para a eficiência do fertilizante e para a produtividade do milho.

Os elevados Coeficientes de Variação registrados, 94,77% para Massa Seca e 91,87% para Produtividade, refletem a variabilidade ambiental acumulada ao longo do experimento, decorrente da combinação entre o déficit hídrico na implantação, as falhas no estande e o replantio em estádios desuniformes, a deficiência de fósforo identificada no estágio V4 e a reinfestação heterogênea pelo capim-colonião (*Megathyrsus maximus*) entre parcelas e blocos, sendo que Pimentel-Gomes (2023) fundamenta que esses fatores amplificaram a dispersão dos dados e reduziram a sensibilidade estatística do experimento para detectar diferenças entre tratamentos, não comprometendo, contudo, a validade das tendências numéricas observadas, que foram consistentes ao longo de todas as coletas e constituem o principal indicativo do comportamento real dos tratamentos nas condições avaliadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no presente estudo não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos avaliados para nenhuma das variáveis analisadas ao longo do ciclo da cultivar de milho NS44 VIP3, em resposta às diferentes épocas e formas de aplicação da adubação nitrogenada em sistema de plantio direto no Cerrado tocantinense.

A ausência de significância estatística está associada à elevada variabilidade experimental acumulada durante a condução do experimento, decorrente da combinação de quatro fatores limitantes que atuaram de forma simultânea: o déficit hídrico de 14 dias após a semeadura, que comprometeu a uniformidade de emergência e resultou em falhas no estande com necessidade de replantio; a limitação na absorção de fósforo identificada no estágio V4, decorrente da seca prolongada no período de estabelecimento da cultura; a reinfestação heterogênea pelo capim-colonião (*Megathyrsus maximus*) entre parcelas e blocos, que exerceu competição por N de forma não uniforme ao longo do ciclo; e a aplicação

corretiva de fósforo em todos os tratamentos no estágio V4, que pode ter homogeneizado parte das condições nutricionais entre as parcelas.

Apesar da ausência de significância estatística, as tendências numéricas observadas ao longo de todas as avaliações foram consistentes. Os tratamentos com parcelamento convencional do N em cobertura, especialmente T4 e T5, tenderam a apresentar os melhores desempenhos em produtividade de grãos, registrando 1.399,30 e 1.254,87 kg ha⁻¹, respectivamente. O T1-ATN, que recebeu toda a dose de 120 kg ha⁻¹ de N de forma antecipada sem complementação em cobertura, tendeu a registrar os menores valores em todas as variáveis avaliadas, com produtividade de 450,80 kg ha⁻¹, correspondendo a 32,2% do valor obtido pelo T4. Entre os tratamentos com adubação antecipada, o T3-ATN, que combinou 60 kg ha⁻¹ de N antecipados com parcelamento em cobertura nos estádios V4 e V8, apresentou as melhores tendências numéricas de crescimento vegetativo, indicando que a distribuição do N ao longo das fases vegetativas pode favorecer o desempenho da cultura de forma mais sustentada do que a aplicação integral antecipada.

Os resultados indicam, como tendência, que a sincronização entre a oferta de N e a demanda fisiológica da cultura ao longo das fases vegetativas e reprodutiva constitui o fator mais determinante para a eficiência da adubação nitrogenada nas condições edafoclimáticas do Cerrado tocantinense, marcadas por altas temperaturas e regime hídrico irregular.

A condução de estudos futuros é recomendada com controle mais rigoroso da disponibilidade de fósforo antes da implantação, maior uniformidade no estande inicial, manejo preventivo das plantas daninhas e registro de dados diários de precipitação, de modo a reduzir a variabilidade experimental e ampliar a sensibilidade dos testes estatísticos para detectar diferenças entre as estratégias de manejo nitrogenado avaliadas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Felipe Miranda de Souza; SPOLADOR, Humberto Francisco Silva. Determinantes da produtividade total dos fatores da lavoura de milho no Brasil: uma análise de fronteira estocástica para o período de 1995 a 2017. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 62, n. 4, e287305, 2024.
- BARBOSA, Fabio Ortiz; LIMA, Jonatas Bezerra de. Perspectiva de exportação de soja e milho. **Revista Agronegócios**, v. 1, 2024.
- BONO, José Antonio Maior; SETTI, Júlio Cesar de Albuquerque; PEREIRA, Francisco de Assis Rolim. Manejo da adubação nitrogenada nas culturas do milho e do algodão. In: BONO, J. A. M. et al. (Org.). **Produção e Gestão Agroindustrial** — Volume 4. Campo Grande: Editora Científica, 2017.
- CANTARELLA, Heitor *et al.* Nitrogênio. **Fertilidade do solo**, v. 2, p. 375-470, 2007.
- COELHO, Antonio Marcos. Nutrição e adubação do milho. **Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica**, v. 78, 2006.
- COELHO, Jackson Dantas. Milho: produção e mercados. 2021.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Boletim da safra de grãos — safra 2024/2025**. Brasília: CONAB, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br>. Acesso em: mar. 2026.
- COSTA, Jacirema R. da; PINHO, João Licínio Nunes de; PARRY, Maurício Mello. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 443-450, 2008.
- DA SILVA, André Luis Máximo *et al.* Adubação antecipada e formas de distribuição do fertilizante na semeadura do milho. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e28110614187-e28110614187, 2021.
- DA SILVA, Matheus Hashimoto *et al.* A relação do nitrogênio com o desenvolvimento das plantas e suas formas de disponibilidade. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 5, n. 1, p. e514762-e514762, 2024.
- FERREIRA, Luís Eduardo; LEITE, André Luís da Silva. Etanol de milho, transição energética e desenvolvimento regional: a competitividade da agroindústria da bioenergia em Mato Grosso, Brasil. **Revista DCS**, v. 23, n. 88, p. 1-16, 2026. DOI: <https://doi.org/10.54899/dcs.v23i88.4890>.
- GOMES, Renata Ferreira; SILVA, Alessandro Guerra da; ASSIS, Renato Lara de; PIRES, Fábio Ribeiro. Efeito de doses e da época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônômicos da cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 931-938, 2007.

GOULART, Fellipe da Silva. **Resposta da cultura do milho (*Zea mays* L.) à adubação nitrogenada antecipada em Latossolo Vermelho-Amarelo do Cerrado tocantinense.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus* Palmas, Palmas, 2025.

GUIMARÃES, D. P.; SANS, L. M. A.; MORAES, A. V. de C. Estimativa da área foliar de cultivares de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo, 2002.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Boletim climático mensal — Palmas, TO, outubro de 2025 a março de 2026.** Brasília: INMET, 2026. Disponível em: <https://www.inmet.gov.br>. Acesso em: mar. 2026.

JEAN, A.; ROCHA, D. R. da; MOTA, P. R. D'A. Influência da adubação nitrogenada aplicada em cobertura e do arranjo de plantas no cultivo de milho verde. **Revista DELOS**, Curitiba, v. 18, n. 63, p. 01-16, 2025.

KLUTHCOUSKI, João; AIDAR, Homero; THUNG, Michael; OLIVEIRA, Fernanda R. de A.; COBUCCI, Tarcísio. **Manejo antecipado do nitrogênio nas principais culturas anuais.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. (Documentos, 188).

LARA CABEZAS, Waldo Alejandro Rubén. Atividade microbiana do solo e produtividade do milho em função da aplicação antecipada de nitrogênio e adensamento de palha. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 899-910, 2008.

LIMA, G. D. M.; SOUZA, C. H. E. Manejo de fertilizantes nitrogenados no cultivo de milho verão. **Revista Cerrado Agrociências**, v. 16, p. 105-122, 2025.

LOPES, Édina Cristiane Pereira; MORAES, Anibal de; LANG, Claudete Reisdorfer; SANDINI, Itacir Eloi; MÜLLER, Marcelo Marques Lopes; OLIVEIRA, Edilson Batista de. Estratégias de adubação nitrogenada na cultura do milho em sistema integrado de produção agropecuária. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 16, n. 2, p. 161-177, 2017.

LORENZI, Harri. Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional. 7. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2014.

MENOSSE, Leonardo Felipe; MARTINS, Ronaldo Cesar Leal; BRANDI, José Rodolfo. A cultura do milho e sua importância econômica. In: ENCONTRO CIENTÍFICO-ACADÊMICO UNIFEOB, 2022, São João da Boa Vista. **Anais...** São João da Boa Vista: UNIFEOB, 2022. v. 2, p. 67.

MOTA, M. R.; SANGOI, L.; SCHENATTO, D. E.; DALL'IGNA, L. Fontes estabilizadas de nitrogênio como alternativa para aumentar o rendimento de grãos e a eficiência de uso do nitrogênio pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 512-522, 2015.

NETO, Sebastião Paulino Dias; LIMA, Henryque de Jesus Rocha; BORGES, Pedro H. de Castro. Eficiência de diferentes fontes e formas de adubação nitrogenada na cultura do milho (*Zea mays*): estudo experimental em Patos de Minas-MG. *Scientia Generalis*, v. 6, n. 2, p. 541-546, 2025.

NIDERA SEMENTES. NS44 VIP3: informações técnicas da cultivar. São Paulo: Nidera Sementes, 2024. Disponível em: <https://www.niderasementes.com.br/portfolio/ns44vip3/>.

OKUMURA, R. S.; MARIANO, D. de C.; ZACCHEO, P. V. C. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 4, n. 2, p. 226-244, 2011.

OLIVEIRA, Diemerson Rodrigues de. **Adubação nitrogenada na cultura do milho**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Produção de Grãos) — Universidade Estadual de Goiás, Câmpus de Posse, Posse, 2015.

PEREIRA, Eduardo Brasileiro Soares. **Efeito da adubação e da correção do solo de cerrado nos atributos químicos e físicos em área experimental de forragicultura do IFTO – Campus Palmas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, Palmas, 2025.

PIMENTEL-GOMES, Frederico. **Curso de estatística experimental**. 16. ed. Piracicaba: Digitaliza Conteúdo, 2023.

REIN, Thomaz Adolpho et al. **Atualizações das recomendações de adubação fosfatada para culturas anuais no Cerrado**. Circular Técnica, n. 54. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2022.

SANCHES, André Luis Ramos; ALVES, Lucilio Rogerio Aparecido; BARROS, Geraldo Sant'Ana de Camargo; OSAKI, Mauro. Os impactos dos preços do milho ao longo das cadeias consumidoras. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 62, n. 3, e274483, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2023.274483>.

SCHLATTER, G. B. **Rentabilidade do milho com uso de diferentes fontes e épocas de aplicação de nitrogênio**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) — Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, 2023.

SETTI, J. C. de A. et al. Adubação nitrogenada com ureia revestida em milho safrinha sob plantio direto. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 26., 2006, Belo Horizonte. **Anais...** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006.

SICHOCKI, Diego; GOTT, Roney Mendes; FUGA, Cícero Augusto Guimarães; AQUINO, Leonardo Angelo; RUAS, Renato Adriane Alves; NUNES, Pedro Henrique Marques Paula. Resposta do milho safrinha à doses de nitrogênio e de fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 1, p. 48-58, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v13n1p48-58>.

SILVA, Edson Cabral da et al. Épocas e formas de aplicação de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 725-733, 2005.

SILVA, Mariana Aguiar et al. Sistema de plantio direto e rotação de culturas no Cerrado. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, p. e376111335568-e376111335568, 2022.

SOUSA, Djalma Martinhão Gomes de; LOBATO, Edson. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo; MØLLER, Ian Max; MURPHY, Angus. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS (UFSCar). **Teste de Tukey**. Departamento de Ciências Agrárias, Centro de Ciências Agrárias. Araras, 2026. Disponível em: <https://www.cca.ufscar.br/pt-br/servicos/teste-de-tukey>.

VIEIRA, Rodrigo Ferreira. **Dinâmica do nitrogênio no solo e eficiência de adubação nitrogenada no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2017. (Documentos, 340).

WANDER, Alcido Elenor; CUNHA, George Henrique de Moura. A concentração no mercado mundial de milho: evidências empíricas. **Revista Baru**, Goiânia, v. 8, n. 1, e12681, 2022. DOI: <https://doi.org/10.18224/baru.v8i1.12681>.