RGe ISSN: 2177-3246

DOSES DE NITROGÊNIO NO DESEMPENHO MORFOFISIOLÓGICO DE PLANTAS DE MILHO EM CONSÓRCIO COM AMENDOIM

NITROGEN DOSES ON THE MORPHOPHYSIOLOGICAL PERFORMANCE OF MAIZE PLANTS INTERCROPPED WITH PEANUT

DOSIS DE NITRÓGENO SOBRE EL RENDIMIENTO MORFOSIOLÓGICO DE PLANTAS DE MAÍZ ENTRELAZADAS CON CACAHUETES

10.56238/revgeov17n5-150

Paulo Arthur Santos de Macêdo
Discente do Curso de Engenharia Agronômica
Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Centro de Ciências Agrárias (CCA)
E-mail: paulomacedo.20200002764@uemasul.edu.br

Daniel Carlos Machado
Doutorando em Agronomia (Ciência do Solo)
Instituição: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP) - Campus Jaboticabal
E-mail: daniel.c.machado@unesp.br

Leanne Teles Pereira
Doutoranda em Biodiversidade e Biotecnologia - Rede BIONORTE
Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Centro de Ciências Agrárias (CCA)
E-mail: leanne.pereira@uemasul.edu.br

Kalyne Pereira Miranda Nascimento
Doutoranda em Biodiversidade e Biotecnologia - Rede BIONORTE
Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Centro de Ciências Agrárias (CCA)
E-mail: kalyneengenheira@gmail.com

Ruth de Abreu Araújo
Doutora em Produção Vegetal
Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Centro de Ciências Agrárias (CCA)
E-mail: rutha.araujo@uemasul.edu.br

Thatyane Pereira de Sousa
Doutora em Agronomia (Fitossanidade)
Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Centro de Ciências Agrárias (CCA)
E-mail: thatyane.sousa@uemasul.edu.br

RGe
ISSN: 2177-3246

Wilson Araújo da Silva
Doutor em Agronomia
Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Centro de Ciências Agrárias (CCA)
E-mail: wilson@uemasul.edu.br

Cristiane Matos da Silva
Doutora em Ciência e Tecnologia Ambiental
Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Centro de Ciências Agrárias (CCA)
E-mail: cristiane.silva@uemasul.edu.br

Alinne da Silva
Doutora em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente
Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Centro de Ciências Agrárias (CCA)
E-mail:alinnesilva@uemasul.edu.br

Anatercia Ferreira Alves
Doutora em Fitotecnia (Produção Vegetal)
Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Centro de Ciências Agrárias (CCA)
E-mail: anatercia@uemasul.edu.br

Jonathan dos Santos Viana
Doutor em Agronomia (Ciência do Solo)
Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Centro de Ciências Agrárias (CCA)
E-mail: jonathan.viana@uemasul.edu.br

RESUMO
O milho exige adubação nitrogenada, porém o manejo inadequado causa perdas por lixiviação e volatilização. Este trabalho avaliou o efeito do consórcio milho-amendoim, sob diferentes doses de nitrogênio (N), nos aspectos morfofisiológicos da cultura. O experimento foi conduzido em casa de vegetação (UEMASUL) em delineamento de blocos casualizados, com oito tratamentos, combinando doses de N (0, 50, 100 e 150 kg ha^{-1}) na presença e ausência da leguminosa. Avaliaram-se altura, diâmetro, massa fresca e seca (aérea e radicular), número de folhas e clorofila. Os resultados indicam que o consórcio com doses intermediárias de N influenciou significativamente o desenvolvimento. As doses de 50 e 100 kg ha^{-1} de N com amendoim proporcionaram aumentos expressivos em todas as variáveis, elevando o potencial produtivo. Conclui-se que o consórcio milho-amendoim com 50 kg ha^{-1} de N é uma estratégia eficaz e sustentável, promovendo o uso racional de insumos e ganhos morfofisiológicos superiores.

Palavras-chave: *Zea mays* L. Adubação Nitrogenada. Leguminosa. Crescimento Inicial.

ISSN: 2177-3246

ABSTRACT
Corn requires nitrogen fertilization, but inadequate management causes losses due to leaching and volatilization. This study evaluated the effect of corn-peanut intercropping, under different nitrogen (N) doses, on the morphophysiological aspects of the crop. The experiment was conducted in a greenhouse (UEMASUL) in a randomized block design, with eight treatments, combining N doses (0, 50, 100 and 150 kg ha^{-1}) in the presence and absence of the legume. Height, diameter, fresh and dry mass (aerial and root), number of leaves and chlorophyll were evaluated. The results indicate that intercropping with intermediate N doses significantly influenced development. The doses of 50 and 100 kg ha^{-1} of N with peanut provided significant increases in all variables, raising the productive potential. It is concluded that the corn-peanut intercropping system with 50 kg ha^{-1} of N is an effective and sustainable strategy, promoting the rational use of inputs and superior morphophysiological gains.

Keywords: *Zea mays* L. Nitrogen Fertilization. Legume. Initial Growth.

RESUMEN
El maíz requiere fertilización nitrogenada, pero un manejo inadecuado provoca pérdidas por lixiviación y volatilización. Este estudio evaluó el efecto del cultivo intercalado de maíz y maní, bajo diferentes dosis de nitrógeno (N), sobre los aspectos morfofisiológicos del cultivo. El experimento se realizó en un invernadero (UEMASUL) con un diseño de bloques aleatorizados, con ocho tratamientos, combinando dosis de N (0, 50, 100 y 150 kg ha^{-1}) en presencia y ausencia de la leguminosa. Se evaluaron la altura, el diámetro, la masa fresca y seca (aérea y radicular), el número de hojas y la clorofila. Los resultados indican que el cultivo intercalado con dosis intermedias de N influyó significativamente en el desarrollo. Las dosis de 50 y 100 kg ha^{-1} de N con maní proporcionaron incrementos significativos en todas las variables, elevando el potencial productivo. Se concluye que el sistema de cultivo intercalado de maíz y maní con 50 kg ha^{-1} de N es una estrategia eficaz y sostenible, que promueve el uso racional de insumos y mayores ganancias morfofisiológicas.

Palabras clave: *Zea mays* L. Fertilización Nitrogenada. Leguminosa. Crecimiento Inicial.

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*) é uma cultura amplamente cultivada em diversas regiões do mundo devido à sua elevada importância econômica e versatilidade de uso, sendo uma das principais fontes de alimento, ração animal e matéria-prima para a indústria (Sangoi *et al*., 2007). No entanto, seu elevado potencial produtivo está diretamente relacionado à adequada disponibilidade de nutrientes, especialmente o nitrogênio (N), elemento essencial para síntese de aminoácidos, proteínas e clorofila, com influência direta sobre a taxa fotossintética e o desenvolvimento vegetativo (Taiz *et al*., 2017).

A adubação nitrogenada constitui um dos pilares da produtividade agrícola contemporânea; contudo, a aplicação de fertilizantes sintéticos em desacordo com as exigências fenológicas da cultura pode desencadear perdas substanciais por meio dos processos de lixiviação de nitratos, volatilização de amônia e desnitrificação. Tais fenômenos não apenas comprometem a viabilidade econômica da atividade devido à baixa eficiência do uso do nitrogênio (EUN), mas também catalisam impactos ambientais deletérios, como a eutrofização de corpos hídricos e a emissão de gases de efeito estufa (Fageria et al., 2010).

Nesse cenário, a transição para sistemas de manejo fundamentados na sustentabilidade torna-se imperativa. A adoção de práticas como o consórcio de culturas associado à adubação verde tem se consolidado como uma estratégia proeminente. Essa técnica favorece o aporte de nitrogênio via fixação biológica (FBN), promove a ciclagem de nutrientes e incrementa os teores de matéria orgânica no perfil do solo. Além de mitigar as perdas do nutriente para o ambiente, essa integração otimiza as propriedades físicas e biológicas do substrato, resultando em um agroecossistema mais resiliente e em uma maior eficiência produtiva a longo praz

A prática da adubação verde, fundamentada na introdução de leguminosas capazes de realizar a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) por meio de processos simbióticos, constitui uma estratégia fundamental para o aporte de matéria orgânica e o incremento da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) do solo. Além de mitigar as perdas por lixiviação, essa técnica viabiliza a ciclagem e a disponibilização gradual de nitrogênio (N) às culturas sucessoras, otimizando a sincronia entre a mineralização da palhada e a demanda nutricional das plantas (Crusciol et al., 2008; Amado et al., 2001).

Quando integrada ao sistema de cultivo consorciado com o milho (*Zea mays* L.), a adubação verde promove modificações substanciais nos parâmetros morfofisiológicos da cultura principal. A competição interespecífica e as interações alelopáticas e nutricionais influenciam diretamente a dinâmica de acúmulo de fitomassa seca e a plasticidade da arquitetura foliar, alterando o índice de área foliar (IAF) e a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa. Consequentemente, observa-se uma modulação na eficiência do uso da água e na taxa de assimilação líquida de carbono, fatores que determinam o potencial produtivo e a resiliência do sistema agrícola frente a variações edafoclimáticas.

Diversos estudos têm demonstrado que a adoção de sistemas consorciados pode reduzir significativamente a necessidade de adubação nitrogenada mineral sem comprometer o desempenho agronômico do milho. Segundo Silva et al. (2011), o milho consorciado com leguminosas como crotalária (*Crotalária juncea*) e feijão-guandu (*Cajanus cajan*) apresentou produtividade semelhante à obtida em monocultivo com altas doses de nitrogênio mineral. Além disso, Teixeira et al. (2016) observaram que o consórcio do milho com feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) proporcionou uma economia de até 50% na dose de N mineral aplicada, sem afetar negativamente a produtividade de grãos.

Embora o consórcio com adubação verde represente uma estratégia promissora para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, especialmente por seu potencial em melhorar a fertilidade do solo e reduzir a dependência de fertilizantes sintéticos, a resposta da cultura do milho (*Zea mays* L.) à aplicação de diferentes doses de nitrogênio mineral e consórcio com o amendoim nesse contexto ainda é insuficientemente elucidada. Essa lacuna é particularmente evidente no que diz respeito aos efeitos sobre parâmetros morfofisiológicos das plantas, os quais constituem indicadores fundamentais da eficiência no uso de nutrientes, do estado nutricional, da atividade fotossintética e do desempenho agronômico geral da cultura. Compreender essas interações é essencial para otimizar o manejo da adubação nitrogenada em sistemas consorciados, promovendo práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

Dentro dessa conjuntura, o presente estudo teve como objetivo obter e distinguir os parâmetros como: diâmetro do caule, altura de plantas, número de folhas, massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, massa fresca e seca da raiz e clorofila total.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O consórcio interculturas consolidou-se como uma estratégia agroecológica proeminente para otimizar a eficiência no uso de recursos biofísicos, mitigar a degradação edáfica e maximizar o rendimento termodinâmico e produtivo dos agroecossistemas. Este sistema, fundamentado no cultivo simultâneo de duas ou mais espécies na mesma área espaço-temporal, promove a diversificação funcional e a resiliência sistêmica da produção agrícola (Stomph et al., 2020). Dentre os arranjos de consorciação mais investigados, destaca-se a associação entre gramíneas e leguminosas especificamente o milho (*Zea mays* L.) e o amendoim (*Arachis hypogaea* L.), viabilizada pela complementaridade nicho-fisiológica e nutricional existente entre as referidas espécies (Willey, 1979; Lithourgidis et al., 2011).

A sobreposição produtiva e a eficiência de uso da terra em sistemas consorciados entre cereais e leguminosas têm sido amplamente documentadas sob diversas condições edafoclimáticas. Tais sistemas apresentam vantagens competitivas frente aos monocultivos, decorrentes da otimização da

interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e do aproveitamento hídrico e nutricional (Raseduzzaman e Jensen, 2017; Zhang et al., 2021). Sob essa ótica, as interações bióticas interespecíficas regulam a dinâmica biogeoquímica na rizosfera, potencializando a assimilação de nutrientes e incrementando o rendimento das culturas associadas (Li et al., 2001; Wang et al., 2021; Jiao et al., 2021b). Conforme postulado por Bedoussac et al. (2015), a facilitação e a partição de nichos ecológicos constituem os mecanismos primários para a elevada eficiência no uso de recursos ambientais nesses sistemas.

O nitrogênio (N) atua como o macronutriente limitante primário para o desenvolvimento do milho, sendo constituinte essencial de aminoácidos, proteínas estruturais, nucleotídeos, enzimas metabólicas e moléculas de clorofila (Taiz et al., 2017). Em sistemas consorciados com leguminosas, a demanda por N sintético pode ser atenuada via fixação biológica de nitrogênio (FBN) mediada por diazotróficos simbióticos do gênero *Rhizobium*, o que eleva o aporte de N disponível no sistema solo-planta (Hungria et al., 2007). Consequentemente, o consórcio milho-amendoim induz sinergismo no desempenho morfofisiológico do milho, expressando-se pelo incremento da área foliar, maior síntese de pigmentos fotossintéticos, otimização da atividade fotoquímica e acúmulo de fitomassa (Fageria, 2014).

Evidências científicas demonstram que a sinalização e o contato físico no ambiente radicular regulam a partição de nutrientes. Jiao et al. (2021) constataram que o acúmulo de N por planta no amendoim consorciado sofreu decréscimo de 25% a 35%, ao passo que o milho exibiu incremento expressivo na taxa de influxo e acúmulo de N na fase de maturação fisiológica. Ademais, a segregação física dos sistemas radiculares por barreiras impermeáveis reduziu drasticamente o acúmulo de N em ambas as espécies, corroborando a hipótese de que a facilitação rizosférica e a transferência subterrânea de N são determinantes para o desempenho nutricional do consórcio (Li et al., 2014; Jiao et al., 2021).

Paralelamente à dinâmica biológica, o aporte de fertilizantes nitrogenados exógenos modula as variáveis morfofisiológicas do milho, tais como estatura de plantas, diâmetro de colmo, índice de área foliar (IAF), partição de fitomassa seca e taxa fotossintética líquida (Sangoi et al., 2007). Embora a nutrição nitrogenada adequada impulsione o potencial genético produtivo da cultura, a aplicação supraótima de N pode desencadear distúrbios fisiológicos, exacerbar a competição interespecífica por sombreamento e reduzir a eficiência de uso do nitrogênio (EUN), sublinhando a necessidade de calibração estequiométrica das doses para sistemas consorciados (Cantarella, 2007; Malavolta, 2006).

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O estudo foi realizado em ambiente protegido, casa de vegetação, localizada na Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, UEMASUL, em Imperatriz, Maranhão, Brasil. O solo

utilizado no experimento foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO-Amarelo, conforme a classificação da EMBRAPA (1999). O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é do tipo Aw, tropical com precipitação média anual de 1.221 mm e temperatura média anual de 27,1 ºC. Na Tabela 1, é exposto a análise química do solo.

Tabela 1. Características químicas do solo. UEMASUL, Imperatriz – MA, 2026.

Camadas (m)	pH	MO	P	S	Ca	Mg	K	Al	H+Al SMP	SB	CTC	V
0 - 0,2	$CaCl_2$	g dm^{-3}	mg dm^{-3}	----------mmol$_c$ dm^{-3}----------%								
	4.8	1.2	1.2	5	10	4	3.28	2	37	17.28	54.2	31.8

Fonte: Autores.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O experimento foi delineado em blocos inteiramente casualizados, com 8 tratamentos em 3 repetições. Os tratamentos consistiram em: T1: controle (sem N + sem amendoim); T2: sem N + amendoim; T3: 50 kg N ha^{-1}; T4: 50 kg N ha^{-1} + amendoim; T5: 100 kg N ha^{-1}; T6: 100 kg N ha^{-1} + amendoim; T7: 150 kg N ha^{-1} e T8: 150 kg N ha^{-1} + amendoim.

3.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado em abril de 2025, conduzido em ambiente protegido (casa de vegetação) sob cobertura de tela de sombreamento (sombrite) com 75% de interceptação luminosa. Como material biológico, utilizaram-se sementes de milho (*Zea mays* L.), híbrido AG 1051, provenientes de lote comercial certificado com índice de germinação de 99%.

As unidades experimentais consistiram em vasos com capacidade volumétrica de 20 dm^3. O substrato utilizado foi um solo classificado como de textura média, apresentando pH original de 5,3. A adubação de base foi padronizada para todos os tratamentos, seguindo as recomendações técnicas de fertilidade, com a aplicação de 30 kg ha^{-1} de N, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 90 kg ha^{-1} de K_2O. O delineamento incluiu o consórcio com amendoim (*Arachis hypogaea* L.), cuja semeadura ocorreu concomitantemente à do milho, depositando-se três sementes de cada espécie por cova em cada unidade experimental.

O manejo hídrico foi realizado por meio de irrigações diárias, com aporte de 500 mL de água por parcela. Tal volume foi calculado para manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo, favorecendo a retenção hídrica e mitigando perdas de nutrientes por lixiviação (percolação).

A adubação de cobertura, utilizando ureia (44% de N) como fonte nitrogenada, foi fracionada nos estádios fenológicos V4 (quarta folha expandida) e V6 (sexta folha expandida). Os tratamentos consistiram em doses crescentes de nitrogênio: 0, 50, 100 e 150 kg de N ha^{-1}. Visto que o ciclo da cultura não foi conduzido até a maturação fisiológica (estádio reprodutivo final), optou-se pela

aplicação estratégica de 50% da exigência total de N prevista para cada tratamento, dividida equitativamente entre as duas épocas de aplicação mencionadas.

3.4 VARIÁVEIS ANALISADAS

Aos 60 dias após a semeadura (DAS), procedeu-se à amostragem destrutiva de uma planta representativa por parcela para a realização das avaliações biométricas e fisiológicas. O sistema radicular foi cuidadosamente extraído e submetido à lavagem em água corrente, utilizando-se peneiras de malha fina para garantir a integridade das ramificações radiculares e minimizar a perda de biomassa durante a remoção do solo aderido.

As variáveis agronômicas mensuradas compreenderam a altura de planta, o diâmetro do colo, a massa fresca e seca (da parte aérea e do sistema radicular), o número de folhas e o índice de clorofila total. A altura da planta foi determinada com o auxílio de uma régua graduada, medindo-se a distância entre o colo e o ápice da haste principal (valores em cm). O diâmetro do colo foi aferido na região de transição entre a raiz e o caule, utilizando-se um paquímetro digital de precisão (valores em mm). O número de folhas foi obtido por meio da contagem direta de todos os trifólios completamente expandidos.

Para a determinação da massa fresca, a parte aérea e as raízes foram separadas e pesadas imediatamente após a coleta em balança semianalítica. Posteriormente, para a obtenção da **massa seca**, os componentes vegetais foram acondicionados em sacos de papel e submetidos à secagem em estufa de renovação e circulação forçada de ar, mantida à temperatura constante de 65 ºC por um período de 72 horas, até atingirem massa constante. A pesagem final foi realizada em balança de precisão, com os resultados expressos em g planta^{-1}.

A avaliação fisiológica do teor de clorofila total foi realizada de forma indireta por meio da leitura do índice SPAD (Soil Plant Analysis Development), utilizando-se um clorofilômetro eletrônico. As leituras foram efetuadas no terço médio das plantas, priorizando-se os folíolos centrais dos trifólios mais desenvolvidos e plenamente expostos à radiação solar, visando a obtenção de valores representativos do status nutricional e fotossintético da cultura

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade de erros (Royston, 1995) e de homogeneidade de variância (Gastwirth et al., 2009). Posteriormente, procedeu-se à análise de variância pelo teste F ($p<0,05$) e a comparação de médias pelo teste de Tukey ($p<0,05$), utilizando-se o software Agroestat, versão 1.0 (Barbosa; Maldonado, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

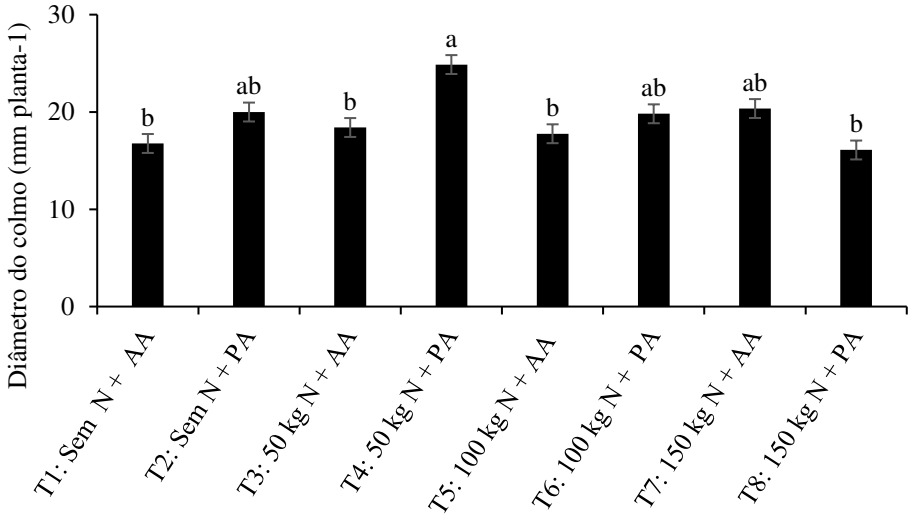
4.1 DIÂMETRO DO CAULE

Os efeitos das diferentes doses de nitrogênio (N) e da integração com adubação verde sobre o diâmetro do colmo (DC) das plantas de milho verde encontram-se representados na Figura 1. A análise de variância revelou significância estatística rigorosa ($p < 0,01$), evidenciando que a morfologia do colmo foi sensivelmente influenciada pelo manejo nutricional adotado. Entre os tratamentos avaliados, destacaram-se as unidades experimentais T2 (19,99 mm), T4 (24,84 mm), T6 (19,81 mm) e T7 (20,35 mm). Notavelmente, o tratamento T4 alcançou o ápice do desempenho médio, registrando um incremento de 49,19% no diâmetro do colmo em comparação ao tratamento controle (T1), cujo valor médio foi de 16,76 mm.

Embora o Boletim de Recomendação de Calagem e Adubação do Estado do Pará preconize a aplicação de 100 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura para a maximização do potencial produtivo do milho, os dados obtidos neste estudo (Figura 1) indicaram uma resposta fisiológica distinta. O maior diâmetro de colmo foi observado sob a aplicação da dose reduzida de N (50 kg ha^{-1}) quando associada ao cultivo intercalar de amendoim (*Arachis hypogaea* L.). Este resultado sugere que a interação biológica entre a gramínea e a leguminosa promoveu um ambiente nutricional sinérgico, possivelmente mediado pela fixação biológica de nitrogênio (FBN) e pela melhoria das condições físicas e químicas da rizosfera.

A superioridade do tratamento T4 indica que a presença do amendoim na fileira de cultivo atuou como um aporte suplementar de nutrientes e um condicionador do microclima do solo, permitindo uma redução substancial na dependência de fertilizantes nitrogenados de síntese industrial sem comprometer o vigor estrutural das plantas. Corroborando esta observação, Ribeiro et al. (2021) asseveram que sistemas consorciados com leguminosas potencializam a ciclagem de nutrientes e elevam a eficiência do uso do nitrogênio (EUN). Esse fenômeno decorre da decomposição gradual da biomassa e da atividade microbiológica associada, que disponibiliza o nutriente de forma sincronizada com a demanda fenológica da cultura principal, mitigando perdas por lixiviação ou volatilização que são comuns em adubações minerais de alta intensidade.

Figura 1. Diâmetro do caule de plantas de milho verde AG 1051 sob influência de doses de N e adubo verde nas condições da Região Tocantina do Maranhão. Letras minúsculas diferentes entre colunas significam comparação entre tratamentos.



Fonte: Macêdo (2025)

Do ponto de vista agronômico, o maior diâmetro do caule está associado a um maior acúmulo de fotoassimilados, além de proporcionar melhor sustentação da planta frente a intempéries ambientais, como ventos de alta velocidade, comuns na Região Nordeste do Brasil. Por outro lado, o excesso de nitrogênio (N), observado no tratamento T8 (150 kg ha^{-1}) associado à presença do amendoim, resultou em redução do diâmetro do caule. Isso pode ser explicado pelo fato de que o excesso de N pode induzir deficiência de potássio (K), em função do antagonismo entre esses nutrientes no processo de absorção pelo sistema radicular (Rietra et al., 2017).

4.2 ALTURA DE PLANTAS

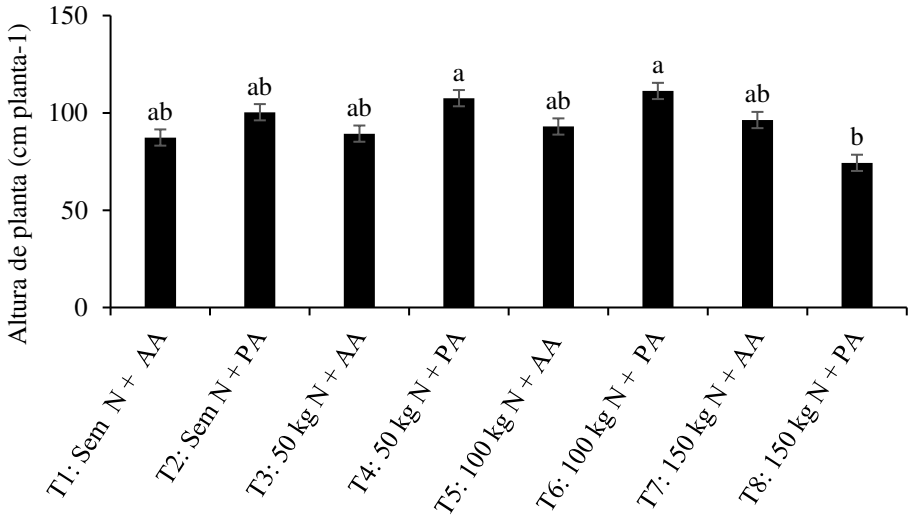
A estatura das plantas de milho (*Zea mays* L.) exibiu resposta significativa ($p < 0,05$) em função das doses crescentes de nitrogênio (N) quando submetidas ao sistema de consórcio com o amendoim (*Arachis hypogaea* L.), conforme ilustrado na Figura 2. Os tratamentos T4 (50 kg ha^{-1} de N) e T6 (100 kg ha^{-1} de N) destacaram-se por promover os maiores crescimentos verticais, atingindo médias de 107,55 cm e 111,26 cm, respectivamente. Tais resultados configuraram incrementos expressivos de 23,2% e 27,5% em relação ao tratamento controle (T1), cuja média estagnou em 87,33 cm, evidenciando a limitação nutricional na ausência de fertilização nitrogenada suplementar.

A análise dos parâmetros dendrométricos revelou que o aporte nitrogenado exerceu um efeito sinérgico e determinante sobre o desenvolvimento biométrico da cultura. O incremento linear observado na altura das plantas, com ápice nas dosagens de 50 e 100 kg ha^{-1} na presença da leguminosa, sugere uma otimização na dinâmica de disponibilidade do nutriente no sistema solo-planta. Este desempenho superior é intrínseco à oferta concomitante de nitrogênio proveniente da adubação mineral de pronto uso e da mineralização gradual da matéria orgânica e resíduos culturais

da planta de cobertura, o que potencializou o fluxo nutricional e a janela de absorção pela cultura principal.

Sob a ótica fisiológica, o nitrogênio atua como o principal macronutriente limitante, sendo indispensável para os processos de divisão e elongação celular, além da expansão foliar. Sua relevância advém do papel como constituinte estrutural e funcional de biomoléculas essenciais, tais como a molécula de clorofila, proteínas enzimáticas catalisadoras e ácidos nucleicos (LIMA, 2024). Consequentemente, a maior concentração de N prontamente assimilável na solução do solo refletiu-se em uma eficiência metabólica superior, traduzida em maior vigor vegetativo e acúmulo de biomassa aérea. Adicionalmente, a presença do amendoim no sistema pode ter contribuído para a melhoria das condições físicas e biológicas do solo, favorecendo o aprofundamento radicular e, por conseguinte, a sustentação do crescimento vertical observado nos tratamentos de maior dosagem.

Figura 2. Altura de plantas de milho verde AG 1051 sob influência de doses de N e adubo verde nas condições da Região Tocantina do Maranhão. Letras minúsculas diferentes entre colunas significam comparação entre tratamentos.



Fonte: Macêdo (2025)

Entretanto, ao analisar os dados percebe-se que as doses de N superiores a 100 kg há$^{-1}$ apresentaram retornos negativos em termos de produtividade, corroborando a estudos anteriores que apontam para a existência de um ponto de inflexão (Galindo et al, 2016). Esse resultado realça como e a importância da otimização das doses aplicadas, a fim de evitar os custos desnecessários.

4.3 NÚMERO DE FOLHAS

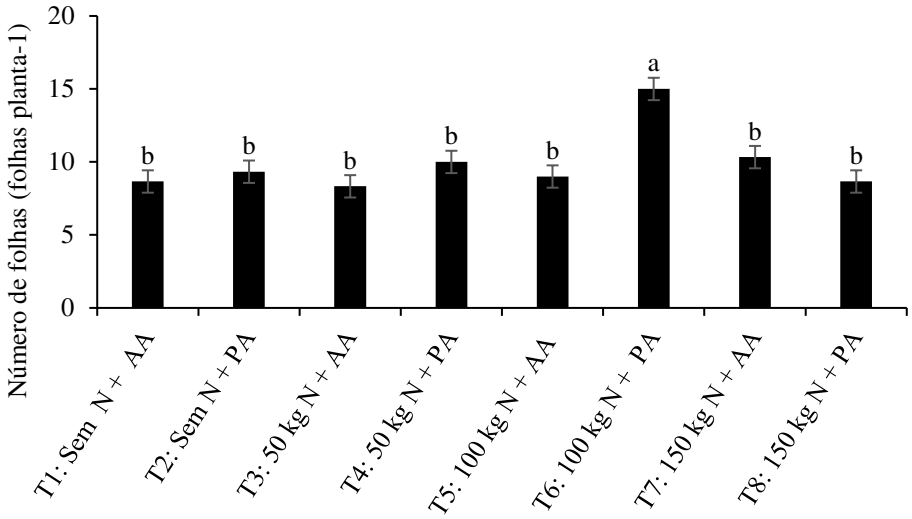
Os resultados pertinentes ao número de folhas (NF) nas plantas de milho verde estão apresentados na Figura 3. A análise de variância (ANOVA) evidenciou efeito altamente significativo dos tratamentos aplicados sobre esta variável biométrica ($p < 0,01$), indicando que a modulação nutricional ou bioestimulante exerceu influência direta sobre a morfogênese foliar. O tratamento T6

destacou-se como o mais responsivo, atingindo uma média de 15 folhas planta^{-1}, o que representou um incremento substancial de 73,3% em comparação à testemunha (T1), que registrou uma média de apenas 8,66 folhas planta^{-1}.

Estatisticamente, o tratamento T6 diferenciou-se das demais unidades experimentais, consolidando-se como o manejo de maior eficiência biológica para a expansão do aparato vegetativo. O incremento no NF não é apenas um parâmetro morfológico isolado, mas um indicador determinante do vigor híbrido e da saúde fisiológica da cultura. Este parâmetro está intrinsecamente correlacionado ao índice de área foliar (IAF), fator crítico para a maximização da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e, por conseguinte, para a otimização da taxa de assimilação líquida de carbono.

Sob a ótica da fisiologia da produção, o maior aporte de tecido foliar observado no T6 potencializa a capacidade das fontes em suprir os drenos metabólicos. Folhas bem desenvolvidas e em maior número atuam como os principais centros de síntese de fotoassimilados, cuja translocação é fundamental para o acúmulo de matéria seca e o desenvolvimento das espigas. De acordo com a literatura, o estabelecimento de uma arquitetura foliar robusta nos estádios iniciais e intermediários é o que sustenta o potencial produtivo, pois mitiga as perdas por sombreamento ineficiente e eleva a eficiência do uso da radiação (Fageria et al., 2010). Tais ganhos no vigor vegetativo refletem uma sinergia positiva entre o tratamento aplicado e o metabolismo do nitrogênio, essencial para a manutenção da atividade meristemática e a emissão foliar contínua

Figura 3. Número de folhas em plantas de milho verde AG 1051 sob influência de doses de N e adubo verde nas condições da Região Tocantina do Maranhão. Letras minúsculas diferentes entre colunas significam comparação entre tratamentos.



Fonte: Macêdo (2025)

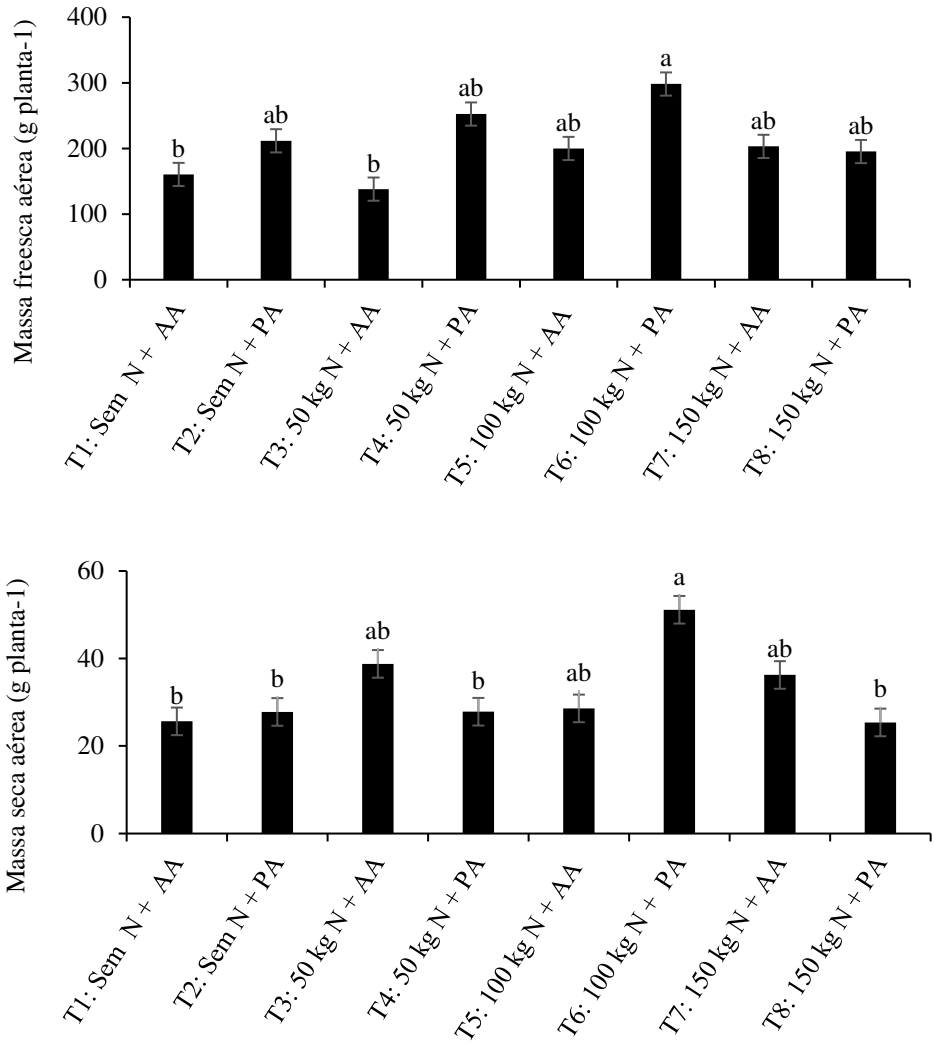
De acordo com Tsumanuma (2005, p. 57), o consórcio de plantas com o milho pode promover benefícios ao desenvolvimento da cultura, especialmente no aumento do número de folhas em *Zea*

mays. Plantas de milho verde com maior número de folhas sadias, implicam em maior área para atividade fotossintética, e maior possibilidade de incremento em açúcares produzidos pela fotossíntese.

4.4 MASSA FRESCA E SECA DA PARTE AÉREA

As consequências das diferentes doses de nitrogênio e da adubação verde sobre a massa fresca aérea estão representadas na Figura 4. Observou-se diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos, com destaque para o T6, que apresentou o maior valor (298,17 g), correspondendo a um aumento de 85,9% em relação ao tratamento controle, T1 (160,39 g).

Figura 4. Massa fresca e seca da parte aérea em plantas de milho verde AG 1051 sob influência de doses de N e adubo verde nas condições da Região Tocantina do Maranhão. Letras minúsculas diferentes entre colunas significam comparação entre tratamentos.



Fonte: Macêdo (2025)

A análise estatística dos dados revelou que o tratamento T6 apresentou desempenho superior, com diferença significativa ($p < 0,05$) em relação às demais unidades experimentais. Esse

comportamento converge com as observações de Guareschi et al. (2013), que evidenciaram respostas positivas em todas as variáveis biométricas da cultura do milho submetida à adubação nitrogenada, ressaltando que a omissão do nitrogênio (N) é severamente limitante ao desenvolvimento da cultura. Ademais, os referidos autores destacaram que a utilização de ureia revestida por polímeros, na dose de 150 kg N ha-1, proporcionou produtividades superiores à ureia convencional, além de incrementos no comprimento de espigas e na massa de mil grãos. Tais evidências ratificam a necessidade de um manejo nutricional assertivo, visto que o N atua diretamente na expansão dos componentes morfológicos que sustentam o potencial produtivo do milho.

Os impactos da integração entre adubação verde e diferentes dosagens de nitrogênio sobre a massa seca da parte aérea (MSPA) estão detalhados na Figura 4**.** Verificou-se significância estatística ($p < 0,05$), com proeminência do tratamento T6, que atingiu a marca de 51,14 g. Este valor representa um incremento expressivo de 99,45% em comparação ao tratamento controle (T1 25,64 g), evidenciando a eficiência da estratégia adotada no T6 em dobrar o acúmulo de biomassa.

A superioridade do tratamento T6 corrobora os achados de Silva (2021), que demonstrou que o parcelamento da ureia nos estágios fenológicos V4 e V8, associado à aplicação conjunta de bioestimulantes (Symbo Genesis) em V4, otimiza o desempenho fitotécnico, resultando em maiores teores de massa fresca e seca. Esse sinergismo nutricional promove um efeito metabólico benéfico, gerando plantas com maior robustez e capacidade produtiva. Em suma, a adubação com ureia fonte de alta concentração nitrogenada transcende o simples incremento de massa vegetal, sendo um fator determinante para a maximização da produtividade na cultura do milho, conforme preconizado por Fageria e Costa (2011) **e** Costa et al. (2002)**.**

4.4.1 Massa fresca e seca de raiz e teor de clorofila total

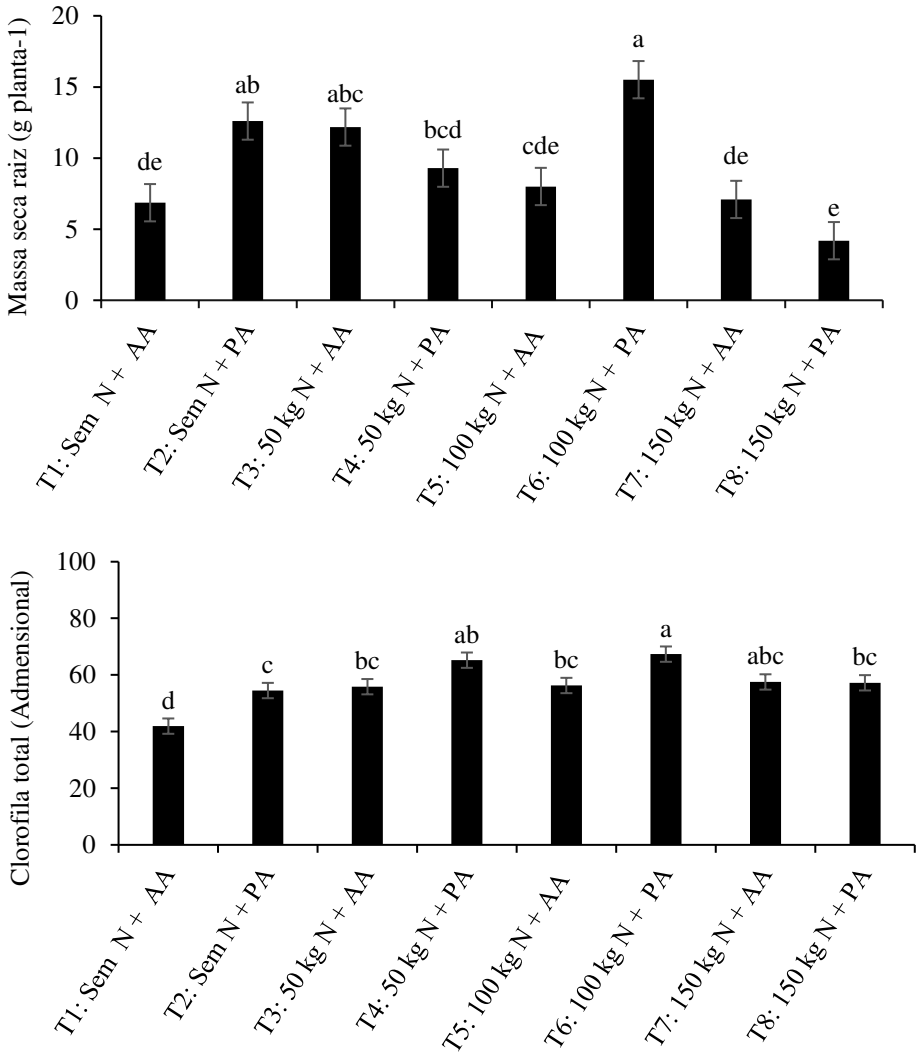
No que tange à massa fresca radicular, a análise de variância (ANOVA) revelou um valor de F igual a 1,56 com p-valor > 0,05, indicando a ausência de diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos avaliados sob as condições do experimento. Contudo, ao converter a análise para a variável massa seca de raiz, parâmetro que reflete com maior precisão o acúmulo real de biomassa e a partição de fotoassimilados, observou-se um efeito altamente significativo dos tratamentos aplicados.

Os resultados referentes à interação entre o consórcio de adubação verde e as diferentes doses de nitrogênio sobre a massa seca radicular estão detalhados na Figura 5. A análise estatística evidenciou significância ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$), demonstrando que a composição do manejo nutricional influenciou diretamente a arquitetura e o vigor do sistema radicular.

Dentre os tratamentos testados, o T6 apresentou o desempenho mais expressivo, atingindo uma massa média de 15,51 g. Este valor representa um incremento substancial de 126,1% em comparação ao tratamento controle (T1), que registrou apenas 6,86 g. Esse aumento expressivo na massa seca

sugere que a sinergia entre a adubação verde e a suplementação nitrogenada otimizou o ambiente rizosférico, promovendo uma maior exploração do perfil do solo e, consequentemente, potencializando a capacidade produtiva da cultura.

Figura 5. Massa seca de raiz e clorofila total em plantas de milho verde AG 1051 sob influência de doses de N e adubo verde nas condições da Região Tocantina do Maranhão. Letras minúsculas diferentes entre colunas significam comparação entre tratamentos.



Fonte: Macêdo (2025)

Ao avaliar a Figura 5, observa-se que o Tratamento 6 obteve um maior destaque sobre todos os outros tratamentos, esse desempenho positivo pode ser explicado através da relação entre o desenvolvimento das raízes e o crescimento da parte aérea. Estudos demonstram que o crescimento das raízes tem um resultado direto na capacidade da planta de absorver água e nutrientes essenciais, o que, por sua vez, favorece o desenvolvimento da parte aérea, resultando em plantas mais altas e mais fortes (Vieira et al, 2024). O que condiz com os resultados anteriores, considerando que o T6 obteve também maior incremento em massa fresca e seca da parte aérea.

Os efeitos do consórcio do milho com amendoim e doses nitrogenadas na clorofila total de

folhas de milho estão apresentados na Figura 5. Constatou-se significância estatística (p-valor < 0,01) nos resultados obtidos, com maior destaque para os tratamentos T6, que apresentou o maior valor (67,36), o que correspondeu a um aumento de 60,65% em relação ao tratamento controle, T1 (41,93).

Esse aumento pode estar relacionado à maior disponibilidade de nitrogênio no sistema, tanto pela adubação mineral quanto pela contribuição biológica promovida pelo amendoim, uma leguminosa com potencial de fixação biológica de nitrogênio (FBN). O nitrogênio é um dos principais elementos estruturais da molécula de clorofila, sendo essencial para o desempenho fotossintético e, consequentemente, para o crescimento vegetal (Shrivastav et al., 2020; Zang et al., 2022; Taiz et al., 2017). Além disso, a presença do amendoim no consórcio pode ter promovido melhorias na ciclagem de nutrientes e na microbiota rizosférica, otimizando o aproveitamento do nitrogênio aplicado.

Esses resultados corroboram com estudos anteriores que relatam o efeito positivo do consórcio entre gramíneas e leguminosas na eficiência de uso de nutrientes e na fisiologia vegetal (Santos et al., 2020; Silva et al., 2018). Segundo Argenta et al. (2001) as leituras realizadas no estágio de 10 folhas da planta afirmaram que tanto o teor de N na planta como as leituras com o SPAD, correlacionaram-se positivamente com o rendimento de grãos. Os valores de leituras de clorofila obtidos no presente trabalho assemelham-se aos obtidos por Fiorini et al. (2017), visto que o mesmo obteve resultados promissores com o clorofilômetro em diferentes estágios fenológicos no milho em decorrência da adubação realizada.

5 CONCLUSÃO

O estudo permitiu concluir que a interação entre doses de nitrogênio e o consórcio com amendoim influenciou positivamente o desenvolvimento morfológico e fisiológico do milho verde nas condições da Região Tocantina do Maranhão. A associação da adubação nitrogenada com a adubação verde mostrou-se superior ao cultivo isolado, evidenciando os benefícios da integração de leguminosas no sistema de produção.

Os resultados indicaram que o tratamento T6 (100 kg ha^{-1} de N com amendoim) proporcionou os maiores incrementos em altura de plantas, número de folhas, massa fresca e seca da parte aérea, massa seca de raiz e teor de clorofila total. Esse desempenho confirmou que a disponibilidade de nitrogênio, potencializada pela fixação biológica e ciclagem de nutrientes promovida pelo amendoim, otimizou a capacidade fotossintética e o vigor vegetativo da cultura.

Quanto ao diâmetro do caule, o tratamento T4 (50 kg ha^{-1} de N com amendoim) alcançou o valor máximo, sugerindo que o consórcio permite reduzir a dependência de fertilizantes minerais para garantir a sustentação e o acúmulo de fotoassimilados. Por outro lado, o excesso de nitrogênio (150 kg ha^{-1}) resultou em respostas negativas (efeito de inflexão), possivelmente devido a desequilíbrios nutricionais.

ISSN: 2177-3246

Portanto, a utilização de 100 kg ha^{-1} de N associada ao cultivo de amendoim na fileira constituiu a estratégia de manejo mais eficiente para maximizar os componentes de crescimento do milho verde, promovendo um sistema produtivo mais equilibrado e sustentável.

REFERÊNCIAS

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 157–165, 2001.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L.; STRIEDER, M.L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira Fisiologia Vegetal**, v.13, n.2, p.158-167, 2001.

ALTIERI, M. A. Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável. 3. ed. São Paulo: **Expressão Popular**, 2012.

BEDOUSSAC, L. et al. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. *A review*. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, p. 911–935, 2015.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **AgroEstat versão 1.0**. Sistema para análise estatística de ensaios agronômicos. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2011.

CRUSCIOL, C. A. C.; MORO, E.; LIMA, E.V.; ANDREOTTI, M. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 481–489, 2008.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 375-470.

COSTA, C.; DWYER, L.M.; ZHOU, X.; DUTILLUL, P.; HAMEL, C.; REID, L.M.; SMITH, D.L. Root morphology of contrasting maize genotypes. **Agronomy Journal**, v.94, p.96- 101, 2002.

EMBRAPA. **Os Solos do Brasil**. Embrapa Solos. Disponível em: <http://embrapa.br/tema-solos-brasileiros/solos-do-brasil>. Acesso em: 20 de maio 2025.

FAGERIA, N. K., BALIGAR, V. C., JONES, C. A. 2010. ***Growth and Mineral Nutrition of Field Crops***. CRC Press.

FAGERIA, N.K.; MOREIRA, A. The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. **Advances in Agronomy**, v.110, p.251-331, 2011.

FAGERIA, N. K. Nitrogen management in crop production. **Boca Raton**: CRC Press, 2014.

FIORINI, S. et al.; Acúmulo de matéria seca, clorofila e enxofre foliar em milho adubado com diferentes fontes de enxofre. **J. Bioen. Food Sci**., v.4, n.1, p.1-11, 2017

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S. Manejo de nitrogênio para altas produtividades no milho. **Agronomic Research Journal**, v. 12, n. 1, p. 89-100, 2016.

GASTWIRTH, J. L. et al. The impact of Levene's test of equality of variances on statistical theory and practice. **Statistical Science**, v.24, p. 343-360, 2009.

GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; GAZOLLA, P. R. Produtividade de milho submetido à aplicação de ureia revestida por polímeros. **Gl. Sci Technol**, Rio Verde, v. 07, n. 02, p.1 – 7, mai/ago. 2013.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecology**: the ecology of sustainable food systems. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015.

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

JIAO, N.A.Y.; WANG, F.; MA, C.; ZHANG, F.S.; JENSENE; S. 2021. Interspecific interactions of iron and nitrogen use in peanut (*Arachis hypogaea* L.)-maize (*Zea mays* L.) intercropping on a calcareous soil. **Eur. J. Agron**.128:126303. doi: 10.1016/j.eja.2021.126303

LIMA, G. V.; SOUZA, B. R. Produtividade do milho com diferentes dosagens de nitrogênio em cobertura. **Revistaft**, v29, ed140, 2024.

LI, L. et al. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping I. Yield advantage and interspecific interactions on nutrients. ***Field Crops Research***, v. 71, p. 123–137, 2001.

LI, L. et al. Root interactions and facilitation in intercropping systems. ***Plant and Soil***, v. 374, p. 1–13, 2014.

LITHOURGIDIS, A. S. et al. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. ***Australian Journal of Crop Science***, v. 5, n. 4, p. 396–410, 2011.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

NAND KUMAR FAGERIA; BALIGAR, V. C.; CHARLES ALLAN JONES. **Growth and Mineral Nutrition of Field Crops**. CRC Press, 2010.

RIETRA, RPJJ, HEINEN, M., DIMKPA, CO, & BINDRABAN, OS. 2017. Efeitos do antagonismo e sinergismo de nutrientes na produtividade e na eficiência do uso de fertilizantes. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, *48* (16), 1895–1920.

ROYSTON, J. A remark on algorithm AS-181-The W test for normality (Algorithm R94). **Journal of Applied Statistics**, v.44, p. 547-551, 1995.

RASEDUZZAMAN, M.; JENSEN, E. S. Does intercropping enhance yield stability in arable crop production? A meta-analysis. *European Journal of Agronomy*, v. 91, p. 25–33, 2017.

RASEDUZZAMANM, JENSENE. S. (2017). Does intercropping enhance yield stability in arable crop production A meta analysis. **Eur. J. Agron**.91, 25–33. doi: 10.1016/j.eja.2017.09.009

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A. F.; KONFLANZ, V. A. Exigências nutricionais, eficiência de absorção e utilização de nutrientes em cultivares de milho de diferentes épocas. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 37, n. 6, p. 1536–1542, 2007.

SILVA, V. M. **Aplicação de ureia e fertilizante foliar em diferentes estádios fenológicos da cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 2021. Disponível em: <https://dspace.ifrs.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/1664/1234567891664.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 28 jun. 2025.

SILVA, C. A., SOUZA, G. S., OLIVEIRA, L. A. Crescimento do milho em consórcio com leguminosas em diferentes níveis de nitrogênio. ***Revista Brasileira de Agroecologia,*** 13(1), 215–223, 2018.

SHRIVASTAV, P.; PRASAD, M.; SINGH, TB; YADAV, A.; GOYAL, D.; ALI, A.; DANTU , PK. Contaminantes na Agricultura: Fontes, Impactos e Gestão. Springer; Cham, Suíça: 2020. **Papel dos nutrientes no crescimento e desenvolvimento das plantas**; pp. 43–59.

SILVA, R. F.; MENDONÇA, J. A.; LIMA, C. F. Crescimento e produtividade do milho em consórcio com leguminosas sob diferentes doses de nitrogênio. ***Revista Brasileira de Agroecologia***, v. 6, n. 3, p. 40–48, 2011.

SANTOS, A. C., LIMA, J. P., ALMEIDA, R. S. Efeito do consórcio milho-leguminosa sobre a produtividade e qualidade fisiológica. ***Ciência Agronômica***, 51(4), 562–569, 2020.

SANGOI, L. et al. Resposta do milho à aplicação de nitrogênio em diferentes épocas. ***Pesquisa Agropecuária Brasileira***, v. 42, n. 10, p. 1491–1497, 2007.

STOMPHT, DORDASC; BARANGERA, RIJKJ. D.DongB.EversJ.et al. (2020). Designing intercrops for high yield, yield stability and efficient use of resources are there principles. **Adv. Agron**.160, 1–50. doi: 10.1016/bs.agron.2019.10.002

TAIZ, L., ZEIGER, E., MOLLER, I. M., MURPHY, A. Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. [s.l.] Artmed Editora, 2024.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MOLLER, I. M., MURPHY, A. ***Fisiologia e desenvolvimento vegetal***. Artmed. 2017.

TSUMANUMA, G.M. **Desempenho do milho consorciado com diferentes espécies de braquiárias, em Piracicaba, SP**. 2004. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005. doi:10.11606/D.11.2005.tde-26042005-155246. Acesso em: 21 de junho de 2025.

TEIXEIRA, I. R.; SOUZA, J. L.; COSTA, N. R. Desempenho agronômico do milho verde consorciado com feijão-caupi sob diferentes níveis de nitrogênio. ***Revista Agroambiente On-line***, v. 10, n. 3, p. 245–252, 2016.

VIEIRA, E. C., MUNIZ, N. K., SILVA, W. P. DA. Desenvolvimento do milho (*Zea mays* l.) em diferentes dosagens de *Azospirillum*. **Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências e Educação**, *10*(12), 1672–1685, 2024.

WANG, Z. et al. Maize-peanut intercropping increases land productivity via improved root interactions and nutrient-use efficiency. ***Field Crops Research***, v. 263, 108068, 2021.

WILLEY, R. W. Intercroppin its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages. ***Field Crop Abstracts***, v. 32, p. 1–10, 1979.

ZHANG, F. et al. Intercropping systems and nitrogen use efficiency in sustainable agriculture. ***The Crop Journal***, v. 9, n. 3, p. 597–610, 2021.

ZHANG, S.; LIU, Y.; DU, M.; SHOU, G.; WANG, Z.; XU, G. Nitrogênio como regulador do tempo de floração em plantas. **Plant Soil**. 2022; 480:1–29.