



**CRESCIMENTO DE PLANTAS DE MILHO NO BIOMA AMAZÔNIA SUBMETIDOS  
AS DOSES, FONTES E ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO**

*VEGETATIVE DEVELOPMENT OF CORN PLANTS IN AMAZON BIOME  
SUBJECTED TO RATES, SOURCES AND TIMES OF NITROGEN APPLICATION*

**Vinicius Masala Amaral**

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Brasil

Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-2601-4325>

E-mail: [vinicius.masala5@gmail.com](mailto:vinicius.masala5@gmail.com)

**Daiane de Cinque Mariano**

Universidade Federal do Mato Grosso – UFMT, Brasil

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3875-150X>

E-mail: [daianedecinque@gmail.com](mailto:daianedecinque@gmail.com)

**Raylon Pereira Maciel**

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Brasil

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5097-2797>

E-mail: [raylon.maciell@ufra.edu.br](mailto:raylon.maciell@ufra.edu.br)

**Cândido Ferreira de Oliveira Neto**

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Brasil

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6070-0549>

E-mail: [candidooliveiraneto@gmail.com](mailto:candidooliveiraneto@gmail.com)

**Antônio Augusto Nogueira Franco**

Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG, Brasil

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4174-8598>

E-mail: [antonioaugustonf@yahoo.com.br](mailto:antonioaugustonf@yahoo.com.br)

**Ricardo Shigueru Okumura**

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Brasil

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5079-3980>

E-mail: [ricardo\\_okumura@hotmail.com](mailto:ricardo_okumura@hotmail.com)

**Submetido:** 9 fev. 2024.

**Aprovado:** 22 jan. 2025.

**Publicado:** 15 mar. 2025.

**E-mail para correspondência:**

[ricardo\\_okumura@hotmail.com](mailto:ricardo_okumura@hotmail.com)

**Resumo:** O objetivo do estudo foi avaliar os efeitos de doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura no desenvolvimento de plantas de milho transgênico cultivado no Bioma Amazônia. Os experimentos foram conduzidos no município de Parauapebas, Pará, em duas safras agrícolas (2016/2017 e 2017/2018). O delineamento experimental foi blocos casualizados, em esquema fatorial 5x2x2, constituídos de cinco doses de N (0; 45; 90; 135; and 180 kg ha<sup>-1</sup>), duas fontes nitrogenadas (ureia e sulfato de amônio) e duas épocas de aplicação de N (estádio fenológico V<sub>4</sub> e V<sub>8</sub>), com quatro repetições. O fator doses de N promoveram ajuste da equação linear (índice de área foliar) e equação quadrática (massa



seca da folha índice). Pelos resultados obtidos nas duas safras agrícolas do milho cultivado nas condições do Bioma Amazônia a aplicação de N no estágio fenológico V<sub>4</sub> nas doses de 121 a 131,39 kg ha<sup>-1</sup> de N apresentou os melhores resultados para o crescimento vegetativo.

**Palavras-chave:** Ureia. Sulfato de Amônio. Estádio Fenológico.

**Abstract:** The aims of study was to evaluate the effects of rates, sources and timing of nitrogen application top dressing on development of transgenic corn cultivated in Amazon Biome. The experiments were conducted in Parauapebas city, State of Pará, Brazil, in two agricultural seasons (2016/2017 and 2017/2018). The experimental design was randomized blocks, in a 5x2x2 factorial scheme, consisting of five rates of N (0; 45; 90; 135; and 180 kg ha<sup>-1</sup>), two nitrogen sources (urea and ammonium sulfate) and two application times of N (phenological stages V<sub>4</sub> and V<sub>8</sub>), with four replications. The factor N rates promoted adjustment of linear equation (leaf area index) and quadratic equation (dry mass of the leaf index). Based on the results obtained in the two agricultural harvests of corn cultivated under the conditions of the Amazon Biome, the application of N at the V<sub>4</sub> phenological stage at doses of 121 to 131.39 kg ha<sup>-1</sup> of N presented the best results for vegetative growth.

**Keywords:** Urea. Ammonium Sulfate. Phenological Stadium.

## Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é uma gramínea pertencente à família Poaceae, de grande importância mundial, amplamente difundida na agricultura e na indústria em suas diversas aplicações, com estimativa de área plantada na safra 2023/2024 de 21,1 milhões de hectares com uma produção de 119 milhões de toneladas de milho, o que confere ao Brasil posição de destaque no agronegócio mundial. Uma das variáveis determinante da produção é a obtenção e o fornecimento de nutrientes para a cultura, os quais destaca-se o nitrogênio por ela participar da composição dos aminoácidos conexos, proteína, clorofila e muitas enzimas essenciais que estimulam o crescimento e o desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular. Por isso é o nutriente absorvido em maior quantidade pela cultura do milho, e também o mais limitante para a mesma.

O aumento da produtividade de grãos de milho está relacionado ao manejo da adubação de nitrogênio (N) <sup>(1)</sup>, no qual é influenciado por fatores como doses, fontes, época de aplicação, condições edafoclimáticas e a microbiota do solo <sup>(2)</sup>. Apesar dos benefícios com a aplicação de N no milho, não é possível definir uma dose universal, visto que, cada localidade exigir uma dose diferente influenciado pelas condições edafoclimáticas <sup>(3)</sup>.

Muitos estudos com adubação de nitrogênio no milho (doses e fontes de N e épocas de aplicação) estão disponíveis provenientes de regiões temperadas, contudo, são escassos



estudos para os biomas da floresta amazônica <sup>(4, 5)</sup>, na qual se caracteriza como a fronteira agrícola de crescimento mais rápido. O cultivo de grãos na região tem promovido o aumento na aplicação de fertilizantes nitrogenados, com recomendações entre 80 à 120 kg ha<sup>-1</sup> de N <sup>(6)</sup>, contribuindo para um aumento de 78% no uso de fertilizantes nitrogenados no Brasil durante os últimos 20 anos <sup>(7)</sup>.

Outro ponto importante na adubação de N são as ocorrências de chuvas na Bacia Amazônica, com uma distribuição monomodal durante um período de seis a sete meses, muitas vezes excedendo 2.000 mm <sup>(8)</sup>, favorecendo a lixiviação do N no solo, associado ao tipo de solo de origem ser constituídos por mais de 74% pelas classes dos Latossolos e Argissolos <sup>(9)</sup>, caracterizadas pela elevada acidez, altos teores de Al trocável, baixa disponibilidade de cátions básicos como Ca e Mg, baixa disponibilidade de P na forma disponível para as plantas e de micronutrientes como B e Cu <sup>(10)</sup>, justifica a necessidade de estudos que possibilitem a melhor eficiência de utilização dos nutrientes.

Assim, é necessário levar em consideração práticas de manejo para que o produtor alcance boa produtividade. Porém, em decorrência das escassas pesquisas no Bioma Amazônico, o produtor pode realizar um manejo inadequado, em que as plantas podem apresentar deficiências nutricionais de um ou mais nutrientes, limitando o seu desenvolvimento e produção.

O manejo de adubações nitrogenadas é um dos mais complexos, decorrentes de problemas na eficiência de utilização do N, nas quais as fontes nitrogenadas disponíveis no Brasil, a ureia e o sulfato de amônio são as mais utilizadas na cultura do milho <sup>(11)</sup>. A ureia [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] tem sido a fonte de N mais utilizada pelos produtores de milho no Brasil, correspondendo por 60% dos fertilizantes nitrogenados <sup>(12)</sup>, principalmente devido ao menor custo do fertilizante e maior porcentagem de N ( $\pm 45\%$ ), porém, mais sujeito a perdas por volatilização da amônia <sup>(13)</sup>. Enquanto, o sulfato de amônio [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] apresenta a composição de N ( $\pm 21\%$ ) e S ( $\pm 24\%$ ) <sup>(14)</sup>, sendo afetado pela lixiviação de nitrato <sup>(15)</sup>.

A época de aplicação é um fator importante para maior eficiência da adubação, por meio dos estádios fenológicos das plantas tem sido possível identificar os períodos de maior necessidade <sup>(16)</sup>. De acordo com Gott et al. <sup>(17)</sup> a escolha da época de aplicação do N é uma importante estratégia para reduzir a perdas de nitrogênio, em que está intrinsecamente relacionada com a eficiência no uso do N <sup>(18)</sup>, uma vez que, a época de aplicação pode influenciar no aproveitamento de N pela cultura, devido a absorção nos primeiros 30 dias ser



baixa, mas a partir do estágio  $V_4$  existe considerável porcentagem de pêlos absorventes e ramificações diferenciadas e maior demanda por N.

Entender a dinâmica do N aplicado no solo e suas perdas é fundamental, uma vez que, as áreas cultivadas com milho estão se expandindo rapidamente no Brasil <sup>(5)</sup>, especialmente para o bioma Amazônia. Assim, pesquisas em condições edafoclimáticas da região produtora de grãos de milho são de grande importância, pois favorecem o uso de doses de N de melhor eficiência e garantem a racionalização dos custos e aumento na produtividade de grãos <sup>(19)</sup>.

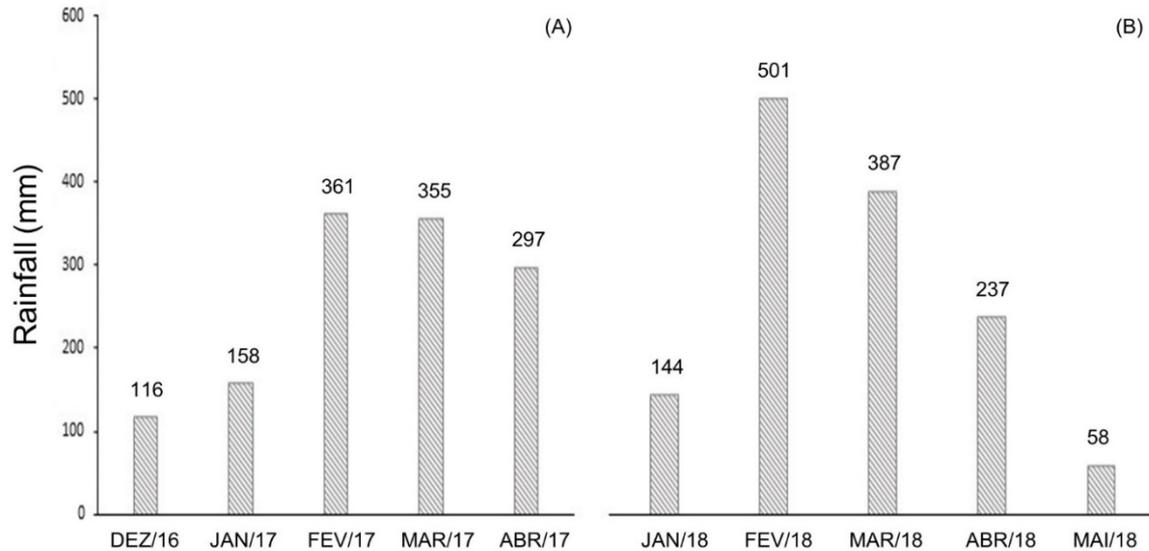
O objetivo do estudo foi avaliar os efeitos de doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura no desenvolvimento de plantas de milho transgênico cultivado no Bioma Amazônia.

### **Metodologia**

O experimento foi conduzido sob condições de campo no Centro Tecnológico de Apoio à Agricultura Familiar – CETAF, em Parauapebas, Pará, localizado na região Sudeste do Estado ( $06^{\circ} 03' 30''$  S e  $49^{\circ} 55' 15''$  W), a 184 m de altitude. A instalação e a condução do experimento ocorreram nos anos 2016/2017 e 2017/2018.

Os valores de precipitação e temperatura do ar média observadas durante o período de condução do experimento nos anos agrícolas de 2016/2017 e 2017/2018 estão apresentadas na Figura 1, coletados na estação meteorológica da Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Parauapebas.

**Figura 1 - Precipitação pluviométrica do período experimental no campo nos dois anos agrícolas, 2016/2017 (A) e 2017/2018 (B).**



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo <sup>(20)</sup>, de textura argilosa. Anterior a instalação dos experimentos foram coletadas amostras do solo na camada de 0,00 a 0,20 m, os resultados das análises químicas estão apresentados na (Tabela 1).

**Tabela 1 - Resultados da análise de solo da área experimental nos anos agrícolas 2016/2017 e 2017/2018.**

Características	Ano agrícola	
	16/17	17/18
pH em Água	6,00	5,85
P (mg dm <sup>-3</sup> ), Mehlich <sup>-1</sup>	3,00	2,10
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,16	0,31
Ca <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,40	5,20
Mg <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,80	1,04
H <sup>+</sup> + Al <sup>+3</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,20	2,70
Al <sup>+3</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,00	0,00
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,36	6,97



T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6,56	9,67
V (%)	66,46	72,10
MO (%)	3,10	3,16
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	200	-
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	294	-
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	506	-

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, distribuído em um fatorial 5x2x2, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de cinco doses de nitrogênio (0; 45; 90; 135 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N), duas fontes de nitrogênio (ureia e sulfato de amônio) e duas épocas de aplicação (estádio fenológico V<sub>4</sub> e V<sub>8</sub>).

O preparo de solo foi realizado de forma convencional por meio de duas arações e uma gradagem. A semeadura foi realizada em 23 de Dezembro de 2016 (1<sup>a</sup> safra) e em 30 de Janeiro de 2018 (2<sup>a</sup> safra), por meio de semeadora adubadora de quatro linhas individuais sendo semeado o híbrido simples transgênico Bt e RR, ciclo normal e uso pra silagem e grãos. Para a adubação de base foram aplicados 240 kg ha<sup>-1</sup> do formulado (09-25-15), conforme recomendação de Brasil et al. (21). A aplicação do N em cobertura nos dois experimentos ocorreram em dois períodos, aos 20 dias após a semeadura (DAS) no estágio fenológico V<sub>4</sub> do milho, e aos 36 DAS no estágio fenológico V<sub>8</sub> (22).

As coletas dos componentes vegetativos foram realizadas aos 64 DAS, no período de pleno florescimento, avaliando a altura de planta (AP), altura da inserção da espiga (AE), diâmetro do colmo (DC), índice de área foliar (IAF), massa seca da folha índice (MF) e massa seca total (MS) (23, 24, 6).

Inicialmente, os dados experimentais, de cada ano agrícola, foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk ( $p > 0,01$ ) e de Levene ( $p > 0,01$ ), para verificação da normalidade e homocedasticidade residuais, respectivamente. Posteriormente, havendo atendido as pressuposições, de modo individual em cada ano agrícola, realizou-se a análise de variância para as médias dos tratamentos ( $p < 0,05$ ), por meio do software estatístico SISVAR (25). Os efeitos das doses de N aplicados em cobertura foram estudados mediante análise de regressão polinomial, observando-se os resultados do teste F ( $p < 0,05$ ) da análise de variância e do teste t de Student ( $p < 0,05$ ), para os coeficientes de determinação. Para os efeitos das



fontes de N e épocas de aplicação foram estudados pelo teste F, a 5% de probabilidade, que para dois níveis de fator é conclusivo.

## Resultados e Discussão

As precipitações ocorridas nos dois anos agrícolas (2016/2017 e 2018) foram consideradas superior a necessidade da cultura, apesar da distribuição pluviométrica desuniforme ao longo do ciclo. O desempenho produtivo da cultura não foi afetado por déficit hídrico no solo (Figura 1), uma vez que a exigência hídrica do milho pode variar entre 410 e 640 mm <sup>(26)</sup>, e no presente estudo a precipitação acumulada nos anos agrícolas foram de 1.287 e 1.327 mm, respectivamente, e não ocorreu déficit hídrico no período do florescimento, não afetando diretamente a produção de grãos <sup>(27)</sup>.

As fontes de N aplicadas, ureia e sulfato de amônio apresentaram diferença estatística para a massa seca total. O fator doses de N foi significativo para a altura de plantas, enquanto para as variáveis altura de espiga, diâmetro do colmo, índice de área foliar e massa seca da folha índice não foram verificadas diferenças estatísticas dos fatores (Tabela 2).

**Tabela 2 – Valores da altura de planta, altura de espiga, diâmetro do colmo, índice de área foliar, massa seca total e massa seca da folha em função das doses, fontes e épocas de aplicação do N no milho com transgenia Bt e RR nos anos agrícolas de 2016/2017 e 2017/2018.**

Tratamento	AP (cm)	AE (cm)	DC (mm)	IAF	MS (g)	MF (g)
2016/2017						
Fonte de N						
Ureia	251,79 <sup>n.s.</sup>	132,40 <sup>n.s.</sup>	24,6 <sup>n.s.</sup>	6,36 <sup>n.s.</sup>	312,97*	9,87 <sup>n.s.</sup>
Sulfato Amônio	251,90	132,61	24,7	6,28	279,20	9,89
D.M.S. (5%)	2,40	1,91	0,62	0,24	28,20	0,63
Épocas de aplicação						
V <sub>4</sub>	251,67 <sup>n.s.</sup>	132,43 <sup>n.s.</sup>	24,4 <sup>n.s.</sup>	6,37 <sup>n.s.</sup>	388,44*	9,89 <sup>n.s.</sup>
V <sub>8</sub>	252,03	132,58	24,9	6,26	203,73	9,87
D.M.S. (5%)	2,40	1,91	0,62	0,24	28,20	0,63
Doses de N						
0	248,22*	130,58 <sup>n.s.</sup>	24,5 <sup>n.s.</sup>	6,17 <sup>n.s.</sup>	299,02 <sup>n.s.</sup>	9,70 <sup>n.s.</sup>
45	254,42	134,44	25,1	6,42	267,25	9,99
90	252,00	132,25	24,6	6,51	309,15	9,64
135	252,17	131,58	24,7	6,19	284,81	10,32
180	252,42	133,67	24,3	6,30	320,20	9,76
CV (%)	1,82	2,76	4,79	7,33	18,22	12,23



2017/2018

2017/2018						
Fonte de N						
Ureia	212,38 <sup>n.s.</sup>	112,73 <sup>n.s.</sup>	18,21 <sup>n.s.</sup>	4,94 <sup>n.s.</sup>	251,97 <sup>n.s.</sup>	7,72 <sup>n.s.</sup>
Sulfato Amônio	213,65	113,74	18,12	5,06	252,09	7,97
D.M.S. (5%)	3,27	2,55	0,39	0,26	22,91	0,51
Épocas de aplicação						
V4	217,52 <sup>*</sup>	116,53 <sup>*</sup>	18,87 <sup>*</sup>	5,40 <sup>*</sup>	300,33 <sup>*</sup>	8,58 <sup>*</sup>
V8	208,51	109,93	17,46	4,59	203,73	7,11
D.M.S. (5%)	3,27	2,55	0,39	0,26	23,90	0,51
Doses de N						
0	211,58 <sup>n.s.</sup>	111,23 <sup>n.s.</sup>	17,72 <sup>n.s.</sup>	4,54 <sup>*</sup>	238,25 <sup>n.s.</sup>	6,88 <sup>*</sup>
45	211,87	112,28	18,01	4,98	255,39	7,65
90	211,67	113,93	18,19	4,98	263,81	8,16
135	216,21	115,18	18,26	5,18	246,50	8,43
180	213,73	113,53	18,62	5,30	256,20	8,10
CV (%)	2,94	4,31	4,07	9,95	18,15	12,45

\*Significativo ( $p < 0,05$ ); n.s. – não-significativo ( $p > 0,05$ ), pelo teste F.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

No ano de 2017/2018 as fontes de N não influenciaram no crescimento vegetativo do milho cultivado no Bioma Amazônia (Tabela 2). Enquanto, o fator época de aplicação de N apresentou melhores resultados com a aplicação de N no estágio fenológico V<sub>4</sub>, proporcionando valores de 217,52 cm (altura de planta), 116,53 cm (altura de espiga), 18,87 mm (diâmetro do colmo), 5,40 (índice de área foliar), 300,33 g (massa seca total) e de 8,58 g (massa seca da folha índice).

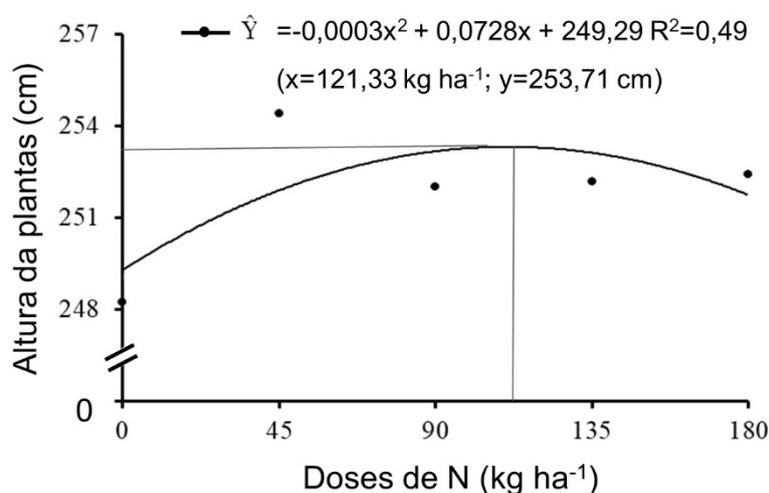
A aplicação do N no estágio V<sub>4</sub> no ano agrícola 2016/2017 ocorreu em solo seco e não ocorreu chuvas nos quatro dias posteriores, enquanto no estágio V<sub>8</sub> ocorreu precipitação acumulada superior à 46 mm nos quatro dias após a aplicação das fontes de N, o que pode ter promovido a perda de N tanto por lixiviação como erosão laminar, uma vez que os solos Argissolos apresentam mudanças de texturas abruptas nas camadas do perfil do solo que favorecem a ocorrência de erosão laminar.

Gott et al. <sup>(17)</sup>, estudando adubação nitrogenada no milho, observaram que a aplicação no estágio fenológico V<sub>4</sub> promoveu melhor aproveitamento do nutriente, devido nesse período iniciar o crescimento mais rápido da planta, o que aumenta a exigência por N <sup>(26)</sup>, justificado pela participação do N na composição da clorofila, aminoácidos e proteínas <sup>(28)</sup>.

Para altura de planta foi observado resultado significativo com a aplicação de doses de N no ano agrícola 2016/2017, independentemente da fonte e época de aplicação,

apresentando melhor ajuste para a equação quadrática ( $\hat{Y} = -0,0003X^2 + 0,0728X + 249,29$ ), atingindo 253,71 cm de altura com a dose de máxima eficiência técnica correspondente à aplicação de 121,33 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 2). O aumento da AP pode ser explicado pelo fato do N participar da estrutura e ser depositada nos tecidos da planta, influenciando diretamente a divisão celular <sup>(29)</sup>.

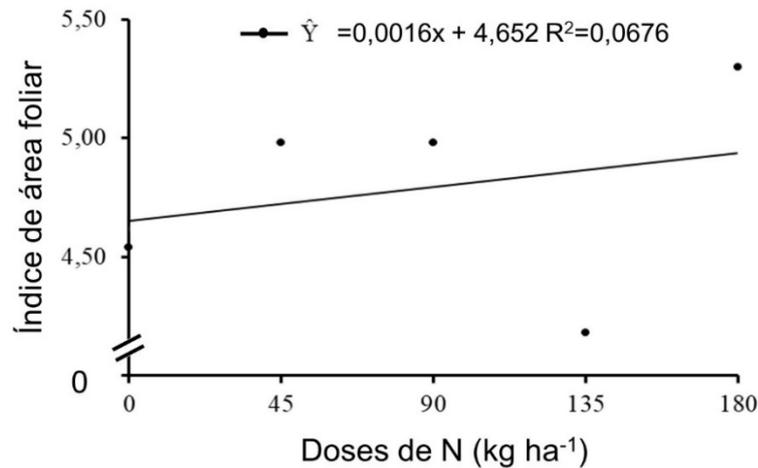
**Figura 2 – Altura de planta do milho em função das doses de N no ano 2016/2017. Média de duas fontes de N e épocas de aplicação.**



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O incremento nas doses de N no ano de 2017/2018 proporcionou aumento no crescimento foliar das plantas, com ajuste para a equação linear positivo (Figura 3). De acordo com Sangoi et al. <sup>(30)</sup> o N estimula a regeneração das folhas de possíveis danos, retardando a senescência das folhas, o que possibilita uma área fotossintética ativa por maior período <sup>(31)</sup> e conseqüentemente, o aumento do IAF promove melhorias na produção de assimilados por meio da fotossíntese <sup>(32)</sup>, proporcionando maior absorção de CO<sub>2</sub> para a redução e assimilação do nitrato <sup>(33)</sup>.

**Figura 3 – Índice de área foliar (IAF) no milho em função das doses de nitrogênio no ano agrícola 2017/2018. Média de duas fontes de N e épocas de aplicação.**

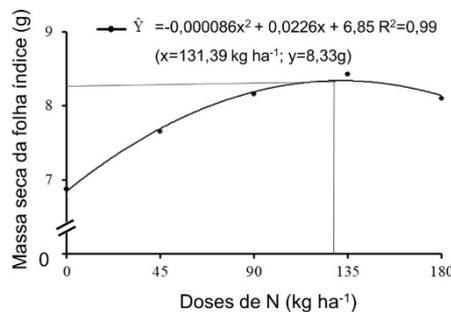


Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A massa da folha índice, no ano de 2017/2018, apresentou ajuste quadrático ( $\hat{Y} = -0,000086x^2 + 0,0226x + 6,85$ ) com a máxima eficiência técnica na dose de 131,39 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 4), relacionando com o incremento observado para o IAF. A expansão celular resultantes das doses crescentes de N promoveu desenvolvimento vegetativo da planta <sup>(34, 6)</sup>.

Figura 4 – Massa da folha índice no milho em função das doses de nitrogênio no ano agrícola 2017/2018. Média de duas fontes de N e épocas de aplicação.

**Figura 4 – Massa da folha índice no milho em função das doses de nitrogênio no ano agrícola 2017/2018. Média de duas fontes de N e épocas de aplicação.**



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).



A variação dos resultados obtidos entre os anos agrícolas pode estar relacionada as diferenças pontuais na distribuição do regime hídrico ao longo do período de desenvolvimento da cultura, a precipitação total ocorrida no ano de 2016/2017 foi de 977,2 mm em comparação ao ano de 2017/2018 que apresentou cerca de 1.210,55 mm.

### Considerações Finais

A adubação nitrogenada influencia positivamente, independentemente das fontes de N aplicadas, na altura de planta, índice de área foliar e massa seca da folha de milho cultivado na região de Parauapebas, Estado do Pará. A melhor época de aplicação do nitrogênio em cobertura corresponde ao estágio fenológico V<sub>4</sub> do milho, conforme o teor de matéria seca no ano agrícola 2016/2017 e os maiores índices para altura de planta e de espiga, diâmetro do colmo, índice de área foliar, massa seca da planta e massa da folha índice no ano agrícola 2017/2018.

Nas condições edafoclimáticas do Bioma Amazônia, independente da fonte ureia ou sulfato de amônia, a dose de nitrogênio recomendada é de 121 à 131 kg ha<sup>-1</sup> de N e a época de aplicação do nutriente corresponde ao estágio fenológico V<sub>4</sub> para promover o maior crescimento vegetativo do milho.

### Referências

1. Lu J, Hu T, Zhang B, Wang L, Yang S, Fan J, Yan S, Zhang F. Nitrogen fertilizer management effects on soil nitrate leaching, grain yield and economic benefit of summer maize in Northwest China. *Agricultural Water Management*. 2021;247:106739. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106739>
2. Martínez-Dalmau J, Berbel J, Ordóñez-Fernández R. Nitrogen fertilization. A review of the risks associated with the inefficiency of its use and policy responses. *Sustainability*. 2021; 13: 5625. doi: <https://doi.org/10.3390/su13105625>
3. Qin W, Hu C, Oenema O. Soil mulching significantly enhances yields and water and nitrogen use efficiencies of maize and wheat: a meta-analysis. *Scientific Reports*. 2015; 5: 1-13. doi: <https://doi.org/10.1038/srep16210>
4. Spera SA, Cohn AS, Vanwey LK, Mustard JF, Rudorff BF, Risso J, Adami M. Recent cropping frequency, expansion, and abandonment in Mato Grosso, Brazil had selective land characteristics. *Environmental Research Letters*. 2014; 9: 064010.



doi: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/6/064010>

5. Jankowski K, Neill C, Davidson EA, Macedo MN, Costa Junior C, Galford GL, Santos LM, Lefebvre P, Nunes D, Cerri CEP, McHorney R, O'Connell C, Coe MT. Deep soils modify environmental consequences of increased nitrogen fertilizer use in intensifying Amazon agriculture. *Scientific Reports*. 2018; 8: 13478.

doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31175-1>

6. Okumura RS, Mota FFA, Ferraz YT, Mariano DC, Oliveira Neto CF, Viegas IJM, Vieira ALM, Brito AEA, Franco AAN, Pedroso AJS. Corn hybrids response to nitrogen rates at multiple locations in Brazilian Amazon. *Journal of Agricultural Science*. 2018; 10: 233-242.

doi: <https://doi.org/10.5539/jas.v10n12p233>

7. Pires MV, Cunha DA, Carlos SM, Costa MH. Nitrogen-use efficiency, nitrous oxide emissions, and cereal production in Brazil: Current trends and forecasts. *PLoS One*. 2015; 10: e0135234. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135234>

8. Ferreira Filho DF, Pessoa FCL. Identification of homogeneous regions based on rainfall in the Amazon River basin. *International Journal of Climatology*. 2022; 42: 6092-6108.

doi: <https://doi.org/10.1002/joc.7579>

9. Souza ES, Fernandes AR, Braz MAS, Oliveira FJ, Alleoni LRF, Campos MCC. Physical, chemical, and mineralogical attributes of a representative group of soils from the eastern Amazon region in Brazil. *Soil*. 2018; 4: 195-212. doi: <http://dx.doi.org/10.5194/soil-4-195-2018>

10. Veloso CAC, Oeiras AHL, Carvalho EJM, Souza FRS. Response of pineapple to nitrogen, potassium and limestone in a Yellow Latosol in Brazil. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 2001; 23: 396-402. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452001000200040>

11. Lucas FT, Borges BMMN, Coutinho ELM. Nitrogen fertilizer management for maize production under Tropical climate. *Agronomy Journal*. 2019; 111: 2031-2037.

doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2018.10.0665>

12. Kaneko FH, Arf O, Sabundjian MT, Ferreira JP, Gitti DC, Leal AJF, Nascimento V. Fontes e modos de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em sistema de plantio direto. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*. 2015; 9: 191-196.

doi: <https://doi.org/10.18011/bioeng2015v9n2p191-196>

13. Zhang W, Liang Z, He X, Wang X, Shi X, Zou C, Chen X. The effects of controlled release urea on maize productivity and reactive nitrogen losses: A meta-analysis. *Environmental Pollution*. 2019; 246: 559-565.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.12.059>

14. Szymanska M, Sosulski T, Szara E, Was A, Sulewski P, Pruisen GWP, Cornelissen RL. Ammonium sulphate from a bio-refinery system as a fertilizer – Agronomic and economic effectiveness on the farm scale. *Energies*. 2019; 12: 4721. doi: <https://doi.org/10.3390/en12244721>



15. Allende-Montalbán R, Martín-Lammerding D, Delgado MM, Porcel MA, Gabriel JL. Nitrate leaching in maize (*Zea mays* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) irrigated cropping systems under nitrification inhibitor and/or intercropping effects. *Agriculture*. 2022; 12: 1-18. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture12040478>
16. Okumura RS, Mariano DC, Zaccheo PVC. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. *Applied Research & Agrotechnology*. 2011; 4: 226-244. doi: <https://doi.org/10.5777/PAeT.V4.N2.13>
17. Gott RM, Sichoeki D, Aquino LA, Xavier FO, Santos LPD, Aquino RFBA. Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio no milho safrinha. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. 2014; 13: 24-34. doi: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v13n1p24-34>
18. Demari GH, Carvalho IR, Szareski VJ, Follmann DN, Souza VQ, Basso CJ. Fontes e parcelamento do nitrogênio em híbridos de milho geneticamente modificados. *Revista de Ciências Agroveterinárias*. 2018; 17: 325-335. doi: <https://doi.org/10.5965/223811711732018325>
19. Bastos EA, Cardoso JM, Melo FB, Ribeiro VQ, Andrade Júnior AS. Doses e formas de parcelamento de nitrogênio para a produção de milho sob plantio direto. *Rev Ciênc Agron*. 2008;39:275-280.
20. Embrapa. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5.ed. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2018.
21. Brasil EC, Cravo MS, Viégas IJM. Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará. 2.ed. Brasília: Embrapa. 2020.
22. Ritchie SW, Hanway JJ, Benson GO. How a corn plant develops. Ames: Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. 1993.
23. Souza LC, Monteiro GGTN, Marinho RKM, Souza EFL, Oliveira SCF, Ferreira ACS, Oliveira Neto CF, Okumura RS, Silva GP. Growth and physiology of maize plants subjected to water deficit and to different brassinosteroid and Azospirillum concentrations. *Australian Journal of Crop Science*. 2022;16:357-364. doi: <https://doi.org/10.21475/ajcs.22.16.03.p3381>
24. Palheta JG, Okumura RS, Albuquerque GDP, Sousa DJP, Teixeira JSS, Neves MG, Lopes Filho WRL, Souza LC, Oliveira Neto CF. Sources and doses of nitrogen associated with inoculation with *Azospirillum brasilense* modulate growth and gas exchange of corn in the Brazilian Amazon. *International Journal of Agriculture And Biology*. 2021;26:349-358. doi: <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.1843>
25. Ferreira DF. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*. 2019;37:529-535. doi: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>
26. Fornasieri Filho D. Manual da cultura do milho. Jaboticabal: FUNEP, 2007.



27. Penariol FG, Fornasieri Filho D, Coicev L, Bordin L, Farinelli R. Comportamento de cultivares de milho semeadas em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. 2003;2:52-60. doi: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v2n02p%25p>
28. Baslam M, Mitsui T, Sueyoshi K, Ohyama T. Recent advances in carbon and nitrogen metabolism in C3 plants. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020;22:318. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms22010318>
29. Luo L, Zhang Y, Xu G. How does nitrogen shape plant architecture. *Journal of Experimental Botany*. 2020;71:4415-4427. doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa187>
30. Sangoi L, Picoli Junior GJ, Vargas VP, Vieira J, Schmitt A, Zoldan SR, Siega E, Carniel G. Cobertura nitrogenada como estratégia para reduzir os prejuízos da desfolha em diferentes estádios fenológicos do milho. *Semina: Ciências Agrárias*. 2014;35:671-682. doi: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n2p671>
31. Fu W, Wang Y, Ye Y, Zhen S, Zhou B, Wang Y, Hu Y, Zhao Y, Huang Y. Grain yields and nitrogen use efficiencies in different types of stay-green maize in response to nitrogen fertilizer. *Plants*. 2020;9:474. doi: <https://doi.org/10.3390/plants9040474>
32. Mu X, Chen Y. The physiological response of photosynthesis to nitrogen deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021;158:76-82. doi: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.019>
33. Silva SM, Oliveira LJ, Faria FP, Reis EF, Carneiro MAC, Silva SM. Atividade da enzima nitrato redutase em milho cultivado sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e potássica. *Ciência Rural*. 2011;41:1931-1937. doi: <https://doi.org/10.1590/S010384782011005000136>
34. Ochieng IO, Gitari HI, Mochoge B, Rezaei-Chiyaneh E, Gweyi-Onyango JP. Optimizing maize yield, nitrogen efficacy and grain protein content under different N forms and rates. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2021;21:1867-1880. doi: <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00486-0>



10.31072/rcf.v15i2.1406

Este é um trabalho de acesso aberto e distribuído sob os Termos da *Creative Commons Attribution License*. A licença permite o uso, a distribuição e a reprodução irrestrita, em qualquer meio, desde que creditado as fontes originais.



Open Access