



OTÁVIO SALES DA SILVEIRA

**DIFERENTES FONTES DE NITROGÊNIO E TECNOLOGIAS
QUE EVITAM PERDAS DE VOLATILIZAÇÃO NA CULTURA
DO MILHO.**

LAVRAS – MG

2024

OTÁVIO SALES DA SILVEIRA

**DIFERENTES FONTES DE NITROGENIO E TECNOLOGIAS QUE EVITAM
PERDAS DE VOLATILIZAÇÃO NA CULTURA DO MILHO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Agronomia, para a
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi Orientador

Msc. Pablo Sousa Arantes Coorientador

LAVRAS-MG

2024

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me guiar e iluminar meu caminho.

Agradeço aos meus pais Conceição e Silvano por não medirem esforços para me proporcionar as melhores condições para estudar.

Agradeço as minhas irmãs Alessa e Laura, por todo apoio.

Ao Prof. Dr. Adriano Bruzi, pelos anos de convívio, amizade, preocupação, paciência, ensinamentos e pela oportunidade de trabalhar.

Agradeço ao meu coorientador Pablo Arantes, por todo seu auxílio, paciência, contribuição, ensinamentos durante esse trabalho e convivência no grupo Pesquisa Soja.

Aos colegas e amigos do grupo Pesquisa Soja, pelos ensinamentos e pela oportunidade de trabalhar com pessoas tão dedicadas.

Aos meus amigos de Lavras, agradeço pelo apoio e companheirismo diários, além da parceria, especialmente aos amigos do Necant.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes mais exigidos pela cultura do milho, sendo assim um elemento fundamental na produtividade dessa cultura. Atualmente a fonte de nitrogênio mais utilizada é a ureia, devido à alta concentração N por unidade de massa, perfazendo assim um menor custo benefício. Porém apresenta como desvantagem alta perda de N através volatilização, quando aplicada em condições inadequadas. Logo, objetivou-se avaliar o emprego de diferentes fontes, e tecnologias, que evitam a perda por volatilização de N, na cultura do milho. Os experimentos foram conduzidos no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia da Universidade Federal de Lavras – Fazenda Palmital, no município de Ijaci-MG, (21°09' S, 44°54' O) e altitude de 920 m, nas safras 2022/23 e 2023/24, com cinco tratamentos sendo duas fontes de nitrogênio, ureia e nitrato de amônio, e duas tecnologias na ureia, SuperN Pro (Duromide + N-(n-butil) tiofosfórico triamida) e NBPT(N-(n-butil) tiofosfórico triamida), e um tratamento controle sem aplicação de N (testemunha). Utilizou-se o híbrido comercial P3808 VYHR, no delineamento de blocos completos casualizados, com cinco repetições. Foram avaliados os caracteres, produtividade (kg/ha^{-1}), altura da planta (cm), inserção de espiga (cm), número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, comprimento de espiga (cm). Os dados foram submetidos análise de variância utilizando a linguagem de programação R. A maior produtividade ($12746,18 \text{ kg/ha}^{-1}$) foi obtida com nitrato de amônio e a menor com ureia convencional ($11279,67 \text{ kg ha}^{-1}$) entre os tratamentos com adubação nitrogenada. A eficiência do uso agrônômico de N (EUAN) foi maior para o nitrato de amônio ($41,64 \text{ kg/kg,ha}^{-1} \text{ N}$) e menor com a utilização de ureia convencional ($31,86 \text{ kg/kg,ha}^{-1} \text{ N}$) e para os tratamentos de ureia com tecnologia que limitam a volatilização, SuperN Pro apresentou $36,86 \text{ kg/kg,ha}^{-1} \text{ N}$ e NBPT obteve $33,13 \text{ kg/kg,ha}^{-1} \text{ N}$. Para altura de planta, inserção de espiga e número de grãos por fileira não ocorreu diferença entre os tratamento com N, porém uma variação significativa dos mesmo tratamento entre os anos. Sendo assim, o estudo evidencia mostra que existe uma diferença de produtividade de acordo com a fonte de N e a tecnologia empregada para evitar a volatilização, além da diferença EUAN, no entanto deve-se avaliar o sistema de produção adotado e análise econômica do custo de kg de N para cada safra.

Palavras-chaves: *Zea mays*; produtividade de grãos; nutrição; sistema de produção; eficiência agrônômica.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	6
2. REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1 Cultura do milho	8
2.2. Demanda de nitrogênio na cultura do milho.....	10
2.3 Fertilizantes Nitrogenados	11
3. METODOLOGIA	13
3.1. Experimento	13
3.2. Condução do experimento.....	14
3.3. Variáveis analisadas	15
3.4. Análise dos dados.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5. CONCLUSÃO	28

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é a segunda cultura de maior importância econômica na produção de grãos no Brasil. A produção de milho no Brasil é caracterizada pela semeadura em duas épocas: primeira safra (safra de verão) sendo a semeadura realizada no início do período chuvoso, e segunda safra (safrinha) semeada geralmente entre janeiro e março (Da Silva *et al.*, 2023).

O crescimento e desenvolvimento da cultura são condicionados a diversos fatores como disponibilidade hídrica, radiação solar, temperatura e nutrição (Galvão *et al.*, 2017). Dentre os nutrientes o nitrogênio (N) é o nutriente exigido em maior quantidade, cerca de cerca de 20 kg.ha⁻¹ de N para cada tonelada de grãos produzida, limitando frequentemente o rendimento quando as demandas não são atendidas, pois exerce importante função nos processos fisiológicos e reações bioquímicas da planta (Fancelli *et al.*, 2000; Sousa & Lobato, 2004 *et al.*, Machado *et al.*, 2018).

A resposta do milho à adubação nitrogenada dependem da disponibilidade de N e de sua absorção pela cultura (Raza *et al.*, 2022). Este aproveitamento é relativo, aos processos de volatilização, lixiviação e desnitrificação sendo assim um nutriente muito suscetível a perdas (Rodrigues *et al.*, 2018). Essas por sua vez variam de acordo com diversos fatores, como atividade microbiana, precipitação, temperatura e características do solo (textura, pH, matéria orgânica e condutividade elétrica) (Nair *et al.*, 2021).

Pode-se destacar também as perdas variam de acordo com fonte de N que é utilizada. A ureia é o fertilizante mais utilizado já que apresenta um bom custo-benefício, destacando-se pela alta concentração de N (45 a 46%) e solubilidade. Porém apresenta as maiores perdas por volatilização, pois é muito susceptível a este problema. O nitrato de amônio é outra fonte bastante utilizada na agricultura. Possui cerca de 33% de nitrogênio, é uma fonte nitrogenada com alta eficiência agrônômica, exceto em condições de solo que propiciam a lixiviação, como em solos arenosos por exemplo (Souza *et al.*, 2017).

Devido a sua dinâmica o N está sujeito a diversas perdas no ambiente. Como comentado perdido por lixiviação na forma de nitrato (NO₃), por volatilização na forma de amônia (NH₃) e por desnitrificação causado por microrganismos que levam a perdas de N na forma de NO, N₂O e N₂ (Carvalho *et al.*, 2013). Portanto, estima-se que o aproveitamento do fertilizante nitrogenado aplicado não supera 50% (Ladha *et al.*, 2005).

Na busca de aumentar a eficiência da adubação nitrogenada e reduzir as perdas de N. os fertilizantes estabilizados e de liberação lenta ou controlada possuem agentes químico

biológicos ou físicos, que resultam em melhor aproveitamento efetivo do nutriente aplicado, garantindo uma melhor nutrição para as plantas e otimização do uso de fertilizantes (Guelfi *et al.*, 2017).

Os fertilizantes estabilizados são os que diminuem a taxa de nitrificação por reduzir a atividade de bactérias do grupo *Nitrossomonas*, impedindo a transformação de amônia em nitrito (NO_2^-), preservando o N na forma amoniacal que é menos susceptível a perdas por lixiviação (Cantarella *et al.*, 2007). Dentre os inibidores da nitrificação, destacam-se o Nitrapyrin, dicianodiamida (DCD), fosfato de 3,4-dimetilpirazole (DMPP), Triazol, 3-MP- e 2-amino-4-chloro-6-methyl-pyrimidine (Trenkel *et al.*, 2010).

Outro grupo de fertilizantes estabilizados são os que reduzem a atividade da enzima urease. A função da urease é catalisar a reação de hidrólise da ureia. A enzima presente no solo é advinda de restos de vegetais e células microbianas (Cantarella *et al.*, 2008; Krajewska *et al.*, 2009). Um agente inibidor da atividade da urease é o NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida, podendo reduzir a volatilização do nitrogênio em até 88 % (Scivittaro *et al.*, 2010). Diante o exposto, objetivou-se avaliar o emprego de diferentes fontes e tecnologias de fertilizantes nitrogenados que evitam as perdas por volatilização na cultura do milho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura do milho

O milho é uma monocotiledônea, gramínea que pertence à família *Poacea*, gênero *Zea* e espécie *Zea mays*, seu ciclo é variável entre 110 e 160 dias, em função da caracterização dos genótipos em superprecoce, precoce e tardio, sendo o ciclo compreendido como período entre a semeadura e o ponto de maturidade fisiológica (Fancelli *et al.*, 2015).

A planta de milho possui raízes fasciculadas na qual estão presentes raízes primárias e seminiais, adventícias e de suporte. As folhas são longas e lanceoladas, com nervura central em forma de canaleta, as folhas são invaginantes e inserem-se por nós do colmo, apresentando pilosidades. O colmo suporta as folhas e partes florais, além de servir como órgão de reserva. É uma planta monoica, no qual a estrutura masculina é o pendão e a espiga, a feminina. O florescimento é variável entre os genótipos, ocorrendo aproximadamente de 50 a 100 dias após semeadura e é afetado principalmente pela temperatura (Borém *et al.*, 2017).

Além da tecnologia aplicada, diversos outros fatores são preponderantes para a produção, como a época de plantio e as condições climáticas (Borém *et al.*, 2017). Condições ambientais desfavoráveis podem afetar a lavoura, em diferentes graus de intensidade, dependendo da duração, intensidade e fase fenológica, sendo as os períodos de germinação, florescimento e enchimento de grãos os mais sensíveis (Limeira *et al.*, 2023).

Dentre as condições ambientais, disponibilidade hídrica é fundamental para o correto crescimento e desenvolvimento, podendo variar entre 400 a 600 mm durante o ciclo da cultura (Ribeiro *et al.*, 2020). As maiores exigências em água são nas fases de germinação-emergência e durante o florescimento-enchimento de grãos (Magalhães *et al.*, 2020).

Os principais efeitos do estresse hídrico são a redução da altura das plantas, menor número de folhas, redução da área foliar, enrolamento foliar, perda da coloração verde das folhas (por causa da remobilização de nitrogênio) e maior taxa da raiz/parte aérea (Limeira *et al.*, 2023).

A radiação solar é outro fator limitante da cultura do milho, sendo uma das espécies com maior eficiência fotossintética, devido ao mecanismo C4 (Ribeiro *et al.*, 2020), porém essa eficiência depende de alguns fatores como arranjo e arquitetura de plantas. A redução de 30-40% da intensidade luminosa ocasiona, atraso na maturação dos grãos, principalmente em materiais genéticos de ciclos tardios que se mostram mais sensíveis à deficiência de luz (Fancelli *et al.*, 2013).

A maior sensibilidade à variação de luminosidade é verificada entre os períodos de 12^a a 14^a folha expandidas até a fase de grãos leitosos. Nesse período, a redução da

disponibilidade de radiação luminosa ocasiona a diminuição do número e densidade dos grãos (Fancelli *et al.*, 2013).

A temperatura é outro fator considerado essencial para o desenvolvimento da cultura do milho, onde em regiões cujas temperaturas diárias inferiores a 19°C, e noites com médias abaixo de 12,8°C são limitantes para a produtividade. Durante o período vegetativo, a temperatura do ar deve oscilar entre 25°C e 30°C (Fancelli *et al.*, 2015). Do mesmo modo, temperaturas acima de 32°C reduzem, sensivelmente, a germinação e a viabilidade do grão de pólen (Limeira *et al.*, 2023).

Através das exigências térmicas é possível determinar diferentes etapas de desenvolvimento da planta, a partir do somatório de unidades de calor ou graus-dia (GD) (Limeira *et al.*, 2023). O uso da soma de graus-dia, baseada no acúmulo energético de determinada temperatura-base, é de uso abrangente em modelos que descrevem o desenvolvimento fenológico e o crescimento do milho (Bergamaschi *et al.*, 2009). Segundo Villa Nova *et al.*, (1972), graus-dias é definido como a diferença entre a temperatura média diária e a temperatura mínima ou temperatura basal exigida pela espécie.

Sabe-se, porém, que a fenologia do milho é regulada basicamente pelo regime térmico (Bergamaschi *et al.*, 2014). O que mostra que não existe uma precisão quando levado em consideração os dias, gerando assim a necessidade da criação e utilização de escalas fenológicas para maior precisão ao determinar o estágio da planta (Ritchie *et al.*, 1995).

A criação de uma escala fenológica, facilita a comunicação entre os diferentes envolvidos na cadeia produtiva. A divisão com base em estádios vegetativos representados pela letra V dividido em VE, V1, V2... Vn e último, o VT (pendoamento) e estádios reprodutivos representados pela letra R, subdivididos em seis etapas, em razão do avanço na maturidade do grão, pela escala de Ritchie, Hanway e Benson (1993) na tabela 1.

Tabela 1. Estádios vegetativos e reprodutivos da planta de milho.

Estádios vegetativos	Estádios reprodutivos
VE – Emergência	R1 – Florescimento
V1 - Primeira folha desenvolvida	R2 - Grão leitoso
V2 - Segunda folha desenvolvida	R3 - Grão pastoso
V3 - Terceira folha desenvolvida	R4 - Grão farináceo
V4 - Quarta folha desenvolvida	R5 - Grão farináceo duro
V(n) - n a folha desenvolvida	R6 - Maturidade fisiológica
VT – Pendoamento	

Fonte: Adaptado de Ritchie, Hanway e Benson (2003).

2.2. Demanda de nitrogênio na cultura do milho.

Os numerosos fatores que afetam o crescimento e desenvolvimento da cultura durante o ciclo de crescimento, destaca-se a nutrição (Gutiérrez *et al.*, 2017). Mesmo em solos de com boa fertilidade, as adubações devem, ao menos, repor o que for exportado com a colheita dos grãos (Resesende *et al.*, 2016).

Existem 17 elementos considerados essenciais para o desenvolvimento vegetal. Pode-se começar pela necessidade de hidrogênio, carbono e oxigênio (H, C e O) que são incorporados aos tecidos vegetais a partir da absorção de água pelas raízes e da incorporação de carbono pela fotossíntese. Além desses três elementos, outros seis nitrogênio, fosforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio (N, P, K, S, Ca e Mg) chamados macronutrientes, são absorvidos em quantidades ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Os nutrientes exigidos em menores quantidades ($\text{mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) são: ferro, manganês, zinco, cobre, boro, molibdênio, cloro, cobalto e níquel (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl, Co e Ni), denominados micronutrientes (Vasconcellos; Pereira Filho; Cruz, *et al.*, 2002).

Segundo Coelho *et al.*, (2007) a maior exigência nutricional é em N, sendo também um dos nutrientes mais limitantes para a obtenção de altas produtividades de milho, uma vez que requer cerca de $20 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N para cada tonelada de grãos produzida (Fancelli, 2000; Sousa & Lobato, 2004). Essa alta demanda de nitrogênio está associado a processos fisiológicos da fotossíntese, respiração e absorção iônica e é constituinte de aminoácidos e proteínas (Galvão *et al.*, 2017).

Os sintomas de deficiência de nitrogênio começam com o amarelecimento/clorose em folhas mais velhas, progredindo para secamento dessas ao longo da nervura principal. A evolução desse sintoma se apresenta em forma típica de amarelecimento em “V”. A planta apresenta baixo crescimento, com colmos mais finos, espigas pequenas e amarelecimento generalizado caso a deficiência seja severa (Galvão *et al.*, 2017).

As plantas absorvem predominantemente N na forma de amônio (NH_4^+) e o nitrato (NO_3^-) (Moreau *et al.*, 2019), mas também N orgânico na forma de peptídeos e aminoácidos pode ser absorvido (Ganeteg *et al.*, 2017). A absorção das diferentes formas de N é mediada por proteínas de transporte com diferentes especificidades (Van Raij *et al.*, 2022).

Contudo a adubação nitrogenada possui certo grau de complexidade, exigindo o entendimento das diversas interações e transformações que ocorrem no sistema, como a volatilização, lixiviação, mineralização, imobilização, nitrificação e desnitrificação, além da influência da estrutura do solo, temperatura, agregação e capacidade de troca de cátions (CTC) (Hartmann *et al.*, 2013).

As recomendações de adubação variam em função do tipo de cultivo, sequeiro ou irrigado, assim como a época de cultivo, primeira ou segunda safra. A produtividade esperada é um parâmetro importante para a determinação da quantidade de N a ser aplicada (Fancelli *et al.*, 2013). Fancelli e Tsumanuma (2007) indicaram que, para cada tonelada de grãos produzida, a extração é da ordem de 15 a 20 kg de N sendo que do total absorvido, cerca de 70 a 75 % é translocado para os grãos. Resultado semelhante encontrado por Coelho *et al.*, (2007) em que a extração foi de 20 kg de N por tonelada de grão. Resende *et al.*, (2020) indicaram que para o milho plantado em segunda safra a extração é da ordem de 13,5 kg de N.

Porém existem outros critérios que devem ser levados em consideração para recomendação da melhor faixa de adubação, além da expectativa de produtividade, potencial de créditos de N no sistema, afetado principalmente pelo tipo de palhada e taxas de decomposição de resíduos e de mineralização da MOS; contribuição de cultivos antecessores principalmente de espécies leguminosas; eficiência dos fertilizante nitrogenados; déficits decorrentes de processos de imobilização de N e de perdas por volatilização e lixiviação; e influência de fatores climáticos (Resende *et al.*, 2020).

Para se atingir altos rendimentos é preciso buscar um equilíbrio nutricional e fornecimento de nutrientes, disponibilizando os nutrientes em quantidade e momento adequado. Coelho e França (2014), observaram que a extração de N, P, K, Ca e Mg aumentaram linearmente com o aumento na produção, e que a maior exigência do milho foi de N e K, seguindo-se do Ca, Mg e P.

Resende *et al.* (2020) observaram que a taxa de exportação dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg são da ordem de 13,5; 4,8; 3,7; 0,049 e 1,1 kg por hectare por tonelada de grão produzida. Resultados semelhantes foram encontrados por Menezes *et al.*, (2018) em que as taxas de exportação para a produção de uma tonelada de grãos foram respectivamente, a 14; 4; 4; 0,03 e 0,8 kg de N, P, K, Ca e Mg. As diferenças observadas se devem a respostas dos diferentes híbridos utilizados nos trabalhos, tipo de solo e influência do clima.

2.3 Fertilizantes Nitrogenados

Para suprir a demanda de N, é fundamental a utilização de fertilizantes sintéticos, devido aos solos não serem capazes de atender a demanda da cultura para o correto crescimento e desenvolvimento (Barberena *et al.*, 2019). No Brasil os fertilizantes nitrogenados mais utilizados são a ureia (44-46% de N), nitrato de amônio (33% N) e o sulfato de amônio (20% de N e 22% de S). (Cantarella *et al.*, 2007).

A ureia que é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil e no mundo, devido a suas vantagens como fácil disponibilidade de nitrogênio para absorção, e alta concentração de N (44 - 46% de N), e maior rendimento na aplicação pelo menor volume aplicado, proporcionando assim maior economia em relação às demais fontes (Cantarella *et al.*, 2018, Escola *et al.*, 2021).

Porém, a ureia apresenta um grande desafio que é a perda por volatilização. O processo de hidrólise, catalisada pela enzima urease, faz com que ocorra a elevação do pH próximo ao grânulo. A elevação do pH advém da formação de íons de bicarbonato (HCO_3^-) e hidroxila (OH^-) favorecendo a transformação de NH_4^+ em NH_3 que é um gás, sendo facilmente perdido para a atmosfera (Carvalho *et al.*, 2013; Vitti *et al.*, 2002).

Outra fonte de nitrogênio utilizada na agricultura brasileira é o Sulfato de Amônio, no qual apresenta em torno de 21% de N e 24% de enxofre, baixa hidrosopicidade, estabilidade química e boa granulometria. Uma desvantagem em sua utilização, é que possui reação no solo fortemente ácida, reduzindo significativamente o pH do meio. Outra desvantagem é sua baixa concentração de nitrogênio, fazendo com que o preço do nutriente fique mais elevado (Byrnes *et al.*, 2000).

O nitrato de amônio (NO_3^-) é outra fonte bastante utilizada na agricultura. Possui cerca de 33% de nitrogênio, é uma fonte nitrogenada com alta eficiência agrônômica, exceto em condições de solo que propiciam a lixiviação, como em solos arenosos por exemplo (Souza *et al.*, 2017).

Devido a sua dinâmica o N está sujeito a diversas perdas no ambiente, podendo ser perdido por lixiviação na forma de nitrato (NO_3^-), por volatilização na forma de amônia (NH_3) e por desnitrificação causado por microrganismos (Carvalho *et al.*, 2013). As perdas de N são influenciadas por diversos fatores pelas como textura do solo, pH, capacidade de troca de cátions (CTC), umidade, temperatura e níveis de atividade da urease no solo, umidade relativa do ar, pluviosidade (Coelho *et al.*, 2018; Sunderlage & Cook, 2018).

A fim de reduzir as perdas dos fertilizantes nitrogenados utilizados na agricultura, principalmente quando se utiliza ureia, os fertilizantes estabilizados e de liberação lenta ou controlada possuem agentes químicos, biológicos ou físicos, que resulta em melhor aproveitamento do nutriente aplicado (Guelfi *et al.*, 2017).

Fertilizantes estabilizados, mas comuns na cultura do milho, são aqueles que possuem algum tipo de aditivo, aumentando sua estabilização, impedindo a transformação do nitrogênio para alguma forma susceptível a perdas (Naz e Sulaiman *et al.*, 2016).

Um dos agentes utilizados no grupo de fertilizantes estabilizados é os que diminuem a atividade da urease, sendo o mais utilizado comercialmente o NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida), podendo reduzir a volatilização do nitrogênio em até 88 % (Scivittaro *et al.*, 2010). Quando aplicado ao solo, o NBPT se decompõe rapidamente em seu análogo de oxigênio, passando para a forma de NBPTO (N-(n-butil) fosfórico triamida), inativando a enzima urease pela substituição das moléculas de água por átomos de Níquel (Carvalho *et al.*, 2013; Cantarella *et al.*, 2008; Scivittaro *et al.*, 2010; Krajewska *et al.*, 2009; Tasca *et al.*, 2011; Rodrigues *et al.*, 2018).

Porém a eficiência do NBPT, em condições de temperaturas mais elevadas, alta umidade e a presença de palha no solo, podem acelerar a degradação desta molécula, diminuindo sua eficiência na redução de perdas por volatilização (Klimczyk & Schimmelpfennig *et al.*, 2021).

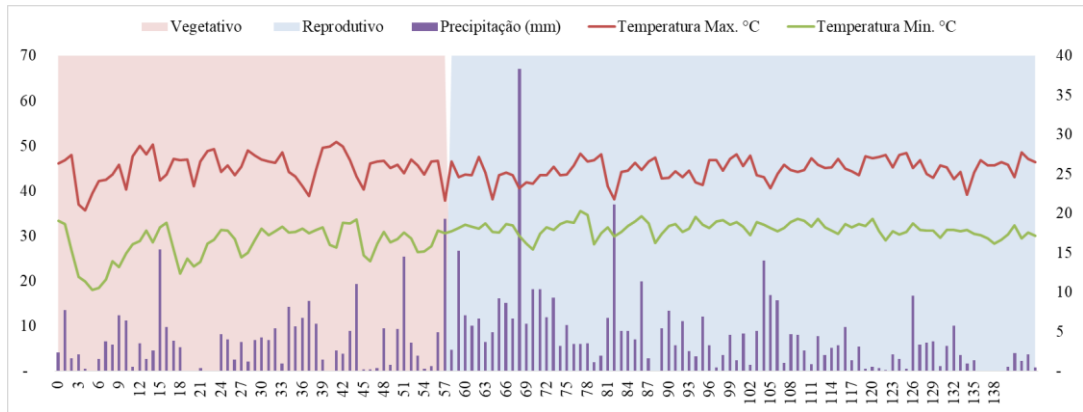
Devido aos possíveis problemas de degradação do NBPT, novas moléculas estabilizadoras para inibir a atividade da urease, propõem combinações de tecnologias de maior eficiência (Cassim *et al.*, 2021). Por exemplo, a tecnologia que combina duas moléculas Duromida + N-(n-butil) tiofosfórica triamida (NBPT), traz maior estabilidade de reduzindo as perdas por volatilização (Koch, 2020). Essa nova tecnologia reduziu as perdas de NH_3 em 33% em comparação NBPT convencional, e em 54% em relação a ureia convencional (Cassim *et al.*, 2021).

Essas tecnologias são empregadas principalmente em fontes como a ureia, devido a sua maior utilização por agricultores. Fontes de nitrogênio como sulfato de amônio e nitrato de amônio não estão sujeitas a perdas por volatilização de NH_3 . Além disso, o nitrato de amônio enfrenta restrições crescentes devido ao seu uso como material explosivo (Cantarella *et al.*, 2018).

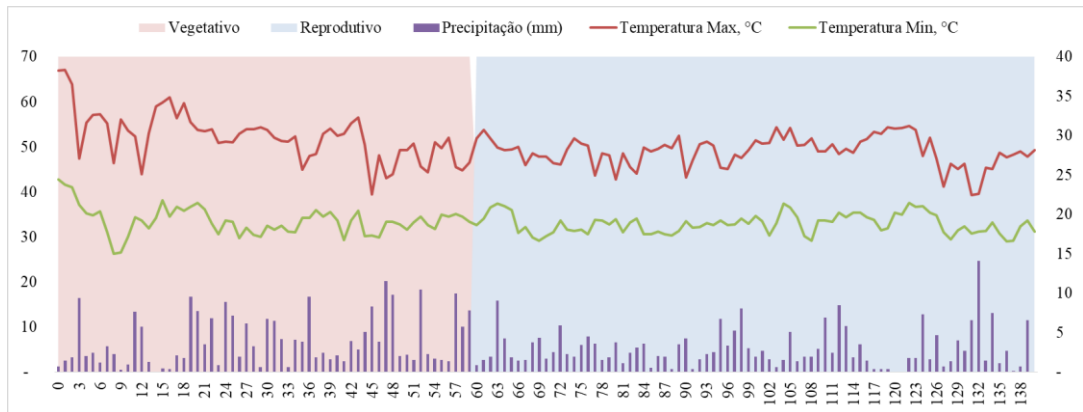
3. METODOLOGIA

3.1. Experimento

Os experimentos foram conduzidos no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia (CDTT) da Universidade Federal de Lavras, em Ijaci, Minas Gerais, nas safras 2022/2023 e 2023/2024, localizado a 837 metros de altitude ($21^\circ 9'51.94''\text{S}$, $44^\circ 55'6.17''\text{O}$). A região se enquadra na classificação climática *Cwa*, conforme Köppen (1948), sendo um clima com inverno seco e verão quente. Os dados meteorológicos do período são apresentados nas figuras 1 e 2.

Figura 1. Dados de precipitação e temperatura da safra 2022/23.

Fonte: Do autor (2024).

Figura 2. Dados de precipitação e temperatura da safra 2023/24.

Fonte: Do autor (2024).

3.2. Condução do experimento

O experimento foi conduzido sob o delineamento de blocos completos casualizados, sendo composto por cinco tratamentos com cinco repetições. Os tratamentos foram compostos com por nitrato de amônio (33% de N), ureia convencional (46% de N), ureia revestida com NBPT (46% de N) e ureia revestida com SuperN (46% de N) e uma testemunha sem aplicação de nitrogênio em cobertura. A dose utilizada foi de 150 Kg de nitrogênio por hectare em cobertura no estágio vegetativo V3. O híbrido utilizado foi P3808, com população de 70 mil plantas por hectare. Previamente, a semeadura, foi realizada análise de solo da área a fim de corrigir a fertilidade e calcular a adubação de base (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização química e textura do solo da área experimental na camada de 0-20 e 20 -40 cm, antes da aplicação dos tratamentos.

Safra 2022/2023												
	pH	K	P	Ca	Mg	Al	T	V	M.O	Argila	Silte	Areia
	--- mg/dm ³ ---			----- cmolc/dm ³ -----			%	dag/kg	----- % -----			
0-20 cm	6,4	121,8	26,08	4,43	1,16	0,1	7,5	78,7	2,54	46	9	45
20-40cm	5,9	46,12	2,45	3,02	0,81	0,1	5,95	66,4	1,52	55	6	39
Safra 2023/2024												
	pH	K	P	Ca	Mg	Al	T	V	M.O	Argila	Silte	Areia
	--- mg/dm ³ ---			----- cmolc/dm ³ -----			%	dag/kg	----- % -----			
0-20 cm	6,5	144,8	21,02	4,01	1,16	0,1	8,04	68,9	2,58	51	5	44
20-40 cm	6,7	64,39	3,34	2,84	1,1	0,1	6,61	62,1	1,89	52	7	41

pH em água, K (Potássio), P(Fósforo), Ca(Cálcio), Mg(Magnésio), Al(Alumínio), t(Capacidade de troca catiônica efetiva), T(Capacidade de troca catiônica potencial a pH 7,0), V (Índice de saturação de bases) e M.O (Matéria orgânica).

Fonte: Do autor (2024).

A semeadura foi realizada no dia 31 de outubro na safra 2022/23 e no dia 17 de novembro na safra 2023/24, de forma mecânica, com espaçamento de 60 cm. A adubação foi realizada no sulco 200 Kg/ha⁻¹ de MAP (fosfatado monoamônico, 11-52- 00) e 100 Kg/ha⁻¹ de Cloreto (KCl), em cobertura, 10 dias após a semeadura.

O controle de pragas na cultura foi realizado de acordo com a necessidade da mesma, utilizando-se inseticidas com ingrediente ativo Neonicotinóide, Piretróide e Clorpirifós. O controle de plantas daninhas em pós-emergência foi realizado utilizando-se glifosato na dosagem de 2,0 L/ha⁻¹. O controle de doenças foi realizado nos estádios V4, com aplicação Clorotalonil (3,0 L/ha⁻¹); Azoxistrobina + Ciproconazol(0,3 L/ha⁻¹) e Trifloxistrobina+ Tebuconazol (0,5 L/ha⁻¹), no estágio V8/V9 aplicando-se Clorotalonil (3,0 L/ha⁻¹) e Trifloxistrobina+ Tebuconazol (0,5 L/ha⁻¹).

3.3. Variáveis analisadas

Os seguintes caracteres foram avaliados durante a condução do experimento:

- i. Inserção da primeira espiga: medida em metros, desde a superfície do solo até o ponto de inserção da primeira espiga, em três plantas por parcela;
- ii. Altura de planta: medida em metros, desde a superfície do solo até o ponto de inserção da folha bandeira, em três plantas por parcela;
- iii. Da área útil de cada parcela, foi coletado 3 espigas aleatoriamente para mensuração de: comprimento de espiga (cm), número de fileiras por espiga e número de grãos por espiga;

iv. Produtividade: a determinação da produção de grãos por hectare foi realizada com colheita manual das espigas, debulhadas e os grãos pesados. Os dados de produtividade de grãos foram corrigidos para umidade de 13% e expressos em kg/ha⁻¹.

3.4. Análise dos dados

Para a análise dos dados, foi utilizado o ambiente R versão 4.1.3 (R Core Team, 2022). Foi realizada a análise individual dos experimentos, pelo modelo apresentado na equação 1, a fim de extrair o quadrado médio do resíduo para a realização do teste de homogeneidade de variâncias, F máximo (Hartley, 1950).

(1)

$$y_{ij} = \mu + \theta_i + \beta_j + e_{ij}$$

Em que:

y_{ik} : é a observação referente ao tratamento i no bloco j ;

μ : constante associada a todas as observações, assumido como fixo;

θ_i : efeito do tratamento i , assumido como fixo;

β_j : efeito do bloco j , assumido como fixo; e

e_{ik} : efeito do erro associado a observação do tratamento i no bloco j , $\epsilon_{ij} \sim N(0; \sigma^2)$.

Após a detecção da homogeneidade das variâncias residuais, foi realizado a análise conjunta, conforme o modelo da equação 2.

(2)

$$y_{ik} = \mu + \beta_k + \theta_i + X_j + (\theta X)_{ij} + e_{ijk}$$

Em que:

y_{ik} : variável resposta para o genótipo i no bloco k para o ano j ;

μ : constante associada a todas as observações, assumido como fixo;

β_k : efeito do bloco k , assumido como fixo;

θ_i : efeito do tratamento i , assumido como fixo;

X_j : efeito de safra j , assumido como fixo;

$(\theta X)_{ij}$: o efeito da interação entre θ_i e X_j , assumido como fixo; e

e_{ik} : efeito do erro associado a observação do tratamento i no bloco j , assumido como aleatório.

A precisão experimental foi aferida por meio da estimativa do coeficiente de variação (CV) apresentado na equação 3 (Resende; Duarte, 2007).

(3)

$$CV(\%) = \sigma/X * 100$$

Em que:

$CV(\%)$: é o coeficiente de variação expresso em porcentagem;

σ : é o desvio padrão do caráter;

\bar{X} : é a média da característica em análise.

Para avaliar a eficiência do uso agrônômico de N (Equação 4):

Dois índices de eficiência de uso de nitrogênio foram determinados, sendo estes o índice de eficiência agrônômica (EAN) e a produtividade parcial dos fatores (PPF) (Doberman, 2007), definidos pelas equações 4 e 5.

(4)

$$EAN = \frac{Yn - Yo}{N_{aplic.}}$$

Em que:

Yn : produtividade em kg/ha no tratamento com N;

Yo : produtividade em kg/ha do tratamento controle; e

$N_{aplic.}$: quantidade de N aplicado em kg/ha^{-1} .

Para avaliar a produtividade parcial dos fatores (Equação 5):

(5)

$$PPF = \frac{Yn}{N_{aplic.}}$$

Em que:

Yn : produtividade em kg/ha no tratamento com N; e

$N_{aplic.}$: quantidade de N aplicado em kg/ha^{-1} .

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O nitrogênio é um dos nutrientes mais desafiadores para se gerenciar no sistema de produção, devido a sua dinâmica no ambiente (Zucareli *et al.*, 2019). Assim a utilização de maneira rentável e eficiente de N requer o desenvolvimento de estratégias de manejo que sejam agronomicamente sólidas, ambientalmente apropriadas e economicamente viáveis (Valterrama *et al.*, 2014).

Nas Tabelas 3 e 4 são apresentadas as análises de variâncias individuais das safras. Verifica-se que apenas para o variável número de fileiras por espiga, em ambos os anos, não ha efeito significativo. Para as demais variáveis estudadas foram influenciadas por tratamentos utilizados.

Tabela 3. Resumo da análise de variância individual para inserção de espiga (INSE), altura de planta (ALT), número de fileiras na espiga (NF), número de grãos por fileira na espiga (NG), comprimento de espiga (CE) e produtividade (PROD) na safra 2022/23.

Safra 2022/2023						
FV	QM					
	INSE	ALT	NF	NG	CE	PROD
Bloco	17.34 ^{ns}	37.23 ^{ns}	0.95 ^{ns}	8.63 ^{ns}	0.56 ^{ns}	6840170 ^{ns}
Tratamento	676.75*	2715.45*	0.81 ^{ns}	24.04*	9.56*	36952938*

Safra 2023/2024						
FV	QM					
	INSE	ALT	NF	NG	CE	PROD
Bloco	10.55 ^{ns}	22.58 ^{ns}	0.56 ^{ns}	3.41 ^{ns}	0.38 ^{ns}	1025659 ^{ns}
Tratamento	279.39*	571.33*	0.65 ^{ns}	15.63*	5.78*	25448456*

*Significativo, ^{ns} não significativo pelo teste *F* ao nível de 0,05 de significância, CV coeficiente de variação,

Fonte: Do autor (2024).

Sendo atendidos os pressupostos, de normalidade e variâncias homogêneas, procedeu-se a análise de variância conjunta. Considerando a análise conjunta dos dois anos, a precisão experimental foi aferida pelo coeficiente de variação experimental. Considerando estes parâmetros, pode-se inferir que a precisão experimental para os caracteres estudados foi de alta precisão (Pimentel *et al.*, 2009). Observou-se diferença significativa para as fontes de variação, tratamento e ambientes, e para a interação T x A, para o caráter altura de planta, inserção de espiga, número de grãos por fileira, comprimento de espiga.

Tabela 4. Resumo da análise de variância conjunta para inserção de espiga (INSE), altura de planta (ALT), número de fileiras na espiga (NF), número de grãos por fileira na espiga (NG), comprimento de espiga (CE) e produtividade (PROD) na safra 2022/23.

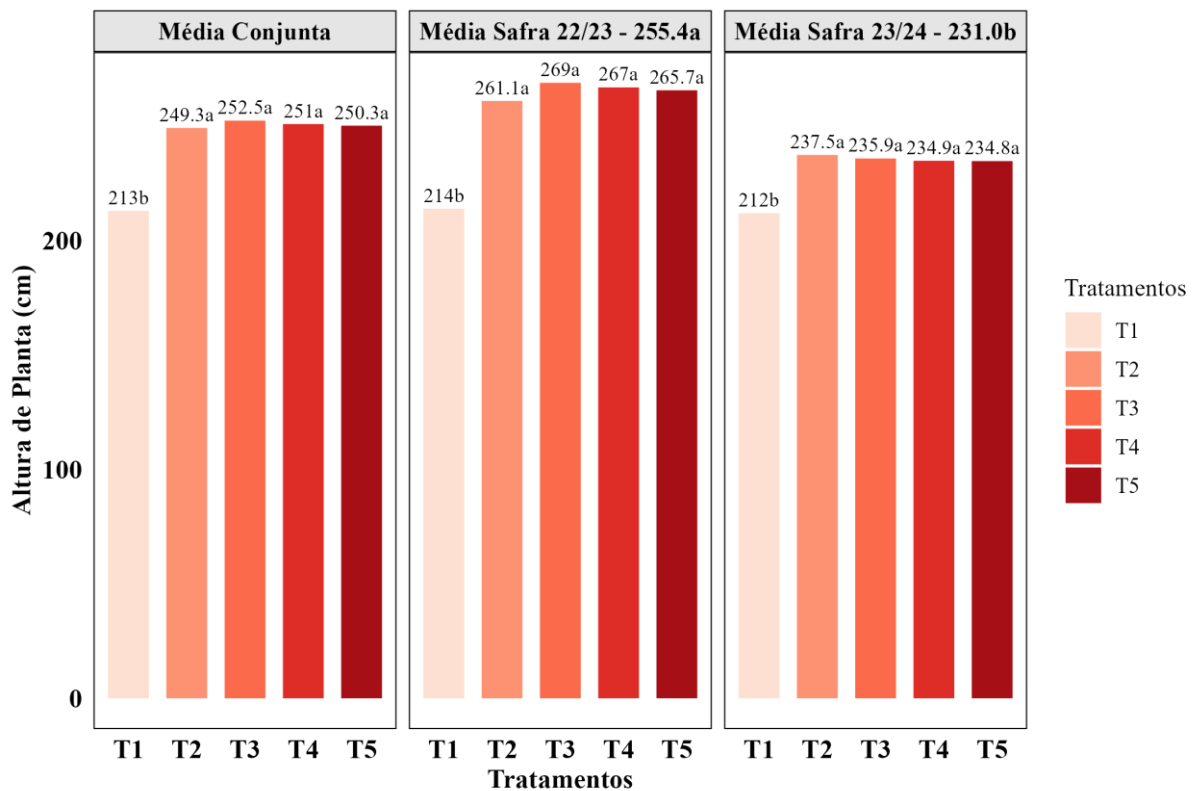
FV	QM					
	INSE	AT	NF	NG	CE	PROD
Tratamento (T)	897.16*	2862.40*	1.14 ^{ns}	100.57*	14.91*	61162881*
Ano (A)	3016.06*	7401.40*	67.28*	8.00 ^{ns}	52.06*	23016 ^{ns}
Tratamento x Ano (T x A)	59.08*	424.30*	1.23 ^{ns}	24.63*	0.42 ^{ns}	1238514 ^{ns}
CV (%)	8.91	8.72	8.08	10.34	10.31	24.53

*Significativo, ^{ns} não significativo pelo teste *F* ao nível de 0,05 de significância, CV coeficiente de variação

Fonte: Do autor (2024).

As médias para os caracteres altura de plantas e inserção de espiga estão apresentadas nas respectivas Figuras 3 e 4. Observa-se uma diferença entre safras, para os dois caracteres, sendo que na safra 22/23 apresentou maiores médias (255,4 e 146,6 cm, respectivamente) em relação à safra 23/24 (231,0 e 131,1 cm, respectivamente). Para os diferentes tratamentos, a testemunha (T1) foi a que apresentou menores valores médios em ambas as safras. Para as fontes de N, não houve diferença significativa.

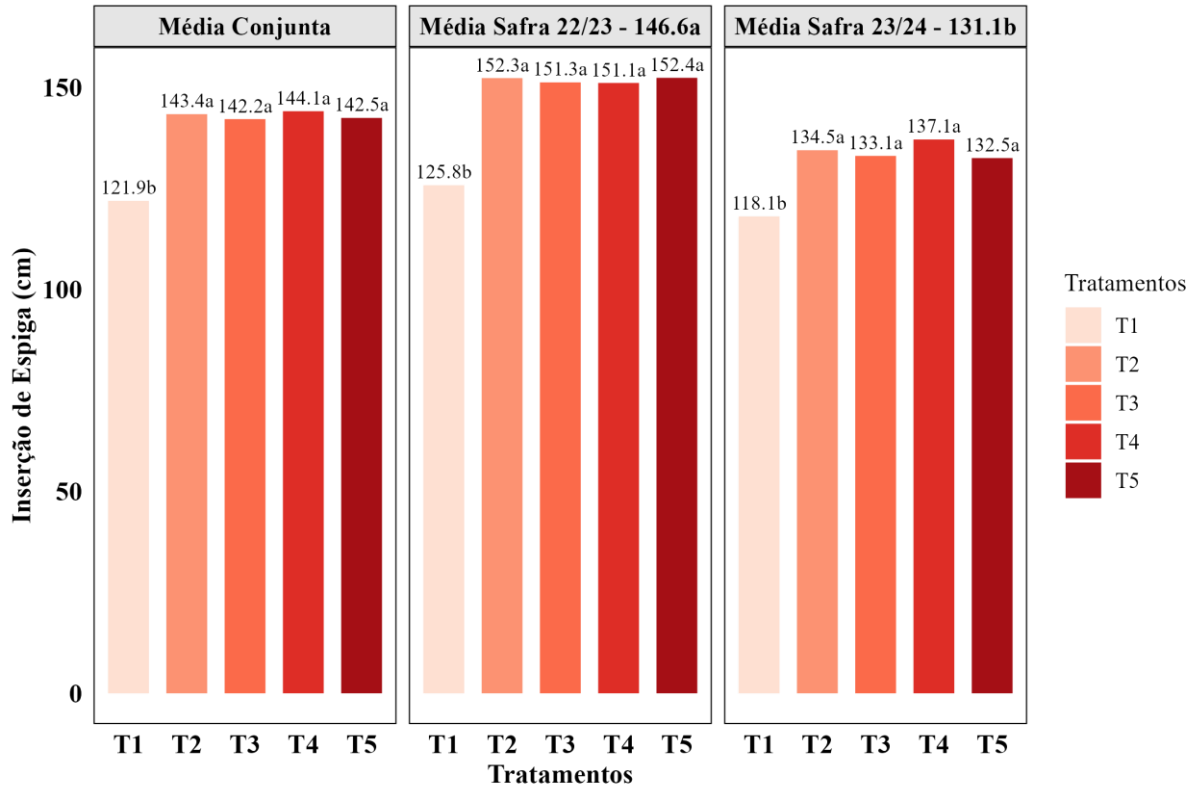
Figura 3. Médias de altura de plantas de milho para as diferentes fontes de N aplicadas em cobertura e média geral das safras 22/23 e 23/24.



Médias seguidas da mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste Scott Knott ($p < 0,05$). Testemunha (T1), Ureia (T2), SuperN (T3), NBPT (T4) e Nitrato de amônio (T5),

Fonte: Do autor (2024).

Figura 4. Médias de inserção de espiga de milho para as diferentes fontes de N aplicadas em cobertura e média geral das safras 22/23 e 23/24.



Médias seguidas da mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste Scott Knott ($p < 0,05$). Tratamentos testemunha (T1), ureia (T2), superN (T3), NBPT (T4) e nitrato de amônio (T5).
Fonte: Do autor (2024).

O nitrogênio é fundamental para o crescimento e desenvolvimento de plantas. Na cultura milho é responsável pelo incremento em altura, devido ao aumento no comprimento e número de internódios, que conseqüentemente, tem impacto na altura de inserção de espiga (Fornasiere *et al.*, 2007). A resposta positiva em incrementos na altura de planta e inserção de espiga, ficam evidente quando observa-se a diferença entre a testemunha, sem aplicação de N, em relação aos demais tratamentos, Figura 3 e 4. Entende que as diferentes respostas estão ligadas à nutrição de N durante o desenvolvimento vegetativo do milho (Redin *et al.*, 2014).

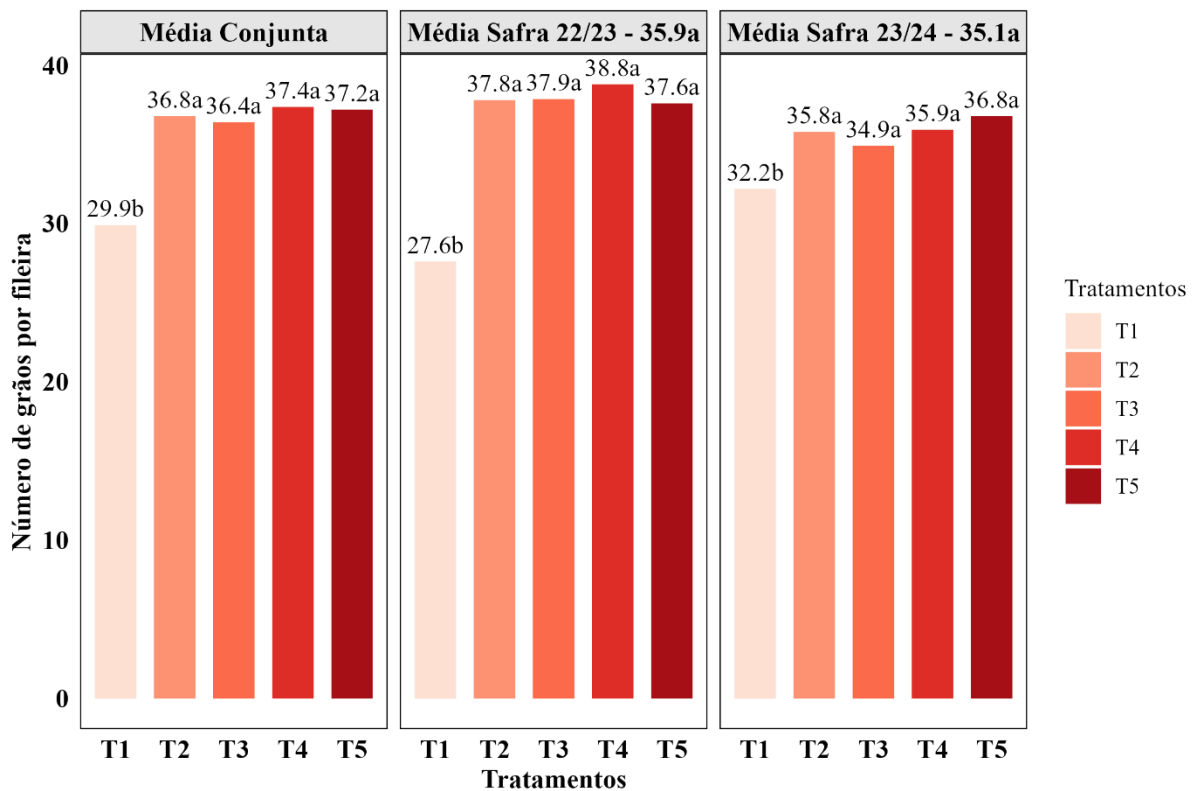
Resultado semelhante foram demonstrados por Demari *et al.*, (2014), demonstram em resultados semelhantes aos encontrados nesse estudo, nos quais não observaram diferença significativa para a altura de planta e inserção de espiga em função de diferentes fontes de N.

A variação de alturas nas diferentes safras, Figuras 3 e 4, evidenciam que as plantas de milho apresentaram maiores alturas na safra 2022/23 em relação a safra 2023/24. Este fato emerge que se devem as condições climáticas. Após 30 a 35 dias do plantio a cultura do milho se encontra no estágio V8, o qual é caracterizado pelo crescimento do colmo em diâmetro e comprimento, onde o estresse hídrico durante esse período pode afetar o comprimento dos

internódios pela inibição da elongação das células em desenvolvimento (Galvão *et al.*, 2017). Isso pode ser observado nas Figuras 1 e 2, em que temperaturas mais amenas e precipitação mais uniforme durante a safra 2022/23 quando comparada a safra 2023/24, contribui para maior altura da planta.

Os resultados das Figuras 5 e 6 demonstram o efeito dos diferentes tratamentos nos componentes de produção número de grãos por fileira e número de fileiras. Para número de grãos por fileira, a testemunha foi que apresentou menores valores em ambas as safras, já para as diferentes fontes de N não houve diferença significativa. Para o componente de produção número de fileiras por grão, não existe diferença significativa entre os tratamentos, somente diferença entre safras.

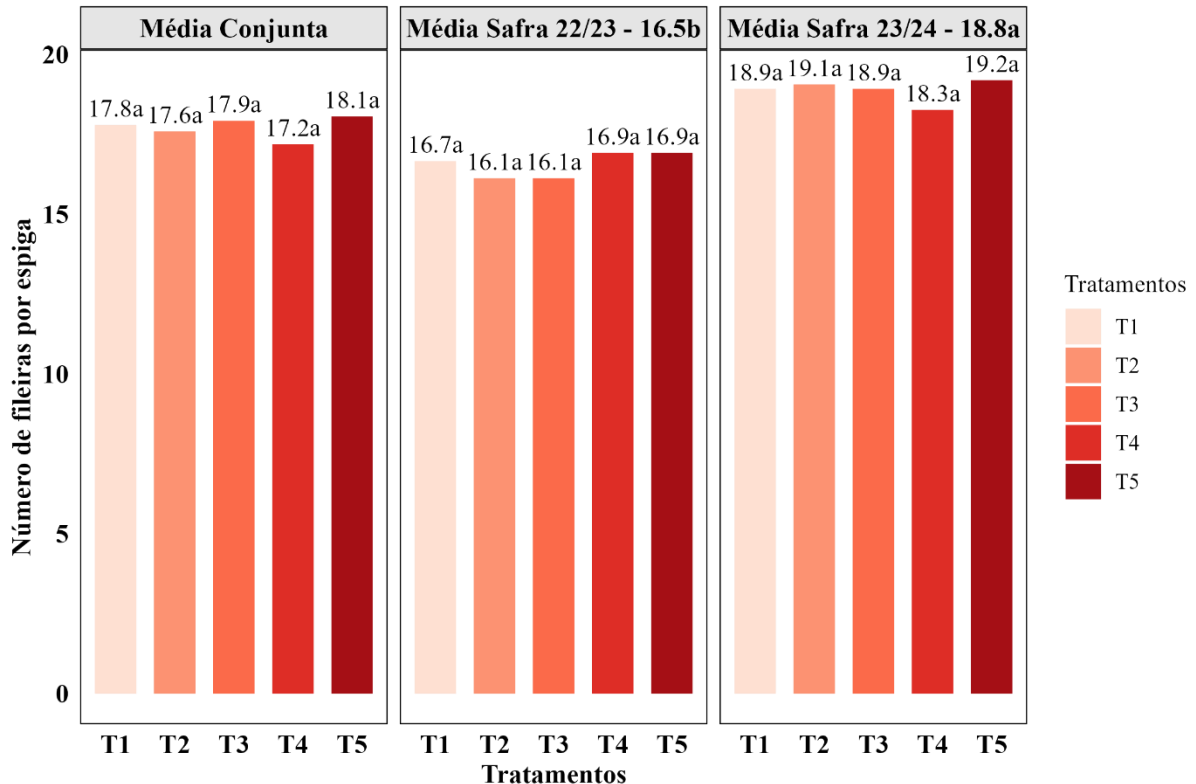
Figura 5. Média de número de grãos por fileira em milho para as diferentes fontes de N aplicadas em cobertura.



Médias seguidas da mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste Scott Knott ($p < 0,05$). Tratamentos testemunha (T1), ureia (T2), superN (T3), NBPT (T4) e nitrato de amônio (T5),

Fonte: Do autor (2024).

Figura 6. Número de fileiras por espiga em milho para as diferentes fontes de N aplicadas em cobertura.



Médias seguidas da mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$). Tratamentos testemunha (T1), ureia (T2), superN (T3), NBPT (T4) e nitrato de amônio (T5).

Fonte: Do autor (2024).

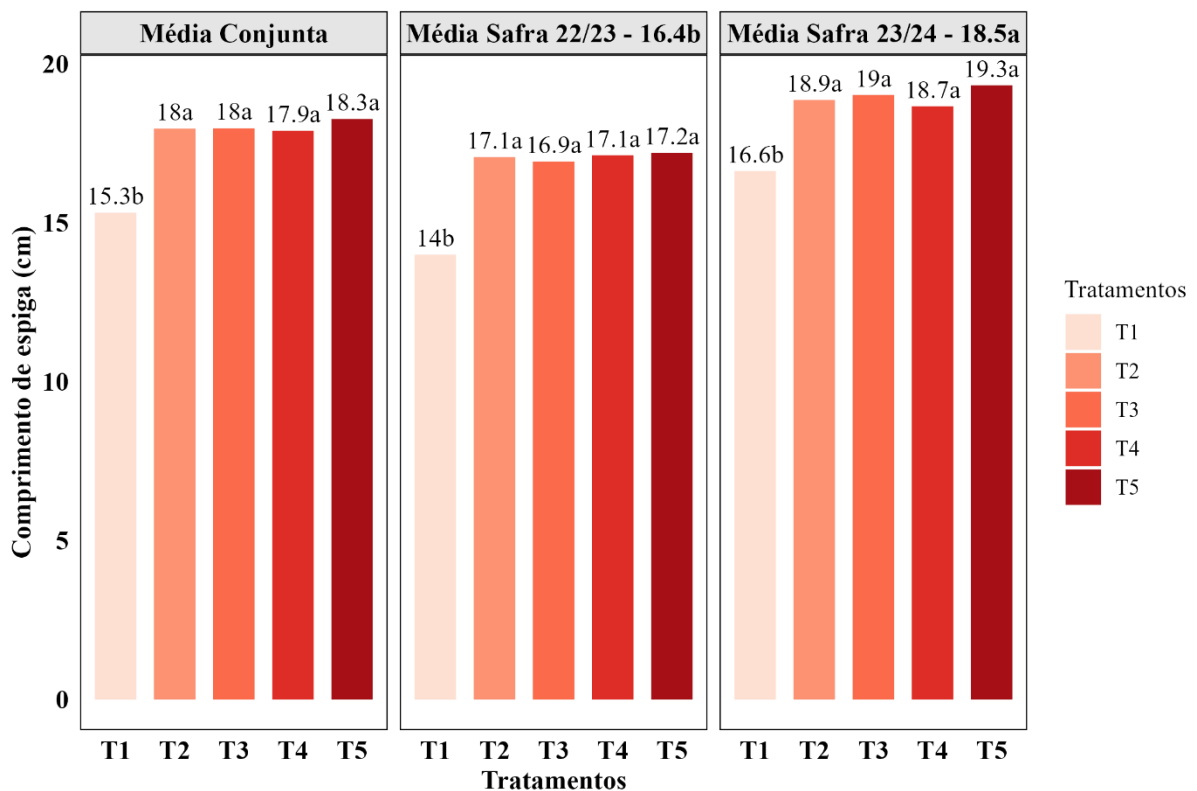
Fernandes *et al.*, (2005) não constataram efeito significativo das doses (0, 30, 90 e 180 kg.ha⁻¹ de N) para o número de fileiras de grãos por espiga. Bem como Junior *et al.*; (2021), avaliaram diferentes fontes de N, e observaram que o número de grãos por fileira não se diferiu de maneira significativa. Esses resultados corroboram com os encontrados nesse estudo, uma vez que, não se observou diferença significativa entre os tratamentos.

Fanceli *et al.*, (2000) explicam que em locais sem restrições ambientais severas, o crescimento da planta de milho ocorre sem prejuízos, e a taxa de desenvolvimento das folhas é de aproximadamente três dias/folha. Destacando-se a importância da disponibilidade de nutrientes para suportar o crescimento vegetativo da planta, principalmente entre V4 e V8 em que o potencial do número de fileiras por espiga e número potencial de grãos por espiga é determinado.

A manifestação do número de grãos na espiga é influenciada pelas condições ambientais (Valderrama *at al.*, 2011). No presente trabalho, de acordo com as Figuras 1 e 2, as condições ambientais foram favoráveis para o correto crescimento e desenvolvimento da cultura, assim como a adequação do momento ideal de fornecimento de N, em V4.

Para o número de grãos por fileira, fica evidente a influência do N, uma vez que a testemunha foi a que apresentou menores valores para este componente. Este componente está atrelado ao comprimento de espiga. Conforme os dados apresentados na Figura 7, pode-se observar a relação existente entre essas duas características. De maneira similar, o tratamento sem a aplicação de N foi o que apresentou menores valores no comprimento em ambas as safras, não existindo diferença significativa entre as diferentes fontes estudadas.

Figura 7. Médias de comprimento de espiga em milho para as diferentes fontes de N aplicadas em cobertura.



Médias seguidas da mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$). Tratamentos testemunha (T1), ureia (T2), superN (T3), NBPT (T4) e nitrato de amônio (T5).

Fonte: Do autor (2024).

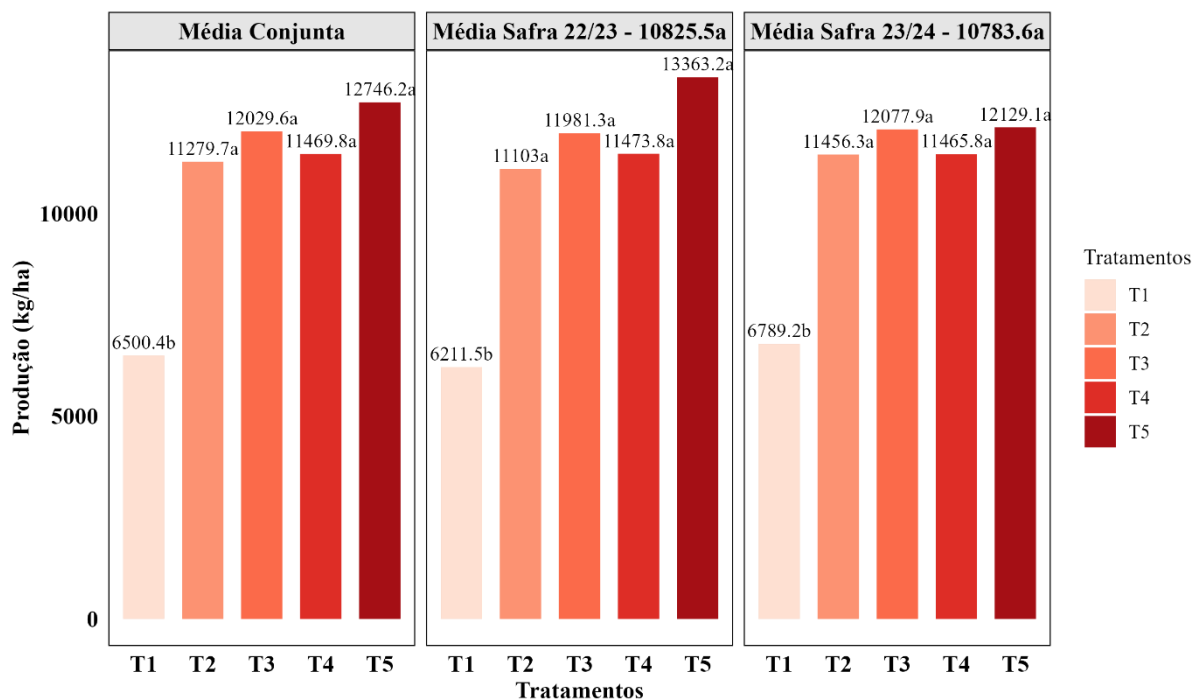
O número de grãos por fileira (NG) está diretamente relacionado com o comprimento médio da espiga, sendo que sua magnitude depende das condições ambientais (Vilela *et al.*, 2012). Nardino *et al.*, (2016) enfatizam a correlação existente entre comprimento de espiga e número de grãos por fileira, e que o ambiente influencia de maneira mútua essas características, sendo alteradas devido o efeito de ano agrícola ou pelo manejo da cultura.

As melhores respostas dos caracteres fenotípicos comprimento de espiga e número de grãos por fileira, são explicadas devido a resposta positiva ao uso de N. O N tem o maior impacto no desenvolvimento das partes vegetativas das plantas, sendo assim com efeitos no

aumento de fotoassimilados, que serão utilizados para o desenvolvimento desses componentes de produtividade e, consequentemente rendimento (Akama *et al.*, 2010).

A resposta média em produtividade, para os diferentes tratamentos, é apresentada na Figura 8. Houve diferença significativa somente para o tratamento sem a aplicação de N e os demais tratamentos, entre fontes de N não houve diferença. A maior diferença observada é em relação ao tratamento T5 (nitrato de amônio) em ambas as safras e na média da análise conjunta. Observa-se também que entre safras não houve diferença.

Figura 8. Produtividade em milho para as diferentes fontes de N aplicadas em cobertura.



Médias seguidas da mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$). Tratamentos testemunha (T1), ureia (T2), superN (T3), NBPT (T4) e nitrato de amônio (T5).

Fonte: Do autor (2024).

Para se ter boas produtividades em milho a correta nutrição é essencial. Neste senti é requerido grande quantidade de nutrientes, principalmente nitrogênio (Cantarella *et al.*, 2018). Shimada *et al.*, (2021), demonstram um compilado de vários estudos evidenciando os efeitos positivos da adubação nitrogenada em relação ao rendimento. Nos estudos apresentados, a utilização de 80 kg.ha^{-1} de nitrogênio em cobertura é suficiente para apresentar diferença estatística no tratamento sem adubação nitrogenada, denotando que o nitrogênio tem grande influência na produtividade.

Os resultados revelam que a aplicação de N é a estratégia mais comum utilizada pelos agricultores para melhorar a produtividade, pois este nutriente faz parte da molécula de compostos orgânicos, como os aminoácidos e proteínas, ainda ativador de muitas enzimas,

além de ser necessário para realização de um ou mais processos vitais da planta, absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular (Malavolta *et al.*, 2007).

A cultura do milho é exigente em N, apresentando uma necessidade de aproximadamente 22 kg de N por tonelada de grão produzido e exporta cerca de dois terços do N absorvido para os grãos, demonstrando que o N é um dos nutrientes essenciais para o aumento da produtividade de grãos da cultura (Shimada *et al.*, 2021).

Dessa forma, emerge a necessidade da aplicação do nitrogênio na cultura do milho, que está intimamente ligada ao seu potencial produtivo. Com relação a fonte a ser aplicada, Klein *et al.*, (2018), comparando-se diferentes fontes de N, encontraram resultados semelhantes aos apresentados neste estudo, em que não encontram diferenças significativas para a produtividade utilizando-se diferentes fontes de N, somente para o tratamento sem aplicação de N.

Os tratamentos estavam instalados sob uma área com histórico de práticas agrícolas conservacionistas e em ambas as safras as condições climáticas foram ideais para o correto crescimento e desenvolvimento da cultura (Figura 1 e 2). Neste mesmo sentido pode-se observar que no momento da aplicação em cobertura das fontes de N, ocorreram chuvas moderadas, que minimizaram as perdas por volatilização da ureia convencional e protegida. Contudo, não ocorreram chuvas intensas para ocasionar perdas por lixiviação do nitrato, não obstante trata-se de solos de textura argilosa.

Segundo Doberman *et al.*, (2013) o nitrogênio está sujeito a diversas perdas no ambiente, por sua dinâmica complexa e pelas transformações que ocorrem no solo. Pode ser perdido por lixiviação na forma de nitrato (NO_3), por volatilização na forma de amônia (NH_3) e por desnitrificação causado por microorganismos que leva a perdas de N na forma de NO, N_2O e N_2 .

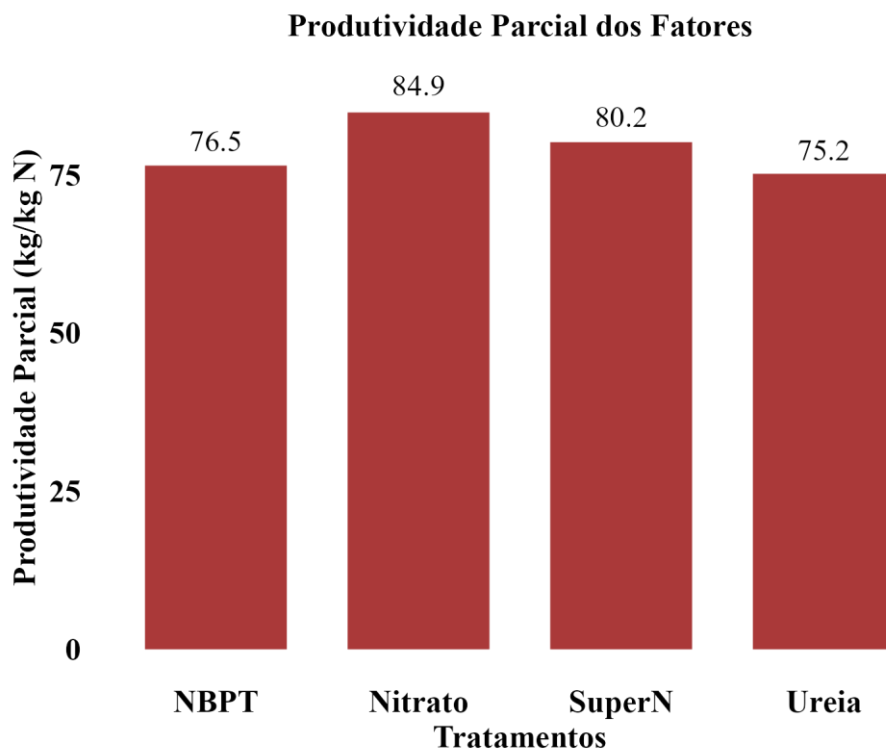
Outros fatores influenciam a perda do nitrogênio para a atmosfera, destacam-se o pH do solo, temperaturas muito elevadas, menor umidade do solo, menor capacidade de troca de cátions (CTC) (Tasca *et al.*, 2011 e Sangoi *et al.*, 2003). Analisando os dados climatológicos e as condições químicas do solo (Tabela 2), as diferentes fontes de N estudadas, não sofrem influencia destes efeitos as perdas de N, não ocorrendo então diferença entre as tecnologias de maneira significativa, explicando assim o comportamento semelhante das diferentes fontes e tecnologias nos caracteres fenotípicos estudados. A Figura 9 acrescenta informações que demonstram esse comportamento.

Na Figura 9, é apresentada a produtividade parcial dos fatores (PPF), uma medida de eficiência do uso de nitrogênio. A PPF é uma mensurada tendo em relação aos fertilizantes,

que expressa à quantidade de fertilizante aplicada em relação a vários parâmetros da planta, como isto é biomassa acima do solo, rendimento ou conteúdo de N. Essa medida tem como principal objetivo mostrar o quão produtivo é o sistema de cultivo em relação à entrada de N (Doberman *et al.*, 2007).

O nitrato de amônio apresentou maior PPF, $84,9 \text{ kg/kg}^{-1} \text{ N}$, e a ureia convencional foi a que apresentou menor PPF, $75,2 \text{ kg/kg}^{-1} \text{ N}$. Doberman *et al.*, (2007), demonstraram que resultados acima de $60 \text{ kg/kg}^{-1} \text{ N}$ são sistemas de cultivo bem administrados no uso de N. E que, a medida de PPF pode auxiliar também no monitoramento do N presente no solo e na qualidade do sistema, neste âmbito melhores práticas de cultivo aumentaram o suprimento de N do solo, reduzirá a necessidade de fertilizantes e por consequência aumenta a PPF. Raza *et al.*, (2022), também encontraram resultados semelhantes, enfatizando que sistemas de alto rendimento, com condições de clima e solo favoráveis, respondem melhor ao emprego de N.

Figura 9. Produtividade parcial dos fatores.

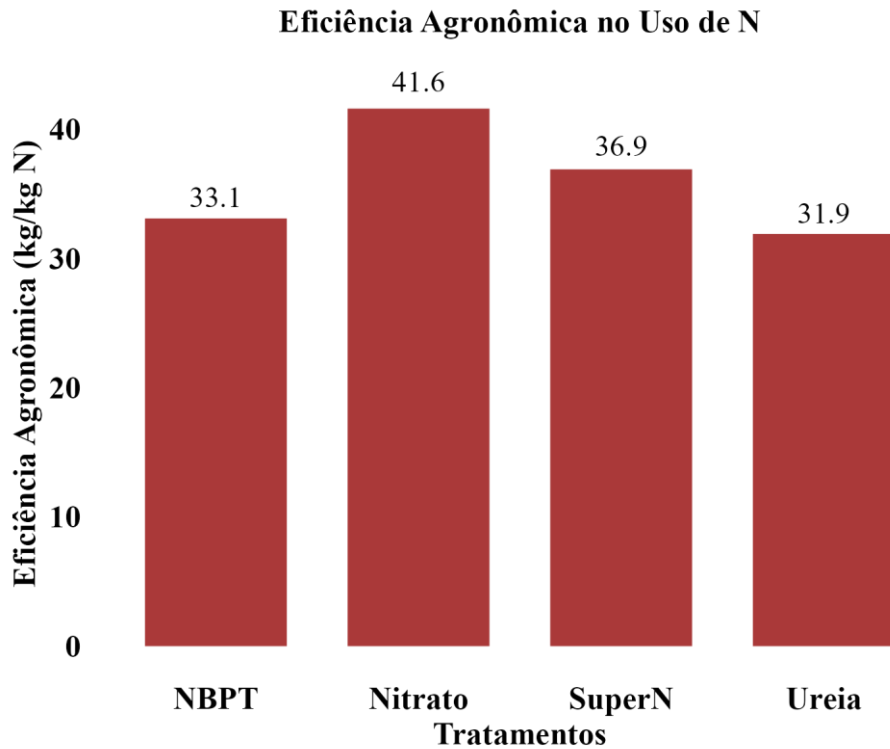


Fonte: Do autor (2024).

Para a eficiência agrônômica do uso de N (EAN), os resultados variam de 31,9 a 41,6 $\text{kg/kg}^{-1} \text{ N}$. O tratamento com ureia convencional apresenta a menor eficiência. O tratamento com nitrato de amônio, por seu turno foi de maior magnitude. A EAN, que assim como a PPF também é uma medida baseada no uso de fertilizantes, porém de forma diferente da PPF é

considera a quantidade de fertilizante aplicada em relação a parâmetros de planta e os níveis de N do solo, este contabilizado pela absorção e/ou produção de N através de tratamentos controle (sem o uso de N) (Doberman *et al.*, 2007).

Figura 10. Eficiência Agronômica no Uso de Nitrogênio



Fonte: Do autor (2024).

Kappes *et al.*, (2013), encontraram resultados semelhantes, aos obtidos neste estudo, em que o nitrato de amônio apresentou maior eficiência quanto a produtividade, em relação a ureia e outras fontes de N. O nitrato é uma fonte nitrogenada com alta eficiência agronômica, exceto em condições de solo que propiciam a lixiviação (Souza *et al.*, 2017). No presente trabalho as condições de solo, solo com textura argilosa (Tabela 2), assim como as condições moderadas de precipitação (Figura 1 e 2) no momento da aplicação do nitrato, não foram eficazes para que ocorressem grandes perdas por lixiviação.

Por outro lado, deve-se destacar que o grande desafio de uso do nitrato na agricultura se deve, ao alto potencial de lixiviação de nitrato dos solos de textura arenosa, alta precipitação que podem ocorrer no momento da aplicação (Hubbard *et al.*, 2004; Wiatrak & Liu *et al.*, 2014). Além disso o nitrato apresenta, menor concentração de N por unidade de massa, alto custo, menor disponibilidade no mercado, dificuldades nas negociações e logística (Cunha *et al.*, 2023).

A fonte de N mais utilizada na agricultura (ureia), principalmente devido as altas concentrações de N, geralmente cerca de 45% de N, sua alta concentração, proporciona economia com transporte e armazenamento, e maior rendimento na aplicação pelo menor volume aplicado (Zavaschi *et al.*, 2014). A ureia quando associada as práticas adequadas de manejo, principalmente as que evitem perdas por volatilização, é uma excelente fonte de N para as culturas agrícolas.

Caixeta *et al.*, (2022) constataram que utilização de ureia com NBPT demonstrou maior eficiência no uso de N, obtendo maiores rendimentos, quando comparada a ureia comum, pois sua disponibilidade foi maior devido à redução de perdas de N por volatilização. Neste estudo os tratamentos com ureia NBPT e o SuperNpro tiveram maior eficiência agrônômica em comparação à ureia convencional, evidenciando a eficácia dessas tecnologias na redução das perdas por volatilização e aumento na eficiência do uso de N. Contudo, estas tecnologias embarcadas na ureia, não tenha sido superior ao nitrato, bem como não influenciaram em maiores produtividades.

Deve-se destacar que as respostas em relação ao N na cultura são influenciadas por várias características inerentes, ao tipo de solo, pH, CE, N residual, carbono orgânico do solo, estabilidade do agregado, atividade microbiana, temperatura e umidade (Nyiraneza *et al.*, 2009; Kablan *et al.*, 2017). Essas variações defendem que as recomendações tanto de doses como fontes N podem diferir muito entre os locais e anos em que a cultura do milho é cultivada, portanto, estratégias de manejo de N específicas do local devem ser testadas, considerando as variações nas características do solo e nas condições climáticas (Raza *et al.*, 2022).

5. CONCLUSÃO

A aplicação de nitrogênio é fundamental para o correto crescimento e desenvolvimento da cultura do milho. As diferentes fontes e tecnologias estudadas não apresentam diferenças significativas para os diversos caracteres fenotípicos estudados. Observando os resultados desse trabalho, para a eficiência agrônômica no uso de N, o nitrato de amônio apresentou o melhor rendimento. Já a ureia revestida com tecnologias que evitam a volatilização, tanto com NBPT e SuperNpro, apresentaram uma superioridade em relação a ureia convencional.

6. REFERÊNCIAS

- AKMAL, M. *et al.* Response of maize varieties to nitrogen application for leaf area profile, crop growth, yield and yield components. **Pakistan Journal of Botany**, v. 42, n. 3, p. 1941-1947, 2010.
- ALVAREZ, VON PINHO, BORGES. Avaliação de características agronômicas e de produção de forragem e grãos de milho em diferentes densidades de semeadura e espaçamentos entre linhas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, p. 402-408, 2006.
- AMADO, MIELNICZUK, AITA. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 26, p. 241-248, 2002.
- ASIBI, CHAI, A. COULTER, Jeffrey. Mecanismos de uso de nitrogênio em milho. **Agronomy**, v. 9, n. 12, p. 775, 2019.
- AZIIBA, E. A., Chai, Q., & Coulter, J. A. Mechanisms of nitrogen use in maize. **Agronomy**, 9(12), 775. 2019.
- BARBERENA, Iara Magalhães *et al.* Use of urease inhibitors to reduce ammonia volatilization in Amazonian soils. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, p. e00253, 2019.
- BATISTA, *et al.*,. Níveis de nitrogênio no cultivo de milho segunda safra com elevadas densidades de plantas. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 1, p. 83-100, 2020.
- BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R o milho e o clima. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2014.
- BERGAMASCHI, H; Matzenauer, R. MILHO, CAP. 14. AGROMETEOROLOGIA DOS CULTIVOS AGRÍCOLAS: O FATOR METEOROLÓGICO NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA. 2009.
- BORÉM, A., GALVÃO, J. C. C., & PIMENTEL, M. A. Milho: do plantio à colheita. atual. E ampl. *Viçosa, MG: UFV.* 2017.
- CAIXETA, MACHADO. Volatilização de amônia em fertilizantes nitrogenados com tecnologia e eficiência aumentada. *Perquirere*, v. 19, n. 2, p. 114-121, 2022.
- CANTARELLA, H, Otto R, Soares JR, de Brito Silva AG, Agronomic efficiency of NBPT as a urease inhibitor: A review *H Journal of advanced research* 13, 19-27. 2018.
- CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Uso de inibidor de uréase para aumentar a eficiência da ureia. In: Simpósio sobre informações recentes para otimização da produção agrícola, 2007, Piracicaba. Anais. Piracicaba: IAC, 2007.
- CANTARELLA, Heitor; MARCELINO, Rafael. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. **Informações Agronômicas**, v. 122, p. 12-14, 2008.

CARVALHO, Edmar V. *et al.* Crescimento de milho em níveis contrastantes de nitrogênio e sua correlação com produtividade de grãos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 351-357, 2013.

CASSIM, Bruno Maia Abdo Rahmen *et al.* Duromide increase NBPT efficiency in reducing ammonia volatilization loss from urea. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, p. e0210017, 2021.

COELHO, Antonio Eduardo *et al.* Sanidade de híbridos de milho em função da época de semeadura, doses de N em áreas com e sem rotação de culturas. In: **Colloquium Agrariae**. ISSN: 1809-8215. 2019.

COELHO, Antônio Marcos. Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho. 2007.

COELHO, Michelle A. *et al.* A combinação de composto ou biochar com ureia e NBPT pode melhorar a eficiência do uso de nitrogênio no milho. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, p. 1695-1703, 2018.

CUNHA, Amanda; DE SOUSA NETO, Joaquim Antonio; REZENDE, Cláudia Fabiana Alves. ADUBAÇÃO NITROGENADA NO MILHO COM DIFERENTES FONTES DE NITROGÊNIO. **Científic@-Multidisciplinary Journal**, v. 10, n. 2, p. 1-8, 2023.

DA COSTA, Alana Cristina Rodrigues, *et al.* Efeito de fontes nitrogenadas protegidas e de solução concentrada em adubação de cobertura em milho. **Revista Agrotecnologia-Agrotec**, v. 11, n. 2, p. 36-45, 2020.

DA CUNHA SOUSA, Amanda; DE SOUSA NETO, Joaquim Antonio; REZENDE, Cláudia Fabiana Alves. ADUBAÇÃO NITROGENADA NO MILHO COM DIFERENTES FONTES DE NITROGÊNIO. **Científic@-Multidisciplinary Journal**, v. 10, n. 2, p. 1-8, 2023.

DA SILVA, W. A. S.; ANDRADE, C.; BORGHI, E. Resposta de diferentes cultivares de milho ao plantio irrigado, de segunda safra, na região Central de Minas Gerais. 2023.

DE RESENDE, A. V. *et al.* Manejo da fertilidade do solo e adubação do milho na Região Centro Oeste. 2020.

DE RESENDE, Marcos Deon Vilela; DUARTE, João Batista. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 182-194, 2007.

DEMARI, Gustavo Henrique *et al.* Fontes e parcelamento do nitrogênio na cultura do milho. 2014.

DOBERMANN, Achim. Nutrient use efficiency—measurement and management. 2007.

DUARTE, A.P.; CANTARELLA, H.; KAPPES, C. Adubação de sistemas produtivos: milho safrinha e soja. In: PAES, M.C. (Ed.). Construindo sistemas de produção sustentáveis e rentáveis: palestras do XIV Seminário Nacional de Milho Safrinha, 2017.

ESCOLA, Mateus Eduardo *et al.* Volatilização de nitrogênio aplicado em milho cultivado na Amazônia Meridional. **Holos**, v. 7, p. 1-15, 2021.

FANCELLI, A. L. Milho: Estratégias de manejo. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2013.

FANCELLI, A. L. MANEJO BASEADO NA FENOLOGIA AUMENTA EFICIÊNCIA DE INSUMOS E PRODUTIVIDADE. *visão agrícola* n, 13, 2015.

FANCELLI, Antonio Luiz. Cultivo racional e sustentável requer maior conhecimento sobre planta do milho. **Visão Agrícola**, v. 13, n. 9, p. 20-23, 2015.

FANCELLI, Antônio Luiz; DOURADO NETO, Durval. Produção de milho. 2000.

FERNANDES, FLÁVIA CARVALHO SILVA; ARF, SALATIÉR BUZETTI ORIVALDO; ANDRADE, JOÃO ANTONIO DA COSTA. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 02, 2005.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007. 576 p

GAFFNEY, J. *et al.* Industry-scale evaluation of maize hybrids selected for increased yield in drought-stress conditions of the US Corn Belt. **Crop science**, v. 55, n. 4, p. 1608–1618, 2015.

GALVÃO, João Carlos Cardoso; BORÉM, Aluizio; PIMENTEL, Marco Aurélio (Ed.). **Milho: do plantio à colheita**. Editora UFV, 2017.

GANETEG, Ulrika *et al.* Amino acid transporter mutants of Arabidopsis provides evidence that a non-mycorrhizal plant acquires organic nitrogen from agricultural soil. **Plant, Cell & Environment**, v. 40, n. 3, p. 413-423, 2017.

GUARESCHI, Roni Fernandes; PERIN, Adriano; GAZOLLA, Paulo Roberto. Produtividade de milho submetido à aplicação de ureia revestida por polímeros. *Global Science and Technology*. Rio Verde-GO, 2013.

GUELFY, Douglas. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. **Piracicaba: IPNI**, 2017.

GUTIRREZ, A.M. Extração e exportação de micronutrientes em milho transgênico sob dois níveis de adubação em plantio direto no cerrado. *Sete Lagoas*, 2016. 51 p.

HARTLEY, Herman O. The maximum F-ratio as a short-cut test for heterogeneity of variance. **Biometrika**, v. 37, n. 3/4, p. 308-312, 1950.

HARTMANN, Adrian A. *et al.* Effects of drought and N-fertilization on N cycling in two grassland soils. **Oecologia**, v. 171, p. 705-717, 2013.

HUBBARD, Robert K. *et al.* Fate of nitrogen from agriculture in the southeastern Coastal Plain. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 59, n. 2, p. 72-86, 2004.

JUNIOR, Juracy Alves Martins Silva; DE FREITAS, Joana Machado; REZENDE, Cláudia Fabiana Alves. Produtividade do milho associado a inoculação com *Azospirillum brasilense* e

diferentes doses de adubação nitrogenada. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e42810212711-e42810212711, 2021.

KABLAN, Lucie A. *et al.* Variability in corn yield response to nitrogen fertilizer in eastern Canada. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 5, p. 2231-2242, 2017.

KLEIN, Claudia *et al.* Avaliar a eficiência de diferentes fontes de N mineral no cultivo do milho. In: **XII Reunião Sul Brasileira de ciência do solo**, Xanxerê 2018.

KLIMCZYK, M.; SICZEK, A.; SCHIMMELPFENNIG, L. Improving the efficiency of ureabased fertilization leading to reduction in ammonia emission. **The Science of the total environment**, v. 771, n. 145483, p. 145483, 2021.

KRAJEWSKA, Barbara. Ureases I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review. **Journal of molecular catalysis B: Enzymatic**, v. 59, n. 1-3, p. 9-21, 2009.

LADHA, Jagdish K. *et al.* Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects. **Advances in agronomy**, v. 87, p. 85-156, 2005.

Li, T., Wang, Z. *et al.* Ammonia volatilization mitigation in crop farming: A review of fertilizer amendment technologies and mechanisms. **Chemosphere**, 303, 134944, 2022.

LIMEIRA, A. S., EVANGELISTA, B. A., ENEAS, J. S. M., SIMON, J., OLIVEIRA, L. R. de S. P., DIAS, T. S. dos S., PEIXOTO, T. L., CAMARGO, F. P. de CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 22., 2023, Natal. A agrometeorologia e a agropecuária: adaptação às mudanças climáticas: anais... Natal: **Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**, 2023.

MACHADO, L. K. M.; SÁ, M. E. A.; RODRIGUES, C. C.; ARAÚJO, M. D. S. Viabilidade econômica de implantação da cultura de milho safrinha na região do sudeste goiano. **Anais da Semana de Ciências Agrárias e Jornada de Pós-graduação em Produção Vegetal** (ISSN 2594-9683), v. 15, p. 43-46, 2018.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C. Aspectos fisiológicos da desfolha precoce de plantas de milho.

KARAM, D.; BORGHI, E.; MAGALHÃES, P. C.; PAES, M. C. D.; PEREIRA FILHO, I. A.; MANTOVANI, E. C.; SOUZA, T. C. de; ADEGAS, F. S. Antecipe: cultivo intercalar antecipado. Brasília, DF: Embrapa, 2020.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. **Nitrogênio e enxofre na agricultura Brasileira. Piracicaba: International plant nutrition institute**, p. 189-249, 2007.

MELO, A. V. de, SANTOS, V. M. dos, LOPES, T. M., DIAS, M. A. R., NUNES, H. V. DIVERGÊNCIA GENÉTICA ENTRE HÍBRIDOS DE MILHO EM CONDIÇÕES DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA. **REVISTA DE AGRICULTURA NEOTROPICAL**, 2019.

MENEZES, June Faria Scherrer *et al.* Extração e exportação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo milho adubado com dejetos de suínos. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 3, p. 55-59, 2018.

NAIR, Abhinav; SARMA, Saurabh Jyoti. The impact of carbon and nitrogen catabolite repression in microorganisms. **Microbiological Research**, v. 251, p. 126831, 2021.

NARDINO, Maicon *et al.* Correlações fenotípica, genética e de ambiente entre caracteres de milho híbrido da Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 34, n. 3, p. 379-394, 2016.

NAZ, Muhammad Yasin; SULAIMAN, Shaharin Anwar. Slow release coating remedy for nitrogen loss from conventional urea: a review. **Journal of Controlled Release**, v. 225, p. 109-120, 2016.

NIELSON, R.L. Ear size determination in corn. Corny News Network, Purdue University 2011.

NYIRANEZA, Judith *et al.* Variations in corn yield and nitrogen uptake in relation to soil attributes and nitrogen availability indices. **Soil Science Society of America Journal**, v. 73, n. 1, p. 317-327, 2009.

OKUMURA, R.S.; MARIANO, D. C. Aspectos agronômicos da ureia tratada com inibidor de urease. *Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Guarapuava-PR*, v.8, p. 403 – 414. 2012

OLIVEIRA, J. A. *et al.* Volatilização de Amônia Proveniente de Ureia Compactada com Enxofre e Bentonita, em Ambiente Controlado. 2014. 7 f. Dissertação (Mestrado) –Curso de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2014.

OLIVOTO, Tiago *et al.* Caracteres morfológicos e rendimento de grãos de híbridos simples de milho em diferentes ambientes em diferentes ambientes. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 4, p. 462-471, 2018.

RAZA, Sajjad; FARMAHA, Bhupinder Singh. Contrasting corn yield responses to nitrogen fertilization in southeast coastal plain soils. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, p. 955142, 2022.

REDIN, M. *et al.* How the chemical composition and heterogeneity of crop residue mixtures decomposing at the soil surface affects C and N mineralization. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 78, p. 65–75, 2014.

RESENDE, AV de ; SILVA, CGM ; GUTIÉRREZ, AM ; SIMÃO, E. de P. ; GUIMARÃES, LJM ; MOREIRA, SG ; BORGHI, E. Indicadores de Demanda de Macro e Micronutrientes por Híbridos Modernos de Milho, 2016

RIBEIRO, B. S. M. R.; ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; FRIEDRICH, E. D.; PILECCO, I. B.; ALVES, A. F.; PUNTEL, S.; SARMENTO, L. F. V.; STRECK, I. L.; INKLMAN, V. B.; PETRY, M. T.; MARTINS, J. D.; BORTOLUZZI, M. P.; LOOSE, L. H.; BRUNETTO, G.;

MARIN, F. R.; ANTOLIN, L. A. S.; BREDEMEIER, C.; VIAN, A. L. ; OLIVEIRA, L. F. R. Ecofisiologia do milho para altas produtividades. Santa Maria: [s. n.], 2020.

ROBERTS, T.; NORMAN, R.; SLATON, N.; EPINOZA, L. Nitrogen fertilizer Additives. Agricultural and Nature Resources. FSA2169. 2019.

RODRIGUES, Fábio Junior; BARCAROL, Marcos Antonio; ADAMS, Cristiane Rosa; KLEIN, Claudia; BERWANGER, Alexandre Léo. Eficiência Agronômica da Cultura do Milho Sob Diferentes Fontes de Nitrogênio em Cobertura. **UNICIÊNCIAS**, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 66–70, 2018.

SANGOI, Luís *et al.* Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, v. 33, p. 687-692, 2003.

SANTOS SMC, Antonangelo JA, Deus ACF, Fernandes DM. Perdas de amônia por volatilização em resposta a adubação nitrogenada do feijoeiro. **Rev. de Agric. Neotropical**; 2016.

SCIVITTARO, Walkyria Bueno *et al.* Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e resposta do arroz irrigado à aplicação de ureia tratada com o inibidor de urease NBPT. **Ciência Rural**, v. 40, p. 1283-1289, 2010.

SHIMADA, Belmiro Saburo *et al.* The importance of Nitrogen in corn culture. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 43, n. 8, p. 37-45, 2021.

SHIMADA, Belmiro Saburo *et al.* Uso de doses de nitrogênio na cultura do milho. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 2, n. 3, p. 20-20, 2021.

SILVA, Daniel Cesário *et al.* Avaliação da adubação nitrogenada associada à inoculação com bactérias *Azospirillum brasilense* na cultura do milho Evaluation of the nitrogen fertilization associated with the inoculation with bacteria *Azospirillum brasilense* in maize. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 10, p. 99862-99881, 2021.

SOUSA, Amanda da Cunha; DE SOUSA NETO, Joaquim Antonio; REZENDE, Cláudia Fabiana Alves. ADUBAÇÃO NITROGENADA NO MILHO COM DIFERENTES FONTES DE NITROGÊNIO. **Científic@ - Multidisciplinary Journal**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 1–8, 2023.

SOUSA, Djalma Martinhão Gomes; LOBATO, Edson. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004.

SUNDERLAGE, Brent; COOK, Rachel L. Soil property and fertilizer additive effects on ammonia volatilization from urea. **Soil Science Society of America Journal**, v. 82, n. 1, p. 253-259, 2018.

TASCA, F. A. *et al.* Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista brasileira de ciencia do solo**, v. 35, n. 2, p. 493–502, 2011.

VALDERRAMA, M. *et al.* Adubação nitrogenada na cultura do milho com ureia revestida por diferentes fontes de polímeros. **Semina. Ciências agrárias**, v. 35, n. 2, p. 659, 2014.

VAN RAIJ B. *et al.* Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: IAC, 2022.

VASCONCELLOS, C. A.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. Adubacao para o cultivo do milho verde. 2002.

VILELA, RAFAEL GONÇALVES *et al.* Manejos do milheto e doses de nitrogênio na cultura do milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 3, p. 234-242, 2012.

VILLA NOVA, Nilson Augusto, *et al.* Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máxima e mínima. Vol. 30. Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 1972.

VITTI, G. C. *et al.* Influência da mistura de sulfato de amônio com uréia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 663-671, 2002.

WIATRAC, Pawel; LIU, Kesi. Soil nutrient distribution affected by nitrogen fertilization under conventional tillage system. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 45, n. 6, p. 819-828, 2014.

ZAVASCHI, Eduardo *et al.* Ammonia volatilization and yield components after application of polymer-coated urea to maize. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1200-1206, 2014.

ZOZ T, Lana MC, Steiner F, Zoz A, Zoz J, Zuffo AM. Densidade Populacional, Espaçamento E Adubação Nitrogenada Na Semeadura De Milho De Segunda **Safra.Rev. em Agroneg. e Meio Ambien.**; 2019.

ZUCARELI, C.; ALVES, G. B.; OLIVEIRA, M. A. de; MACHADO, M. H. Desempenho agrônômico do milho safrinha em resposta às épocas de aplicações e fontes de nitrogênio. **Científica**, Dracena, SP, v. 42, n. 1, p. 60-67, 2014.