UniRV- UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

NANOFERTILIZANTE ASSOCIADO A UREIA EM COBERTURA NO MILHO SAFRINHA

NATHÁLIA DIAS BATISTA SILVA
Magister Scientiae

RIO VERDE
GOIÁS - BRASIL
2024

NATHÁLIA DIAS BATISTA SILVA

NANOFERTILIZANTE ASSOCIADO A UREIA EM COBERTURA NO MILHO SAFRINHA

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para à obtenção do título de *Magister Scientiae.*

RIO VERDE

GOIÁS - BRASIL

2024

Universidade de Rio Verde
Biblioteca Luiza Carlinda de Oliveira
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – (CIP)

S581n Silva, Nathália Dias Batista

Nanofertilizante associado a ureia em cobertura no milho safrinha. / Nathália Dias Batista Silva. — 2024.
35 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Guerra da Silva.
Coorientador: Prof. Dr. Márcio Rosa.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) — Universidade de Rio Verde - UniRV, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Faculdade de Agronomia, 2024.
Inclui lista de figuras e tabelas

1. Adubação. 2. Fisiologia vegetal. 3. Produtividade de grãos. 4. *Zear mays L.* I. Silva, Alessandro Guerra da. II. Rosa, Márcio. III. Título.

CDD: 631.81

Bibliotecário: Juatan Tiago da Silva – CRB 1/3158

NATHÁLIA DIAS BATISTA SILVA

NANOFERTILIZANTE ASSOCIADO A UREIA EM COBERTURA NO MILHO SAFRINHA

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae.*

APROVAÇÃO: 29 de julho de 2024

Documento assinado digitalmente
ALESSANDRO GUERRA DA SILVA
Data: 30/07/2024 00:38:08-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Alessandro Guerra da Silva
Presidente da Banca Examinadora
Membro – FA/UniRV

Documento assinado digitalmente
AUGUSTO MATIAS DE OLIVEIRA
Data: 29/07/2024 13:44:39-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. Augusto Matias de Oliveira
Membro - PPGPV/UniRV

Documento assinado digitalmente
MARCIO ROSA
Data: 30/07/2024 00:41:26-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Márcio Rosa
Membro - FA/UniRV

Documento assinado digitalmente
TIAGO DE OLIVEIRA SOUSA
Data: 29/07/2024 11:59:46-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Tiago de Oliveira Sousa
Membro Externo – UFPI

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, a todas as pessoas que me apoiaram e incentivaram ao longo da minha jornada.

Aos meus pais: Evandro e Jeane, pelo amor incondicional e pelo exemplo de perseverança.

Aos meus professores: Alessandro Guerra da Silva, Márcio Rosa e Mídia Carla, pela paciência, pelo conhecimento transmitido e pela confiança depositada em mim.

Ao meu noivo Geandro Junior, por sempre estar ao meu lado.

E, principalmente, dedico este trabalho a mim mesma, por nunca desistir dos meus sonhos e por sempre buscar superar meus próprios limites.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a todos, que contribuíram com o meu trabalho de mestrado.

A Deus, primeiramente, pela oportunidade de crescimento e amadurecimento pessoal e profissional.

Ao meu orientador Dr. Alessandro Guerra da Silva, por sua orientação e valiosos conselhos ao longo deste processo, sua experiência e conhecimento foram fundamentais para o sucesso deste trabalho.

Ao meu coorientador Dr. Márcio Rosa, pelo tempo concedido em me ajudar, durante a condução deste trabalho.

A minha professora de inglês Midia Carla, pela paciência e ensinamentos passados com maestria.

Ao Dr. Augusto Matias de Oliveira, pelo suporte no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu noivo Geandro Junior, que esteve ao meu lado, em todos os momentos.

Sou grata aos colegas de curso e aos demais professores da instituição, que sempre estiveram dispostos a compartilhar conhecimentos e trocar ideias!

Aos meus amigos e familiares, pelo apoio constante ao longo deste processo, suas palavras de encorajamento e incentivo foram fundamentais, para que eu chegasse até aqui.

Por fim, gostaria de expressar minha gratidão à UniRV, pela oportunidade de realizar o mestrado, o ambiente acadêmico proporcionou um espaço propício para o meu crescimento e aprendizado pessoal e profissional.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro concedido.

Ao Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) da Argentina, na pessoa da pesquisadora Maria Belén Ciacci, que apoiou e forneceu os insumos para à realização do ensaio, à Família Buchli e aos funcionários da Fazenda Rio Verdinho, pelo apoio na implantação e condução do experimento.

Este trabalho de mestrado representa um esforço conjunto de várias pessoas e fico imensamente grata, por todo apoio recebido, ao longo desta jornada.

Muito obrigada a todos!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS..... iv
LISTA DE TABELAS..... v
RESUMO..... vii
ABSTRACT..... viii
1 INTRODUÇÃO..... 1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 2
2.1 Milho Safrinha no Cerrado..... 2
2.2 Adubação nitrogenada no milho safrinha..... 3
2.3 Nanofertilizantes..... 4
3 MATERIAL E MÉTODOS..... 6
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 9
5 CONCLUSÃO..... 17
REFERÊNCIAS..... 18

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 Precipitação e temperaturas máxima e mínima durante a condução do ensaio em Rio Verde-GO, nas safrinhas 2022 (A) e 2023 (B)..... 7

FIGURA 2 Índice de clorofila *b* (Cb), clorofila total (CT), razão clorofila *a* e clorofila *b* (Ca/Cb) e diâmetro do colmo (DC, mm) de plantas de milho safrinha em função das safras 2022 e 2023..... 10

FIGURA 3 População de plantas em função das doses de MIST-N associadas a 100 kg ha^{-1} de ureia aplicadas na cultura do milho safrinha nas safras 2022 (A) e 2023 (B)..... 11

FIGURA 4 Diâmetro do colmo (DC, mm) e altura de plantas (AP, m) de milho safrinha em função das safras 2022 e 2023..... 12

FIGURA 5 Altura de planta do milho safrinha em função das doses de MIST-N associadas a 100 kg ha^{-1} de ureia nas safras 2022 e 2023..... 12

FIGURA 6 Altura de inserção da espiga (m) do milho safrinha em função das doses de MIST-N associadas a 100 kg ha^{-1} de ureia, nos anos de 2022 e 2023.. 13

FIGURA 7 Número de espigas por hectare de plantas de milho safrinha em função das doses de MIST-N associadas a 100 kg ha^{-1} de ureia nas safras 2022 e 2023b..... 14

FIGURA 8 Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) do milho safrinha em função das doses de MIST-N associadas a 100 kg ha^{-1} de ureia..... 14

FIGURA 9 Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de milho safrinha nas safras 2022 e 2023. 15

FIGURA 10 Rede de correlação ilustrando a correlação de Pearson entre as variáveis clorofila *a* (C*a*), clorofila b (C*b*), clorofila total (CT), relação clorofila *a* e *b* (C*a*C*b*$^{-1}$), área foliar (AF), população de plantas (POP), altura de plantas (AP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), número de espigas (NE), número de grãos por espigas (NGE), peso de mil grãos (PMG) e produtividade de grãos (PROD) do milho cultivado na safrinha de 2022 e 2023 e tratado com 0, 1, 2, 3, e 4, L ha^{-1} de MIST-N. As linhas mais grossas e verdes representam as correlações positivas mais altas. As linhas vermelhas representam as correlações negativas..... 16

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 Resumo da análise de variância para clorofila *a* (C*a*), clorofila b (C*b*), clorofila total (CT), relação clorofila *a* e *b* (C*a* Cb^{-1}), área foliar (AF), diâmetro do colmo (DC), população de plantas (POP), altura de plantas (AP), altura de inserção da espiga (AIE), número de espigas (NE), número de grãos por espigas (NGE), peso de mil grãos (PMG) e produtividade de grãos (PROD) do milho cultivado na safrinha de 2022 e 2023 e tratado com 0, 1, 2, 3, e 4, L ha^{-1} de MIST-N..... 10

TABELA 2 Altura de inserção da espiga (m) de plantas de milho nas safras 2022 e 2023 em função das doses de MIST-N associadas a 100 kg ha^{-1} de ureia..... 13

RESUMO

SILVA, N. D. B., UniRV – Universidade de Rio Verde, abril 2024. **Nanofertilizante associado a ureia em cobertura no milho safrinha.** Orientador: Prof. Dr. Alessandro Guerra da Silva.

Nos últimos anos, tecnologias são implementadas na cultura do milho safrinha visando o aumento de produtividade de grãos. Entre as tecnologias estão as de fertilizantes nitrogenados, que podem contribuir com a liberação lenta ou controlada do nitrogênio. Assim, objetivou-se com este estudo, avaliar a o efeito de MIST-N (fertilizante com nanopartículas associado a ureia) em cobertura no desenvolvimento de plantas de milho safrinha. O experimento foi implantado a campo, em Rio Verde-GO, após a colheita da soja no sistema de plantio direto, em esquema fatorial 5 x 2, que corresponde a cinco doses de: MIST-N (T1: 100 kg ha^{-1} de N; T2: 100 kg ha^{-1} de N + 1,0 L ha^{-1} MIST-N; T3: 100 kg ha^{-1} de N + 2,0 L ha^{-1} de MIST-N; T4: 100 kg ha^{-1} de N + 3,0 L ha^{-1} de MIST-N; T5: 100 kg ha^{-1} de N + 4,0 L ha^{-1} de MIST-N), avaliados nos anos de 2022 e 2023, dispostos em blocos casualizados, com seis repetições. As variáveis analisadas foram: produtividade, peso de mil grãos, número de espigas e grãos por espigas, população de plantas, altura de plantas e de inserção da espiga, diâmetro do colmo, área foliar e indíces de clorofila. A junção do fertilizante nitrogenado com a dose de 2,7 L ha^{-1} do produto MIST-N proporcionou aumento da produtividade do milho safrinha.

Palavras-chave: Adubação, fisiologia, produtividade, *Zea mays L.*

ABSTRACT

SILVA, N. D. B., UniRV – Universidade de Rio Verde, April 2024. **Nanofertilizer associated with urea as top dressing in off-season corn**. Advisor: Prof. Dr. Alessandro Guerra da Silva.

In recent years, technologies have been implemented in off-season corn crops aiming at increasing grain productivity. Among the technologies are nitrogen fertilizers that can contribute to the slow or controlled release of nitrogen. Thus, the objective was to evaluate the effect of MIST-N (fertilizer with nanoparticles associated with urea) as top dressing on the development of off-season corn plants. The experiment was implemented in the field, in Rio Verde-GO, after soybean harvest in the no-tillage system, in a 5 x 2 factorial scheme, which corresponds to five doses of MIST-N (T1: 100 kg ha-1 of N; T2: 100 kg ha-1 of N + 1.0 L ha-1 MIST-N; T3: 100 kg ha-1 of N + 2.0 L ha-1 of MIST-N; T4: 100 kg ha-1 of N + 3.0 L ha-1 of MIST-N; T5: 100 kg ha-1 of N + 4.0 L ha-1 of MIST-N), evaluated in the years 2022 and 2023, arranged in randomized blocks, with six replications. The variables analyzed were productivity, thousand-grain weight, number of ears and grains per ear, plant population, plant height and ear insertion, stem diameter, leaf area and chlorophyll indices. The combination of nitrogen fertilizer with the dose of 2.7 L ha^{-1} of the product MIST-N provided an increase in the productivity of the second-crop corn.

Keywords: Fertilization, physiology, productivity, *Zea mays L*.

1 INTRODUÇÃO

A cultura do milho se destaca entre a plantação de grãos no Brasil, devido a sua importância: na alimentação humana, na nutrição animal ou como fonte de biocombustível (SILVA et al., 2021). O milho safrinha, plantado entre janeiro e março é cultivado em diversas sub-regiões do Cerrado, as quais apresentam uma variedade de condições edafoclimáticas (NÓIA JUNIOR; SENTELHAS, 2019). O aumento da produtividade é cada vez mais necessário devido ao aumento da demanda global de milho em diversos seguimentos e mercados.

Para alcançar altas produtividades no milho é indispensável o uso de fertilizantes nitrogenados, que estão diretamente relacionados, com o aumento da produtividade da cultura (MATTEI et al., 2021). Contudo, os fertilizantes nitrogenados possuem alta suscetibilidade à perda, o que resulta em menor aproveitamento pela planta (CHAGAS et al., 2017). Além de ser um dos fertilizantes mais caros para o agricultor, parte do nitrogênio (N) que não é aproveitado pelas plantas é perdido para o solo e corpos d'água, o que pode resultar na acidificação desses (LIU et al., 2023), ocasionando graves problemas ambientais.

A acidificação do solo por fertilizantes nitrogenados pode ocorrer devido a síntese de prótons via nitrificação após a fertilização com N amoniacal (ZHOU et al., 2014). Além disso, diante de chuvas intensas, os íons de nitrato (NO_3^-) são facilmente lixiviados do solo, pois são altamente móveis, e levam uma grande quantidade de íons básicos, deixando mais prótons de H^+, que é a causa da acidificação do solo, pela aplicação de fertilizantes nitrogenados (LUCAS et al., 2011). Assim, embora o N seja essencial na produção agrícola, seu manejo inadequado pode ter consequências econômicas e ambientais significativas.

Desse modo, novas pesquisas buscam minimizar as perdas e melhorar a absorção de N pelas plantas (AJITHKUMAR et al., 2021). Entre as alternativas que buscam reduzir as perdas, estão os nanofertilizantes, que é um novo insumo agrícola destinado a liberar nutrientes de forma gradual e cuidadosa, evitando danos ambientais e melhorando o desenvolvimento e rendimento das culturas (AHMED et al., 2019). A nanotecnologia pode aumentar a produtividade das culturas e reduzir as perdas de nutrientes (DIMKPA; BINDRABAN, 2018).

Os nanofertilizantes melhoram: o encapsulamento de nutrientes, o acesso das plantas aos nutrientes e o rendimento das culturas, além disso, são liberados sob demanda, específicos do local, eficientes e facilmente solúveis, sendo ecologicamente corretos e econômicos (JAKHAR et al., 2022).

A ureia tem sido o fertilizante nitrogenado mais aplicado na cultura do milho, devido ao

seu custo-benefício por: unidade de nutriente, eficiência agronômica e ampla gama de aplicação (ALBUQUERQUE et al., 2013; RODRIGUES et al., 2020). A combinação de nanofertilizantes com fertilizantes convencionais pode aumentar a eficácia da absorção de nutrientes (REDDY et al., 2022). Em plantas de milho foi observado um aumento significativo na altura de plantas, teor de clorofila, número de grãos por espiga, quando as parcelas foram tratadas via foliar com 4 L ha^{-1} de nanoureia (RAJESH et al., 2021).

Assim, objetivou-se come esta pesquisa avaliar o efeito da aplicação de fertilizante, com nanopartículas, juntamente com o fertilizante convencional na cultura do milho safrinha, na região do Cerrado brasileiro.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Milho Safrinha no Cerrado

O agronegócio é um dos carro-chefes da economia brasileira, em especial na região Centro-Oeste, que é responsável por 45,1% do total de grãos produzidos no Brasil (IBGE, 2023). O milho é uma das culturas que apresenta grande destaque no cenário mundial de grãos, representando um dos principais produtos de pauta de exportações (ROCHA et al., 2017; SANTOS et al., 2020). Para à obtenção de maiores produtividades é necessário uma complexa relação entre: clima, solo e planta (AMADO et al., 2010). Entretanto o clima acaba limitando a obtenção de elevadas produtividades, sendo caracterizado como um fator de risco e insucesso na cultura do milho (FARIAS et al., 2007).

A semeadura do milho é realizada em duas épocas distintas: a primeira safra ou safra de verão é efetuada a partir do mês de setembro, e a segunda safra ou “safrinha” é realizada no mês de fevereiro, na maioria das vezes em sucessão com a cultura da soja precoce (PINOTTI et al., 2014). O desempenho das culturas de verão é totalmente influenciada por fenômenos naturais como EL Niño e La Niña, que resultam em excesso ou falta de chuva, respectivamente, em parte do país (VÁRALLYAY, 2010).

O cultivo feito no sistema de semeadura direta é conhecido por evitar a mobilização do solo que consequentemente cria um novo ambiente ecológico, resultando em uma série de vantagens para o agricultor e para o meio ambiente (BORTOLETI JUNIOR et al., 2015). O desempenho do milho safrinha é primeiramente dependente da época de semeadura, que deve

ser realizada logo após a colheita da cultura de verão para maior aproveitamento do período de chuvas, pois quanto mais tardia for, menor será o potencial produtivo e maior o risco de perda de produção (GONTIJO NETO et al., 2013).

O município de Rio Verde, situado na região Centro-Oeste, é o maior produtor de grãos estado de Goiás e sua localização geográfica é uma área de transição entre os fenômenos atmosféricos, o que gera dúvidas sobre como esses fenômenos podem afetar o cultivo de milho, na região. Fatores esses foram notados na safra 20/21, em que segundo a CONAB (2021), houve escassez de chuva, durante a fase de semeadura da cultura da soja, o que resultou em replantios em grandes cidades produtoras, impactando diretamente o cultivo da segunda colheita de milho no estado.

2.2 Adubação nitrogenada no milho safrinha

O uso de suprimentos minerais na proporção correta é indispensável para que não haja desperdícios por meio de: lixiviação, volatilização e erosão, além de causar efeito contrário levando à queda da produtividade (COELHO, 2021; SARTURI et al., 2022). O nutriente que proporciona uma maior produtividade na cultura é o nitrogênio (N); porém sua forma de adubação requer um manejo adequado (MEIRA, 2006; NETO et al., 2021; MATTEI et al., 2021).

O nitrogênio é o principal constituinte de proteínas, ácidos nucléicos, fosfolipídios, clorofila, hormônios, vitaminas e alcalóides, e participa de todos os estágios de crescimento e desenvolvimento das plantas (O'BRIEN et al., 2016). Quando há um baixo teor de N, as plantas começam a degradar suas proprias proteínas para conseguir a reutilização do N. Entretanto, isso muitas vezes resulta na diminuição da fotossíntese, na senescência foliar acelerada e na desaceleração do acúmulo de biomassa, causando danos irreversíveis às plantas (LIU et al., 2023).

As condições climáticas incertas no final da estação chuvosa no bioma Cerrado, afetam tanto o potencial produtivo do milho, quanto a ciclagem do N do resíduo da cultura anterior, normalmente a soja (*Glycine max* L) (ROSSI et al., 2013; SIMÃO et al., 2018). A intensidade dessas interferências varia entre anos e locais de cultivo, dificultando o estabelecimento de recomendações de fertilizantes aplicáveis a todas as situações. Fowler et al. (2015), afirmam que o N é o nutriente mais requerido em maior quantidade pela cultura do milho, entretanto devido ao seu alto custo, isso impede o acesso a agricultores com menor poder aquisitivo.

O plantio direto e a semeadura imediatamente após a soja criam condições favoráveis

para a nutrição do milho safrinha. Além de contribuir para a matéria orgânica do solo (MOS), ocorre uma rápida e maior liberação de nutrientes pelo resíduo da cultura leguminosa em decomposição, que apresenta baixa relação C/N (REDIN et al., 2014). Entretanto, nesse sistema ocorre uma maior perda da ureia, pois no plantio direto apresenta uma maior quantidade da enzima urease e o contato do fertilizante diretamente com o solo é maior, diminuindo a absorção. Com o intuito de evitar as perdas por volatilização e lixiviação têm-se estudado novas alternativas para amenizar as perdas (TASCA et al., 2011).

As principais fontes de nitrogênio utilizadas em plantas de milho incluem: fertilizantes minerais como a ureia, o nitrato de amônio e o sulfato de amônio, que são amplamente aplicados devido à sua alta concentração de nitrogênio e eficiência no fornecimento deste nutriente essencial. A ureia, contendo 46% de nitrogênio, é a fonte mais utilizada, favorecendo a rápida disponibilidade do nutriente para as plantas, especialmente em solos bem drenados e com pH neutro (RIBEIRO et al., 2020). Estudos como os de Cantarella et al. (2008) e Novais et al. (2007), destacam a importância dessas fontes de nitrogênio no manejo eficiente da fertilização, em sistemas de cultivo intensivo de milho, promovendo o crescimento vigoroso e o aumento da produtividade das lavouras.

2.3 Nanofertilizantes

A nanotecnologia tem se mostrado uma aliada promissora na agricultura moderna, oferecendo soluções inovadoras que podem transformar a forma como cultivamos e gerenciamos os recursos naturais. A utilização de nanopartículas como fertilizantes representa uma revolução no setor, visto que essas estruturas em escala nanométrica podem fornecer nutrientes de forma mais eficaz e eficiente (KARIMI et al., 2018). Estudos, como os realizados por Wang et al. (2016), destacam que a introdução de nanofertilizantes pode resultar em colheitas com maior qualidade e rendimento. À medida que mais pesquisas são conduzidas, é provável que novas aplicações da nanotecnologia na agricultura continuem a emergir, potencializando a produtividade agrícola e ajudando a atender a demanda crescente por alimentos em um mundo em rápida transformação.

A utilização de nanopartículas com sua capacidade de penetração eficaz nas membranas celulares, ocorre devido ao seu tamanho reduzido, permitindo uma melhor interação com as plantas, resultando em uma absorção mais eficiente (ADHIKARI et al., 2012). O estudo de Dimkpa et al. (2019), sobre nanopartículas de óxido de zinco é um exemplo claro dessa potencialidade. O uso dessas nanopartículas como nanofertilizante não apenas potencializou a

absorção de zinco pelas plantas de milho, como também, contribuiu para um crescimento robusto e aumento na produtividade, evidenciando a eficácia do zinco na fotossíntese e na formação de biomassa. Além disso, a pesquisa de Khan et al. (2020), com nanofertilizantes à base de sílica trouxe à tona a importância dos nanomateriais, para a gestão sustentável de nutrientes em culturas de arroz. Os resultados mostraram que essas nanopartículas não apenas facilitam a liberação controlada de nutrientes, mas também, promovem um crescimento saudável das plantas.

Conforme o tipo de formulação, os nanofertilizantes são categorizados em três grupos: 1) fertilizante em nanoescala, que se refere ao fertilizante convencional em tamanho reduzido, geralmente na forma de nanopartículas; 2) fertilizante aditivo em nanoescala, que é um fertilizante tradicional com um nanomaterial adicional; e 3) fertilizante de revestimento em nanoescala, que diz respeito a nutrientes encapsulados por nanofilmes ou intercalados em poros em nanoescala de um material suporte (MASTRONARDI et al., 2015). Nutrientes encapsulados por filmes ou retidos em nanoporos dentro de um material transportador, como argilas, têm sido utilizados para criar estruturas de nanocompósitos que controlam a liberação de nutrientes (GOLBASHY et al., 2016; KOTTEGODA et al., 2017; BORGES et al., 2019; TARAFDER et al., 2020).

No que diz respeito ao padrão de liberação de nutrientes, os nanofertilizantes apresentam uma série de vantagens em relação aos fertilizantes comerciais convencionais. Enquanto os fertilizantes convencionais costumam liberar uma grande quantidade de nutrientes inicialmente, seguida por quantidades decrescentes e irregulares ao longo do tempo, os nanofertilizantes, como evidenciado pelos estudos de Subramanian e Rahale (2009), proporcionam uma liberação mais controlada e prolongada. Além disso, essa liberação gradual pode contribuir para um crescimento mais equilibrado das plantas e potencializar a produtividade agrícola, uma vez que os nutrientes estão disponíveis de forma contínua durante o ciclo de desenvolvimento das culturas. Essa abordagem não apenas melhora a eficiência da fertilização, mas também pode levar a uma redução na quantidade total de fertilizantes necessários, minimizando impactos ambientais associados ao uso excessivo de fertilizantes convencionais (NADERI; DANESH-SHAHRAKI, 2013).

Os nanofertilizantes, como a nanosílica, apresentam-se como uma solução promissora para mitigar os impactos ambientais associados ao uso excessivo de fertilizantes tradicionais. Sua aplicação em quantidades reduzidas não apenas minimiza a carga de produtos químicos no solo, mas também contribui para um uso mais eficiente dos nutrientes (ADISA et al., 2019). O estresse abiótico, que representa de 50% a 70% das causas de perda de produtividade nas

culturas, e o estresse biótico, que varia de 40% a 60%, são desafios significativos para a agricultura moderna (TIWARI et al., 2022). A capacidade dos nanofertilizantes de melhorar o equilíbrio metabólico das plantas, especialmente em culturas como o milho, torna-os uma ferramenta valiosa para enfrentar esses estresses. A melhora nos níveis de clorofila, proteínas e a atividade dos transportadores da parede celular não só fortalece as plantas contra condições adversas, mas também, potencializa seu crescimento e produtividade (EL-NAGGAR et al., 2020).

A crescente preocupação com a escassez de água em regiões áridas e semiáridas demanda soluções inovadoras para garantir a produtividade agrícola. A utilização de nanofertilizantes, como evidenciado no estudo de Ahmadian et al. (2021), surge como uma alternativa promissora. Os resultados positivos observados no rendimento do trigo, incluem melhorias: na altura das plantas, comprimento das espigas e no número de grãos por espiga, indicando que esses fertilizantes não apenas otimizam o crescimento das culturas, mas também, oferecem benefícios significativos, em condições de estresse hídrico.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em campo, no município de Rio Verde, localizado na região Sudoeste do Estado de Goiás, nas coordenadas 17°40’50’’S e 50°56’42’’W, a 791 m de altitude, nas safrinhas de 2022 e 2023. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, cultivado no sistema plantio direto com soja como cultura de verão. Os dados de precipitação e temperatura durante a condução do ensaio estão apresentados na figura 1.

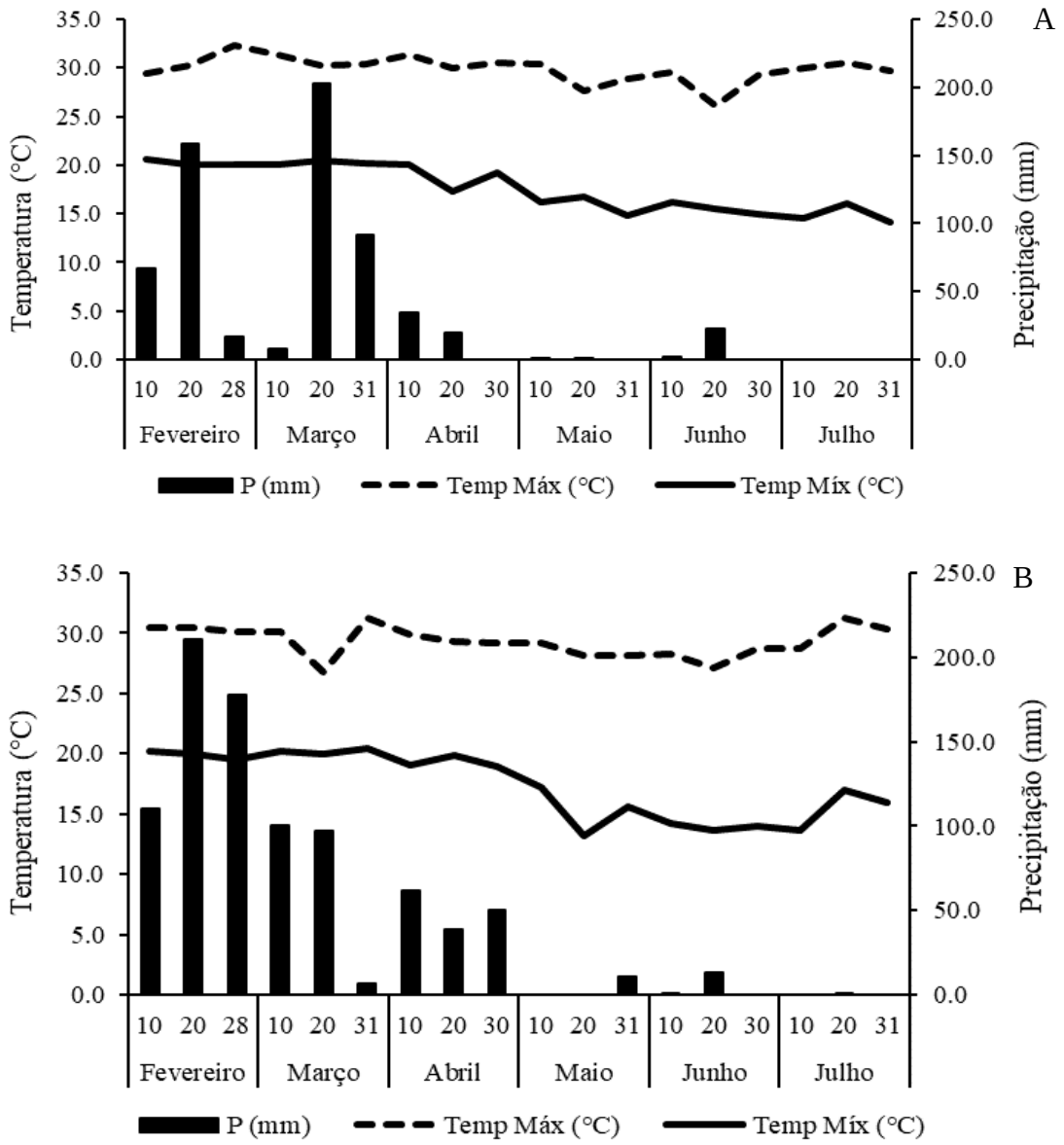

Figura 1 - Precipitação e temperaturas máxima e mínima durante a condução do ensaio em Rio Verde-GO, nas safrinhas 2022 (A) e 2023 (B).

Antes da semeadura, foi realizada a amostragem do solo na profundiade de 0 a 20 cm cujos resultados da análise química do solo foram: pH em CaCl2: 4,92; Ca: 2,55; Mg: 1,00; K: 0,26; Al: 0,05; Al + H: 4,70; e T: 8,56 em cmol dm $^{-3}$; S: 9,30 e P: 19,51 em mg dm^{-3}; V: 44,51%; B: 0,24; Cu: 4,90; Fe: 40,70; Mn: 59,10; e Zn: 1,90 mg dm^{-3}; matéria orgânica: 33,58 dag kg^{-3}; areia: 440; silte: 400; e argila: 160 em g kg^{-1}. A área foi adubada, em 2021 foi utilizado 480 e 230 kg ha^{-1} de super simples e KCl, respectivamente, já em 2022 foi utilizado 200 e 170 kg ha^{-1} de MAP e KCl, respectivamente.

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, esquema fatorial 5 x 2, o que corresponde a cinco doses de MIST-N (0,0; 1,0; 2,0; 3,0, e 4,0 L ha^{-1})

associado a 100 kg ha^{-1} de ureia, avaliados nos anos de 2022 e 2023. As parcelas continham cinco linhas de 8,0 m de comprimento, espaçadas de 0,5 m. A área útil foi obtida levando-se em consideração as duas linhas centrais, desconsiderando 2,0 m de cada extremidade, apresentando, portanto, 7,0 m^2

O nanofertilizante utilizando pertence a linha de produtos MIST, composto por nanopartículas minerais de alta pureza. O MIST-N utiliza uma dispersão nanomineral que aloja N em seus poros. Ele é composto por 27 % de N, 14,1 % de Ca, 6,5 % de Mg e 5,8 % de S. Recomenda-se em cultivos intensivos a aplicação de 3 a 4 L ha^{-1} do produto. Para auxiliar as aplicações foi utilizado garrafas pets de 2 L, onde contiam as diferentes doses do produto dissolvidos em água.

O híbrido de milho utilizado foi o P3898 (caracterizado por ser precoce, finalidade para grão, semidentado e amarelo-alaranjado). As sementes foram tratadas com 0,3 L 60.000 $sementes^{-1}$ de [imidacloprido (neonicotinóide) + tiodicarbe (metilcarbamato de oxima)] (CropStar®) visando o controle de insetos mastigadores (*Spodoptera frugiperda*) e sugadores (*Dichelops melacanthus* e *Rhopalosiphum maidis*) na fase inicial de desenvolvimento das plântulas. A semeadura ocorreu na primeira semana do mês de fevereiro de ambos os anos.

As aplicações em cobertura de N mineral e de MIST-N foram feitas nos estádios de quatro folhas completamente desenvolvidas. A aplicação de nitrogênio foi feita manualmente, a lanço com uso de ureia. Já a pulverização foliar do produto MIST-N foi realizada por meio de um pulverizador costal pressurizado por CO_2 munido de barra com quatro pontas de pulverização tipo TT 110-02 de leque duplo e volume de calda equivalente a 150 L ha^{-1} quando regulado a 2,5 kgf cm^{-2}.

Aos 34 dias após a emergência (DAE), foram determinados os índices de clorofilas *a* e *b*, bem como a soma e a razão das mesmas por meio do uso do clorofilômetro Marca Falker, Modelo ClorofiLog. Os valores foram expressos pelo índice de clorofila Falker (ICF). As avaliações foram feitas entre 9:00 e 11:00 horas, na última folha totalmente expandida.

No momento em que mais de 75 % das plantas atingiram a floração (estádio R1 segundo escala de Ritchie et al., 1993), no qual era possível observar a presença de estigmas visíveis (62 DAE), foi realizada a medição de área foliar em duas plantas por parcela. Nesta avaliação, determinou-se o comprimento (C) e a largura (L) de todas as folhas que apresentavam pelo menos 50 % de sua área verde. A área foliar de cada folha (A) por planta foi obtida pela expressão: A = C x L x 0,75 (TOLLENAAR, 1992). A área foliar por planta de milho foi calculada somando-se as áreas de todas as folhas da planta, obtendo posteriormente o valor médio das plantas avaliadas.

A colheita foi realizada na primeira semana de julho, em ambos os anos de 2022 e 2023, sendo avaliadas, na área útil das parcelas, as seguintes características agronômicas: produtividade de grãos (colheita das espigas com posterior debulha e pesagem dos grãos com correção da umidade para 130 g kg^{-1}), peso de mil grãos (contagem e pesagem de mil grãos a partir da amostra de produtividade, com correção da umidade para 130 g kg^{-1}), número de espigas por hectare e grãos por espiga, população de plantas (contagem do número de plantas colhidas), número de espigas (contagem do número de espigas colhidas) e alturas de plantas e de inserção da espiga (medição do colo até a extremidade do pendão e da inserção da última espiga completamente desenvolvida, respectivamente, em cinco plantas).

Os dados foram submetidos a análise de variância, e quando significativo as médias do fator qualitativo (anos) foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, e as médias do fator quantitativo (doses) foram submetidos a analise de regressão.

Por fim, foi feita análise de correlação de Pearson (limiar fixado em 0,60). Foi montada uma rede de correlação para ilustrar graficamente as análises de correlação de *Pearson*, em que a proximidade entre os nós é proporcional aos valores de correlação absoluta entre as variáveis. Essas análises foram realizadas no software Rbio (BHERING, 2017).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As doses de MIST-N e as safras interagiram signficativamente: na população de plantas, altura de plantas, de inserção da espiga e número de espigas (Tabela 2). Houve diferença entre: as safras para indíces de clorofila *b*/total, relação clorofila *a/b*, diâmetro de colmo, altura de plantas e produtividade. E as doses de MIST-N influenciaram significativamente na altura de plantas, de inserção da espiga, e produtividade. O índice de clorofila *a*, área foliar e peso de mil grãos não sofreram influência de nenhuma das fontes de variação (Tabela 2).

Tabela 1 - Resumo da análise de variância para clorofila *a* (C*a*), clorofila b (C*b*), clorofila total (CT), relação clorofila *a* e *b* (C*a* C*b*$^{-1}$), área foliar (AF), diâmetro do colmo (DC), população de plantas (POP), altura de plantas (AP), altura de inserção da espiga (AIE), número de espigas (NE), número de grãos por espigas (NGE), peso de mil grãos (PMG) e produtividade de grãos (PROD) do milho cultivado na safrinha de 2022 e 2023 e tratado com 0, 1, 2, 3, e 4, L ha^{-1} de MIST-N

Variáveis	Fonte de variação					
	Safras	Doses	Safras x Doses	Bloco	Resíduo	CV%
C*a*	47,00 ^{ns}	39,50 ^{ns}	35,40 ^{ns}	45,35 ^{ns}	30,32	10,31
C*b*	364,10 **	19,10 ^{ns}	17,77 ^{ns}	22,60 ^{ns}	12,10	14,90
CT	670,00 *	98,18 ^{ns}	99,59 ^{ns}	115,44 ^{ns}	72,80	11,13
C*a* C*b*$^{-1}$	3,90**	0,23 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,14	16,43
AF	910626,15 ^{ns}	123584,15 ^{ns}	162832,23 ^{ns}	153718,32 ^{ns}	154677,23	6,04
POP (plantas ha^{-1})	104166,33 ^{ns}	13802083,33 ^{ns}	36302083,33 *	9270833,33 ^{ns}	11302083,33	5,91
DC (mm)	2824,94 **	2,89 ^{ns}	2,20 ^{ns}	67,18 **	5,13	25,27
AP (m)	0,51 **	0,03 *	0,04 *	0,02 ^{ns}	0,01	4,19
AIE (m)	0,001 ^{ns}	0,009 *	0,015 **	0,005 ^{ns}	0,003	4,95
NE	12604166,67 ^{ns}	19635416,67 ^{ns}	36822916,67 *	11270833,33 ^{ns}	13354166,67	6,40
NGE	3870,46 ^{ns}	2319,27 ^{ns}	5886,34 ^{ns}	3065,77 ^{ns}	3652,05	12,56
PMG (g)	2028,85 ^{ns}	447,78 ^{ns}	160,51 ^{ns}	494,53 ^{ns}	658,67	9,14
PROD (kg ha^{-1})	4316947,27 **	1206157,72 **	628460,40 ^{ns}	305199,12 ^{ns}	313235,81	7,33

CV: coeficiente de variação; * significativo a 5 %; ** significativo a 1 %; ^{ns} não significativo.

Na safra de 2023, quando comparada a de 2022, as plantas de milho tiveram maior índice de clorofila *b* e clorofila total, sendo, respectivamente, de 25,76 e 79,93 (Figura 2). E na safra de 2022 foi observado maior relação clorofila *a*/clorofila *b* (Figura 2). Essa maior relação clorofila *a*/clorofila *b* observada na safra de 2022 deve-se ao fato de ter tido menor índice de clorofila *b*, o que, consequentemente, aumenta a relação clorofila *a*/clorofila *b*.

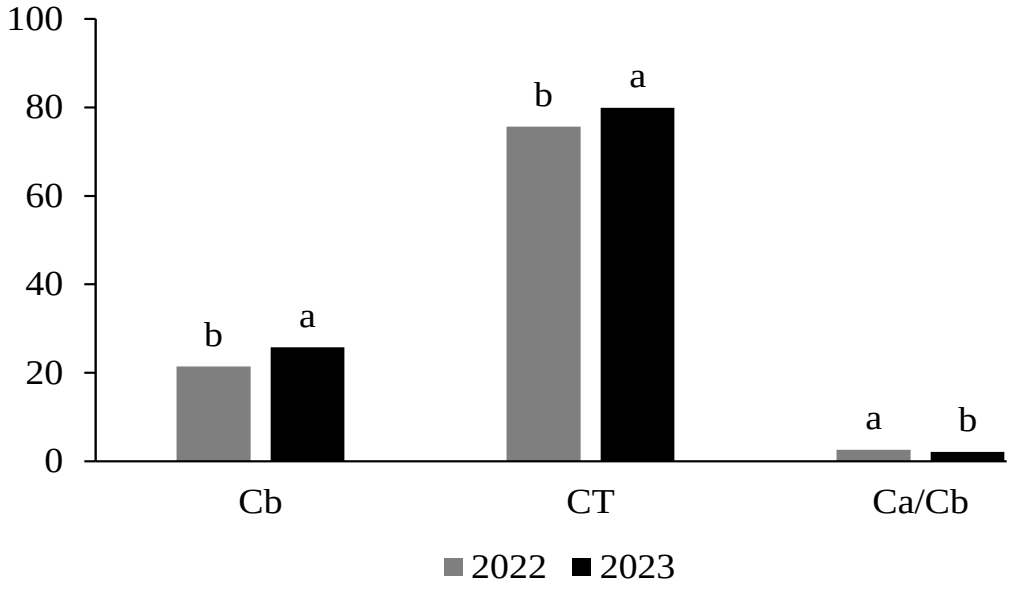

Figura 2 - Índice de clorofila *b* (Cb), clorofila total (CT), razão clorofila *a* e clorofila *b* (Ca/Cb) e diâmetro do colmo (DC, mm) de plantas de milho safrinha em função das safras 2022 e 2023.

O índice de clorofila é muito importante para a produtividade do milho, pois a constituição dos grãos está diretamente associada com a translocação de açúcares da fotossíntese e de N dos órgãos vegetativos para os órgãos reprodutivos (KARLEN et al., 1988). Ma et al. (2017), concluíram que o maior teor de clorofila foi registrado nos tratamentos que receberam nano ureia, indicando que a nano ureia é capaz de melhorar a eficiência fotossintética das plantas, levando a maior teor de clorofila.

Na população de plantas, em 2022, as concentrações de MIST-N ajustaram-se ao modelo linear crescente (Figura 3A), ou seja, a maior população foi obtida na dose de 4 L ha^{-1} de MIST-N. Já em 2023, não houve ajuste de modelo, mas a melhor resposta foi obtida na concetração de 1 L h^{-1} de MIST-N (Figura 3B). Amany et al. (2019), relataram que os maiores valores de número de espigas por planta e peso de mil grãos foram registrados na dose máxima do nanofertilizante.

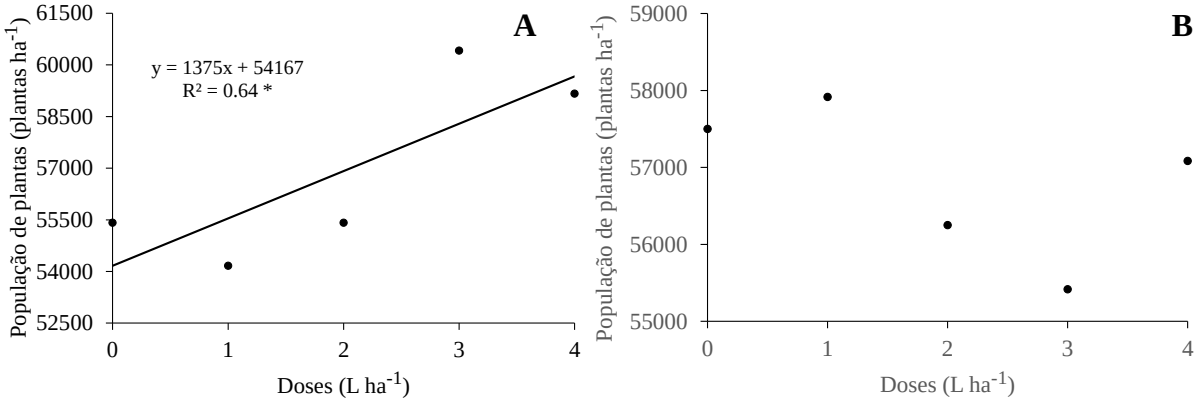

Figura 3 - População de plantas em função das doses de MIST-N associadas a 100 kg ha^{-1} de ureia aplicadas na cultura do milho safrinha nas safras 2022 (A) e 2023 (B).

As plantas de milho na safra 2022 tiveram menor diâmetro do colmo que na safra 2023, mas a altura de plantas na safra 2022 foi maior que em 2023 (Figura 4). Isso indica que na segunda safra as plantas investiram mais em diâmetro, enquanto que na primeira em altura.

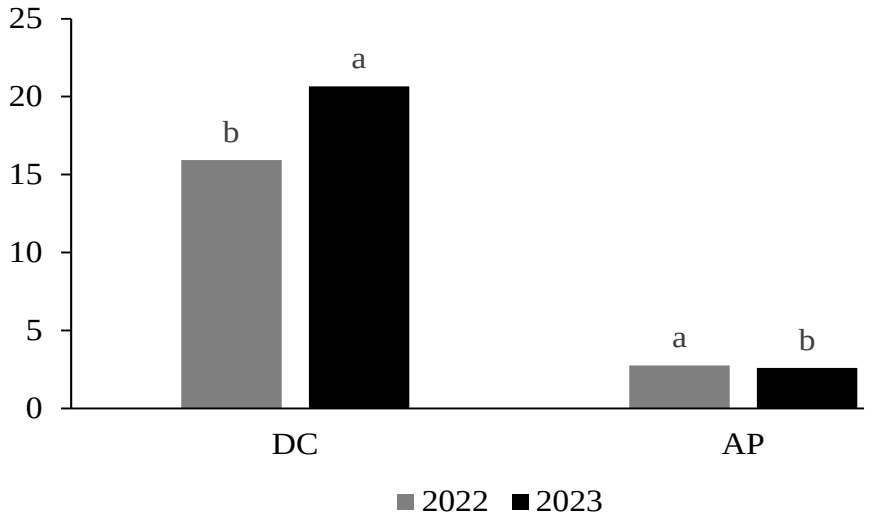

Figura 4 - Diâmetro do colmo (DC, mm) e altura de plantas (AP, m) de milho safrinha em função das safras 2022 e 2023.

O efeito das concentrações de MIST-N sob a altura de plantas no ano de 2022 ajustou-se ao modelo linear decrescente, sendo a melhor resposta encontrada nas doses de 100 kg de N e 1,0 L ha^{-1} de MIST-N mais 100 kg de N, com respectivas alturas de 2,92 e 2,87 m (Figura 5). E na safra 2023 não houve ajuste de modelo, mas teve melhor resposta na dose máxima de MIST-N (4,0 L ha^{-1}), com altura de 2,61 m. Radwan et al. (2017), descobriram que o maior valor de altura de plantas de milho foi obtida quando as parcelas foram tratadas com nanofertilizante via foliar, este tem a capacidade de reduzir a volatilização, sua combinação com fertilizantes convencionais aumenta a eficácia da absorção de nutrientes (REDDY et al., 2022).

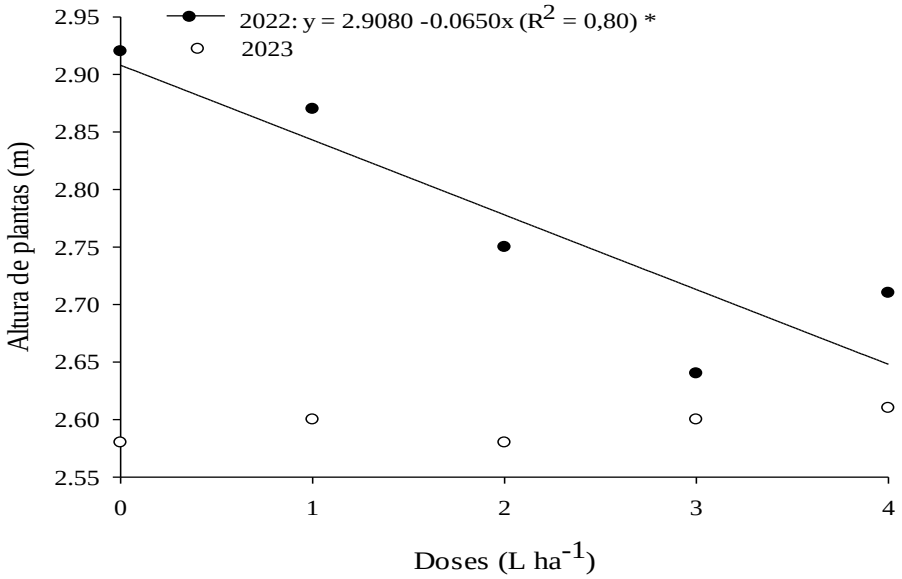

Figura 5 - Altura de planta do milho safrinha em função das doses de MIST-N associadas a 100 kg ha^{-1} de ureia nas safras 2022 e 2023.

A altura de inserção da espiga diferenciou-se entre os anos somente nas doses de 0 e 3 L ha^{-1}, em que foram mais altas nos anos de 2022 e 2023, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 2 - Altura de inserção da espiga (m) de plantas de milho nas safras 2022 e 2023 em função das doses de MIST-N associadas a 100 kg ha^{-1} de ureia

Doses (L ha^{-1})	**2022**	**2023**
0	1,25 a	1,16 b
1	1,19 a	1,20 a
2	1,19 a	1,17 a
3	1,09 b	1,20 a
4	1,13 a	1,17 a

Médias seguidas de mesma letra na linha não se difere entre si pelo teste de Tukey (*p < 0,05*).

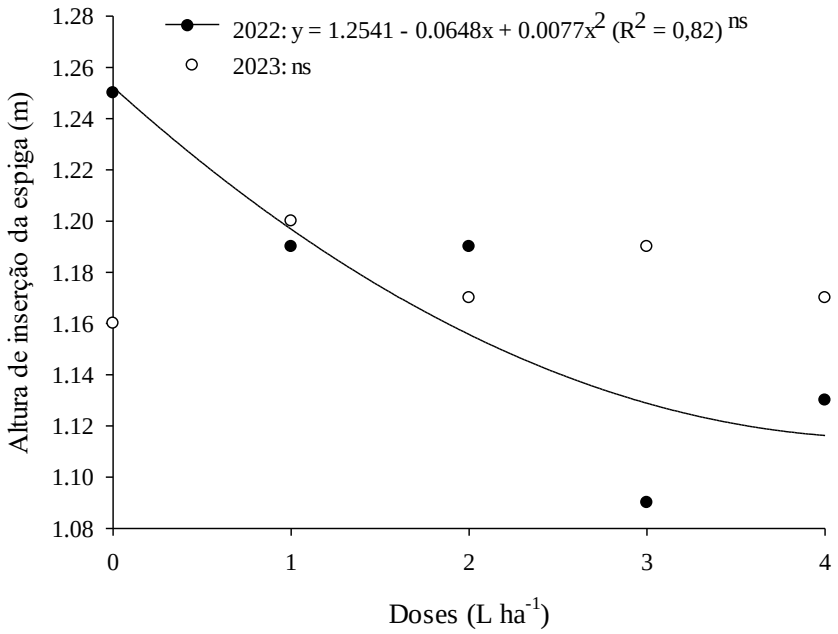

Figura 6 - Altura de inserção da espiga (m) do milho safrinha em função das doses de MIST-N associadas a 100 kg ha^{-1} de ureia, nos anos de 2022 e 2023.

Em 2022 não verificou-se diferença significativa entre as doses de MIST-N, para o número de espigas e no ano de 2023, não ocorreu ajuste de modelo e nem diferença significativa entre as doses (Tabela 4).

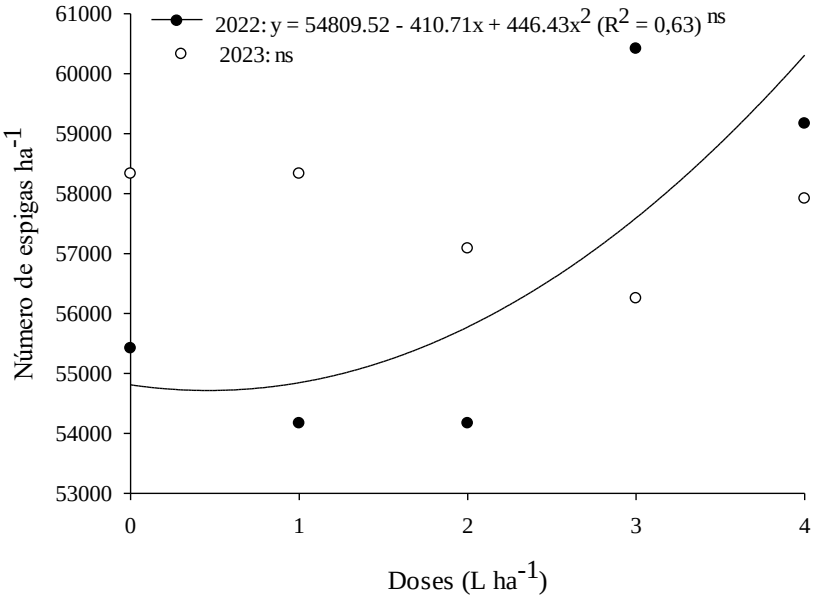

Figura 7 - Número de espigas por hectare de plantas de milho safrinha em função das doses de MIST-N associadas a 100 kg ha^{-1} de ureia nas safras 2022 e 2023b.

A dose de máxima resposta do MIST-N sobre a produtividade de grãos foi de 2,7 L ha^{-1}, que promoveu uma produtividade média de 7886 kg ha^{-1} (Figura 8). Kumar et al. (2021) concluíram que aplicação de fertilizante nitrogenado nanométricos aumenta a produtividade, melhorando a fotossíntese e a translocação de nutrientes. Muitos produtores tendem a reduzir a adubação na safrinha, causando impactos negativos, não só na produtividade de grãos, mas principalmente, nos estoques de N ativos no solo, o que leva a degradação da MOS, comprometendo o potencial produtivo do sistema soja/milho como um todo (CONCEIÇÃO et al., 2005; SINGH, 2018; ROCHA et al., 2020).

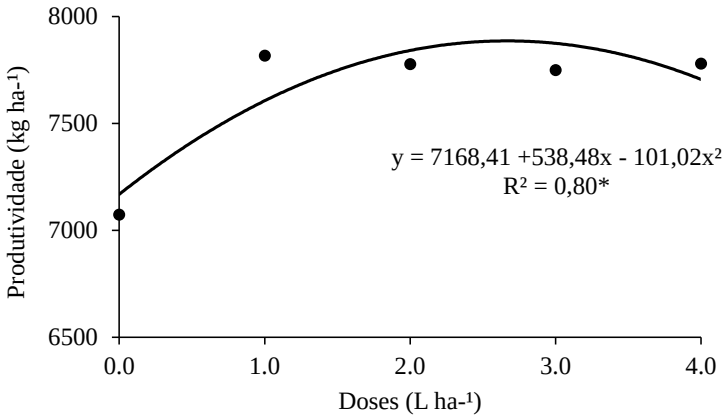

Figura 8 - Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) do milho safrinha em função das doses de MIST-N associadas a 100 kg ha^{-1} de ureia.

Alta concentração de sais nos atributos químicos do solo, juntamente com a presença elevada do N, podem reduzir o potencial osmótico da solução do solo causando mudanças nutricionais, fisiológicas e métabolicas nas culturas, impactando negativamente na formação de fotoassimilados e, consequentemente, no rendimento (RODRIGUES et al., 2018; LIMA et al., 2019; LIMA et al., 2020).

A produtividade de grãos foi mais alta em 2022 comparando-se com 2023 (Figura 9).

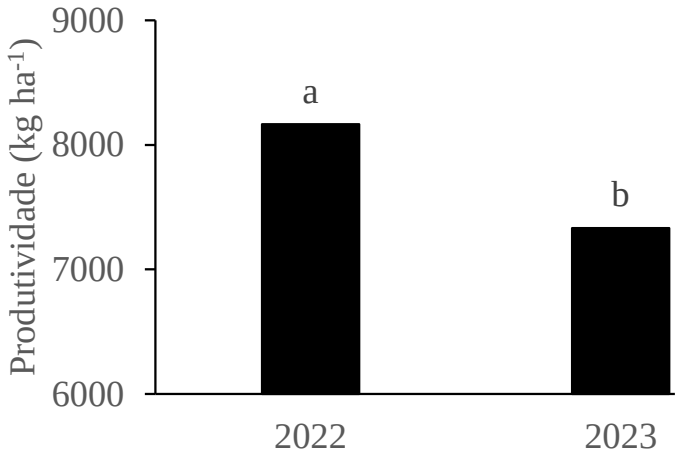

Figura 9 - Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de milho safrinha nas safras 2022 e 2023. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O número de espigas correlacionou-se forte e positivamente (0,94) com a população de plantas (Figura 10), da mesma maneira que o índice de clorofila total com a clorofila *a* (0,95) e *b* (0,91). Os índices de clorofila *a* e *b* também correlacionaram-se positivamente entre si (0,73). As clorofilas *a* e *b* são pigmentos associados à fotossíntese, e geralmente encontram-se na natureza numa proporção de 3:1 (STREIT et al., 2005). Isso pode ter feito quando esses pigmentos correlacionassem positivamente entre si e com a clorofila total. A clorofila *a* é a mais abundante nas plantas, atuando na síntese de substâncias orgânicas, e utilizada na etapa fotoquímica da fotossíntese, enquanto a clorofila *b* é um pigmento acessório e atua aumentando faixa de absorção de luz que pode ser usada no processo fotossintético (STREIT et al., 2005). E o índice de clorofila *b* correlacionou-se forte e negativamente com a relação entre a clorofila *a* e *b* (-0,81). Isso se deve ao fato de serem variáveis inversamente proporcionais.

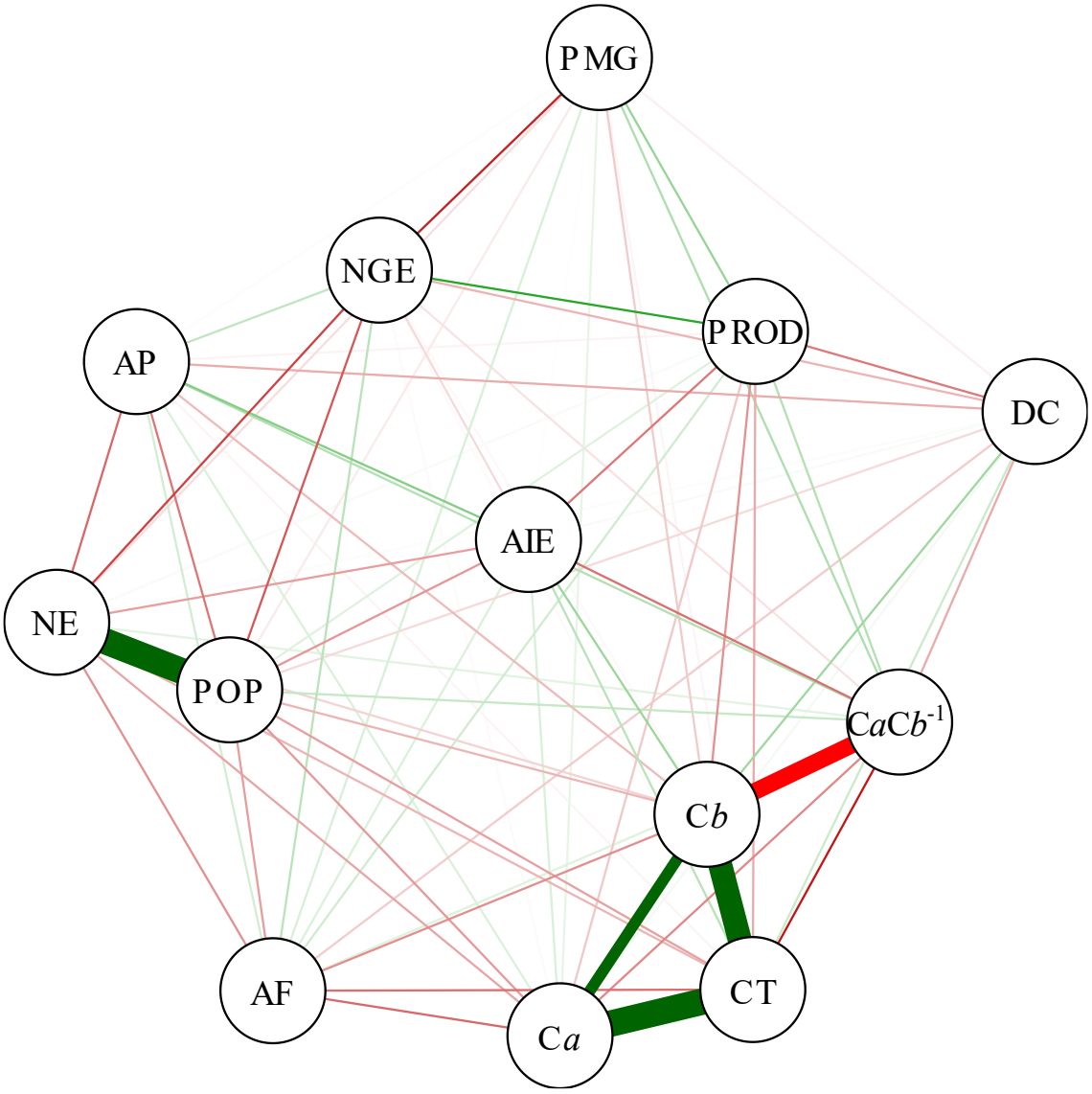

Figura 10 - Rede de correlação ilustrando a correlação de Pearson entre as variáveis clorofila *a* (C*a*), clorofila b (C*b*), clorofila total (CT), relação clorofila *a* e *b* (C*a*Cb^{-1}), área foliar (AF), população de plantas (POP), altura de plantas (AP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), número de espigas (NE), número de grãos por espigas (NGE), peso de mil grãos (PMG) e produtividade de grãos (PROD) do milho cultivado na safrinha de 2022 e 2023 e tratado com 0, 1, 2, 3, e 4, L ha^{-1} de MIST-N. As linhas mais grossas e verdes representam as correlações positivas mais altas. As linhas vermelhas representam as correlações negativas.

O uso de nano fertilizantes na cultura do milho safrinha mostra resultados promissores. Esses fertilizantes de tamanho reduzido apresentam vantagens como: menor perda por lixiviação e maior disponibilidade dos nutrientes para as plantas, quando combinado com fertilizantes convencionais.

Conclui-se que, os estudos realizados até o momento demonstraram que a aplicação de nanofertilizantes no milho safrinha resulta em um aumento significativo na produtividade e qualidade dos grãos. Além disso, observou-se uma melhora no desenvolvimento da planta.

Apesar dos resultados promissores, ainda são necessárias mais pesquisas e experimentos para avaliar completamente os efeitos dos nanofertilizantes no milho safrinha, incluindo estudos de longo prazo e análise dos impactos ambientais e econômicos.

5 CONCLUSÃO

O MIST-N influenciou no desenvolvimento das plantas do milho safrinha, tendo maior produtividade (xx kg ha^{-1}) na dose de de 2,7 L ha^{-1} mais 100 kg ha^{-1} de ureia, sendo essa resposta influenciada fortemente, pelas condições ambientais, que podem flutuar ao longo dos anos.

REFERÊNCIAS

ADISA, I. O., PULLAGURALA, V. L. R., PERALTA-VIDEA, J. R., DIMKPA, C. O., ELMER, W. H., GARDEA-TORRESDEY, J. L., ET AL. Recent advances in nano-enabled fertilizers and pesticides: a critical review of mechanisms of action. **Environ**. Sci. Disponível em: https:/2002–2030, 2019. doi:10.1039/C9EN00265. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

ADHIKARI, T.; KUNDU, S.; BISWAS, A.K.; TARAFDAR, J.C; RAO, A.S. Effect of copper oxide nano particle on seed germination of selected crops. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.2, n.6, p.815-823, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

AHMADIAN, K., JALILIAN, J. PIRZAD, A. Nano-fertilizers improved drought tolerance in wheat under deficit irrigation. **Agric. Water Manag**., 244: 106544, 2021.

AHMED, N. R; SHEHA, A. M; HAMD-ALLA, W. A. Effect of intercropping of some legume forage crops with maize under levels of mineral NPK and nano NPK fertilizer. **Journal of Plant Production**.2019;10(10):833-842.

AJITHKUMAR, K; KUMAR, Y; SAVITHA, Effect of IFFCO nanofertilizer on growth, grain yield and managing teucrium leaf blight disease in maize. **International Jornal of Plant and Soil Science**.2021;33(16):19-28.

ALBUQUERQUE, A. W; SANTOS, J. R; MOURA FILHO, G; REIS, L. S. **Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto**. R. B. de. Eng Agricola e Ambiental, 2013;17:7. Disponível em: https:// doi:10.1590/s1415-43662013000700005. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

ÁLVAREZ, RCF; CRUSCIOL, CAC; NASCENTE, AS; RODRIGUES, JD & HABERMANN, G. Gas exchange rates, plant height, yield components, and productivity of upland rice as affected by plant regulators. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2012, 47:1455-1461.

AMADO, T. J. C; SCHLEINDWEIN, J. Á; FIORIN, J. E. **Manejo do solo visando à obtenção de elevados rendimentos de soja sob sistema plantio direto**. In: Thomas AL, Costa JA (org.). Soja: manejo para alta produtividade de grãos. Porto Alegre, UFRGS, 2010. p.35-97.

AMANY, K. EL-HABBAK; HASSAN, R. EL-DEEPAH; Effect of Organic, Inorganic and Nano Fertilizers on Agronomic Traits of Maize. **Annals of Agricultural Science, Moshtohor**, V. 57, n. 11- 20, 2019. Disponível em: https://DOI: 10.21608/assjm.2019.41877. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

BORRÁS, L.; OTEGUI, M. E. Maize kernel weight response to post-flowering sourcesink ratio. **Crop Science**, v.41, n.6, p.1816-1822, 2001.

BORGES, R., WYPYCH, F., PETIT, E., FORANO, C., AND PREVOT, V. Potential sustainable slow-release fertilizers obtained by mechanochemical activation of MgAl and MgFe layered double hydroxides and K2HPO4. **Nanomaterials** 9, 183, 2019 Disponível em: https://doi:10.3390/nano9020183. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

BORTOLETI JUNIOR, A; GONÇALVES, L. G; RIBEIRO, M. A. R; AFONSO, R; SANTOS, R; SOUZA, C. A importância do Plantio Direto e do Plantio Convencional e as suas relações com o manejo e conservação do solo. **Revista Conexão Eletrônica**, Três Lagoas, v. 12, n. 1, p. 296-306, 2015.

BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 187-190, 2017

CANTARELLA, H., RAIJ, B. VAN, & CAMARGO, C. E. O. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In B. Van Raij, H. Cantarella, J. A. Quaggio, & A. M. C. Furlani (Eds.), Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo (pp. 1-70). **Instituto Agronômico de Campinas (IAC)**, 2008.

CHAGAS, P. H. M., GOUVEIRA, G. C. C., COSTA, G. G. S., BARBAOSA, W. F. S., & ALVES, A. C. (2017). Volatilização de amônia em pastagem adubada com fontes nitrogenadas. **Revista de Agricultura Neotropical**, 4(2), 76-80. Disponível em: https://doi.org/10.32404/rean.v4i2.1301. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

COELHO, J. D. Milho: Produção e Mercado. **Caderno Setorial ETENE**, 6(182), 2021.

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.777-788, 2005. Doi: Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000500013. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (2021) **Acompanhamento da safra brasileira de grãos.** Safra 2020/21 4° Levantamento. Disponível em: https://www.co-nab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

DIMKPA, C. O.; SINGH, U.; ADISA, I. O.; BINDRABAN, P. S.; ELMER, W. H. Nanopartículas de óxido de zinco aliviam alterações induzidas pela seca no desempenho do sorgo, aquisição de nutrientes e qualidade do grão. **Relatórios científicos**, 9(1), 1-14, 2019.

DOURADO NETO, D.; FAVARIN, J. L.; MANFRON, P. A.; PILAU, F. A.; SOARES, M. A.; BONNECARRERE, R. A. G.; Ohse, S. Efeito de boro e nitrogênio na cultura do milho. **Insula**, v1, p.51-67, 2004.

EL-NAGGAR, M. E., ABDELSALAM, N. R., FOUDA, M. M., MACKLED, M. I., ALJADDADI, M. A., ALI, H.M. AND KANDIL, E. E. Soil application of nano silica on maize yield and its insecticidal activity against some stored insects after the post-harvest. **Nanomaterials**, 10(4): 739, 2020.

FARIAS, J. B; NEPOMUCENO, A. L; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da Soja. Circular Técnica**, v.48, p.1-9, 2007.

FOWLER, D.; STEADMAN, C. E.; STEVENSON, D.; COYLE, M.; REES, R. M.; SKIBA, U. M.; GALLOWAY, J. N. Effects of global change during the 21st century on the nitrogen cycle. **Atmospheric Chemistry and Physics**, 15(24), 13849-13893. Disponível em: https://doi.org/10.5194/acp-15-13849-2015, 2015. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

GOLBASHY, M., SABAHI, H., ALLAHDADI, I., NAZOKDAST, H., AND HOSSEINI, M. Synthesis of highly intercalated urea-clay nanocomposite via domestic montmorillonite as eco-friendly slow-release fertilizer. **Arch. Agron. Soil** Sci. 63, 84, 2016. Disponível em: https://doi:10.1080/03650340.2016.1177175. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

ONTIJO NETO, M. M; MAY, A; VANIN, A; SILVA, A. F. D. A; SIMÃO, E. D. E. P; SANTOS, E. A. D. O. S; QUEIROZ, L. R; BARCELOS, V. G. F. Avaliação de cultivares e épocas de semeadura de milho safrinha na região de Rio Verde (Go). in: seminário nacional [de] milho safrinha, 12., 2013, dourados. Estabilidade e produtividade: **Anais**. Brasília, DF: Embrapa; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013.

IBGE -Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística -Sis-tema de Recuperação Automática - SIDRA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Brasil 2020. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

JINWEN, L.; JINGPING, Y.; PINPIN, F.; JUNLAN, S.; DONGSHENG, L.; CHANGSHUI, G.; WENYUE, C. Responses of rice leaf thickness, SPAD readings and chlorophyll a/b ratios to different nitrogen supply rates in paddy field. **Field Crops Research**, v.114, n.3, p.426–432, 2009.

KARIMI, F.; SULTANA, S.; SHIRZADI BABAKAN, A. Land suitability evaluation for organic agriculture of wheat using GIS and multicriteria analysis. **Papers in Applied Geography**, vol. 4, no. 3, pp. 326-342, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1080/23754931.2018.1448715. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

KARLEN, J. R.; FLANNERY, R. L.; SADLER, 8.E. J. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. Agronomy **Journal Madison**, v. 80, p. 232-242, 1988.

KHAN, M. I.; KHAN, S. T.; KHAN, M. A.; ADIL, S. F. Nanofertilizantes: uma abordagem emergente. Nanotecnologia Ambiental, **Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade**. 13, 100295, 2020.

KOPPER, C. V.; MEERT, L.; KRENSKI, A.; BORGHI, W. A.; DE OLIVEIRA NETO, A. M.; FIGUEIREDO, A. S. T. Características agronômicas e produtividade de milho segunda safra. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v.22, 2017.

KOTTEGODA, N., MUNAWEERA, I., MADUSANKA, N., KARUNARATNE, V. A green slowrelease fertilizer composition based on ureamodified hydroxyapatite nanoparticles encapsulated wood. **Current Science** 101(1):73–78, 2011.

KOTTEGODA, N., SANDARUWAN, C., PRIYADARSHANA, G., SIRIWARDHANA, A., RATHNAYAKE, U. A., Urea-Hydroxyapatite nanohybrids for slow release of nitrogen. **ACS Nano** 11, 1214–1221, 2017. Disponível em: https://doi:10. 1021/acsnano.6b07781. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

LIMA, G. S.; DIAS, A. S.; SOARES, L. A. A.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SILVA, Eficiência fotoquímica, partição de fotoassimilados e produção do algodoeiro sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 214-225, 2019.

LIMA, G. S.; SILVA, J. B.; PINHEIRO, F. W. A.; SOARES, L. A. A.; GHEYI, H. R. Potassio does not attenuate salt stress in yello passion fruit under irrigation management strategies. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 4, p. 1082-1091, 2020.

LIU, Z.; MA, Z.; LI, J.; BIAN, N.; GUO, Z.; GUO, J.; ZHAO, S.; CHU, B.; NIU, C.; Interfering small ubiquitin modifiers (SUMO) exhibits apple's enhanced tolerance to nitrogen deficiency**. Fruit Res**., 3, 24, 2023.

LIU, Y.; ZHANG, M.; LI, Y.; ZHANG, Y.; HUANG, X.; Influence of nitrogen fertilizer application on soil acidification characteristics of tea plantations in karst areas of southwest China. **Agriculture**, v. 13, n. 4, p. 849, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/agriculture13040849. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

LUCAS, R. W.; KLAMINDER, J. A meta-analysis of the effects of nitrogen additions on base cations: Implications for plants, soils, and streams. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 2, p. 95-104, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foreco. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

MA, G; RADWAN, FI; KANDIL, EE; AL-CHALLABI, DHH. Comparison of some new maize hybrids response to mineral fertilization and some nanofertilizers. **Alexandria Science Exchange Journal.** 2017;38(JulySeptember):506-514.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Ecofisiologia da Produçãdo de Sorgo**.** Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2003. 2 p. (**EMBRAPA-CNPMS. Circular técnica, 86**).

MATTEI, E., OLIVEIRA, P. S. R., CRUSCIOL, C. A. C., REGO, C. A. R. M., PIANO, J. T., & SILVEIRA, L. (2021). Effect of intercropping between tropical fodder plants with corn and nitrogen fertilization on soil physical properties**. Revista de Agricultura Neotropical**, 8(4), e6318. Disponível em: https://doi.org/10.32404/rean.v8i4.6318. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

MEIRA, F. A. **Fontes e modos de aplicação do nitrogênio na cultura do milho**. Tese (Doutorado em Agronomia, Engenharia) -Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 2006.

MOHAMMADI, S.A.; PRASANNA, B.M.; SINGH, N. N. Sequential path model for determining interrelationship among grain yield related characters in maize. **Crop Science,** v. 43, n.5, p.690-1697, 2003.

NADERI, M. R. DANESH-SHAHRAKI, A. Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture International. **Journal of Agriculture and Crop Sciences** 5(19):2229– 2232, 2013.

NETO, D. C. O. R.; BARROS, L. R., SOUSA, V. S., VRASIL, E. P. F., RIBON, A. A., &SMANIOTTO, A. O. Initial development of corn subjected to increasing nitrogen doses. **Revista de Agricultura Neotropical**, 8(1), e5226. 2021. Disponível em: https://doi.org/10.32404/rean.v8i1.5226. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

NÓIA JÚNIOR, R. de S.; SENTELHAS, P. C. Soybean-maize off-season double crop system in Brazil as affected by El Niño Southern oscillation phases. **Agricultural Systems**, v. 173, p. 254- 267, 2019v. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.012. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

NOVAIS, R. F., SMYTH, T. J., NUNES, F. N. Fertilidade do solo. In R. F. Novais, V. H. Alvarez, N. F. Barros, R. L. F. Fontes, R. B. Cantarutti, & J. C. L. Neves (Eds.), Fertilidade do solo (pp. 201-276). **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007.

O′BRIEN, J.A.; VEGA, A.; BOUGUYON, E.; KROUK, G.; GOJON, A.; CORUZZI, G.; GUTIÉRREZ, R.A. Nitrate transport, sensing, and responses in plants. **Mol. Plant** 2016, 9, 837–856.

PEREIRA, C. S., GEISE, E., FIORINI, I. V. A., & LANGE, A. Épocas de semeadura de milho na região norte de Mato Grosso. **Nativa** 6(3), 241-245, 2018. Disponível em: http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i3.5471. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

PINOTTI, E. B.; BICUDO, S. J.; GODOY, L.D.; BUENO, C. Características agronômicas de cultivares de milho em função de populações de plantas e épocas de semeadura. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, v. 25, n.1, p.17-33, 2014.

RAJESH H, YADAHALLI G, CHITTAPUR BM, HALEPYATIAS, HIREGOUDAR S. Growth, yield and economics of sweet corn (*Zea mays* L. Saccarata) as influenced by foliar sprays of nano fertilisers. **Journal of Farm Sciences.** 2021;4:381-385. Disponível em: https://doi.org/10.61475/jfm.v34i04.157. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

REDDY, B. M, ELANKAVI, S; KUMAR, M. S; SAI, M. V; VANI, B. D. **Effects of conventional and nano fertilizers on growth and yield of maize** (*Zea mays L.*).Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika. 2022; 500:1-4.

REDIN, M.; RECOUS, S.; AITA, C.; DIETRICH, G.; SKOLAUDE, A.C.; LUDKE, W.H.; SCHMATZ, R.; GIACOMINI, S.J. 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. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.07.014. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

REIS, F. O.; CAMPOSTRINI, E. Microaspersão de água sobre a copa: um estudo relacionado às trocas gasosas e à eficiência fotoquímica em plantas de mamoeiro. **Revista Brasileira Agrociência**, v. 17, p. 284-295, 2011.

RIBEIRO, R. H., BESEN, M. R., SIMON, P. L., BAYER, C., & PIVA, J. T. Enhanced efficiency nitrogen fertilizers reduce winter losses of nitrous oxide, but not of ammonia, from no-till soil in a subtropical agroecosystem. Soil Use and Management, 36(3), 420- 428, 2020. Disponível em: https:// doi: 10.1111/sum.12575. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

ROCHA, B. G.; AMARO, H. T; PORTO, E. M; GONÇALVES, C.C; DAVID, A. M; LOPES, E. B. Sistema de semeadura cruzada na cultura da soja: avanços e perspectivas. **Revista de Ciências Agrárias**, v.41, n.2, p.376-384, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.19084/RCA17260. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

ROCHA, K.F.; SOUZA, M. de; ALMEIDA, D.S.; CHADWICK, D.R.; JONES, D.L.; MOONEY, S.J.; ROSOLEM, C.A. Cover crops affect the partial nitrogen balance in a maize-forage cropping system. **Geoderma**, v.360, art.114000, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114000. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

RODRIGUES, J. L; MASSENA, E. C; SANTOS, NETO A. L; SOUZA, A. A; SILVA R. B; MARTINS, G. M. C**.** Bactérias promotoras de crescimento em plantas aliada a adubação nitrogenada na produção de milho doce. **Agropec. Técnica,** 41(3–4). Disponível em: https://doi.org/10.25066/agrotec.v41i3-4.54809, 2020. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

RODRIGUES, V. S.; SOUSA, G. G.; SARAIVA, S. E. L.; CARDOSO, E. R. C.; PEREIRA FILHO, J. V.; VIANA, T. V. A. Atributos químicos do solo em área cultivada com milho sob irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 7, p. 3129-3138, 2018.

ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; BETTA, M.; POLIDORO, J.C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de braquiária, sorgo e soja em áreas de plantio direto no cerrado goiano. Semina: **Ciências Agrárias**, v.34, p.1523-1534, 2013. DOI: Disponível em: https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n4p1523. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

SANGOI, L.; GUIDOLIN, A. F.; COIMBRA, J. L. M.; SILVA, P. R. F. D. Resposta de híbridos de milho cultivados em diferentes épocas à população de plantas e ao despendoamento. **Ciência Rural**, v. 36(5), p. 1367-1373, 2006.

SANTOS, G. V; OLIVEIRA, G. M; ROCHA, D. F; ALMEIDA, L. R; PEREIRA, A. V; SILVA, T. N. Influência de lâminas de irrigação na produção de milho cultivado na região norte da Bahia. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.14, n.5, p.4234-4239, 2020.

SARTURI, M. V. R., CARVALHO, I. R., DEMARI, G. H., LORO, M. V., PRADEBON, L. C., & PORT, E. D. Prediction of corn grain yield according to the altitude and plant population. **Revista de Agricultura Neotropical**, 9(4), e 7070, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.32404/rean.v9i4.7070. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

SILVA, D. F, GARCIA, P. H. M; SANTOS G. **Características morfológicas, melhoramento genético e densidade de plantio das culturas do sorgo e do milho**: uma revisão. R. Soc. and Devel.; 2021.10(3). Disponível em: https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13172. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

SIMÃO, E. de P.; RESENDE, A.V. Resposta do milho safrinha à adubação em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.17, p.76-90, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.18512/1980- 6477/rbms.v17n1p76-90. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

SINGH, B. Are nitrogen fertilizers deleterious to soil health? **Agronomy**, v.8, art.48, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ agronomy8040048. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

SOUZA, T. V.; RIBEIRO, C. M.; SCALON, J. D.; Relações entre componentes de rendimento e características morfológicas de milho. **Magistral**, v.26, n.4, p. 495-506, 2014.

SUBRAMANIAN, K.S. RAHALE, C.S. Synthesis of nonfertilizer formulations for balanced nutrition. In: **Proceedings of the Indian society of Soil Science-Platinum Jubilee Celebration**, December 22–25, IARI, New Delhi, India, p.85, 2009.

STREIT, N. M. *et al.* The chlorophylls. **Ciência rural**, v. 35, p. 748-755, 2005. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000300043. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

TARAFDER, C., DAIZY, M., ALAM, M. M., ALI, M. R., ISLAM, M. J., ISLAM, R., ET AL. Formulation of a hybrid nanofertilizer for slow and sustainable release of micronutrients. **Acs Omega** 5, 23960–23966, 2020. Disponível em: https://doi:10.1021/acsomega.0c03233. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

TASCA, F. A.; ERNANI, P. R.; ROGERI, D. A.; GATIBONI, L. C.; CASSOL, P. C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, 2011.

TIWARI, K., KUMAR, Y., SINGH, T. NAYAK, R. Nano technology-based P fertilizers for higher efficiency and agriculture sustainability. **Ann. Plant Soil Res**., 24(2): 198-207, 2022.

VÁRALLYAY G. The impact of climate change on soils and on their water management. **Agronomy Research**, v.8, n.2, p.385-396, 2010.

VENTURA, M. F. B., & DALCHIAVON, F. C. Agronomic characteristics of corn grown in different population arrangements. **Nativa**, 6(6), 569-574, 2018. Disponível em: http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i6.5927. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

WANG, P.; LOMBI, E.; ZHAO, F.; KOPITTKE, P.M. Nanotechnology: a new opportunity in plant sciences. **Trends Plant Science**, v.21, n.8, p.699-712, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.04.005. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

ZHOU, J.; XIA, F.; LIU, X.; HE, Y.; XU, J.; BROOKES, P. C. Effects of nitrogen fertilizer on the acidification of two typical acid soils in South China. **Journal of soils and sediments**, v. 14, p. 415-422, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11368-013-0695-1. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.