

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

Instituto de Ciências Agrárias - ICA

Stharley Junio De Moraes Borges

**EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES DO MILHO GRÃO EM LATOSSOLO AMARELO
DISTRÓFICO NO CERRADO MINEIRO**

Unai

2023

Stharley Junio De Moraes Borges

**EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES DO MILHO GRÃO EM LATOSSOLO AMARELO
DISTRÓFICO NO CERRADO MINEIRO**

Monografia apresentada ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de Engenheiro(a) Agrônomo(a).

Orientador: Prof. Dr. Alceu Linares Pádua Junior

**Unai
2023**

EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES DO MILHO GRÃO EM LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO NO CERRADO MINEIRO

Monografia apresentada ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de Engenheiro(a) Agrônomo(a).

Orientador: Prof. Dr. Alceu Linares Pádua Junior

Data de aprovação 03/08/2023

Documento assinado digitalmente
 ALCEU LINARES PADUA JUNIOR
Data: 09/08/2023 11:46:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alceu Linares Pádua Junior
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM

Documento assinado digitalmente
 ALESSANDRO NICOLI
Data: 06/08/2023 14:39:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alessandro Nicoli
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM

Dr. Paulo Sérgio Cardoso Batista
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM

Unaí
2023

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer, a Deus, que permitiu que eu alcançasse esse grande sonho que está sendo realizado.

Aos meus pais e irmãos, que me incentivaram nos momentos difíceis da minha trajetória.

Ao professor Alceu, por ter sido meu orientador e me ajudado no trabalho, e a todos os outros professores por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o meu aprendizado.

Ao Gilmar Guareschi e seu filho Geovane Guareschi por me disponibilizar a área para conduzir este trabalho.

E por fim, gostaria de agradecer às pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

RESUMO

O milho (*Zea mays*) é uma cultura que apresenta diferentes taxas de exportação em diferentes tipos de ambientes. Neste sentido, o presente trabalho objetivou verificar como é a exportação de nutrientes da cultura do milho de alto potencial produtivo em Latossolo Amarelo Distrófico na região Noroeste de Minas Gerais. Para as avaliações a área foi sistematizada em grids, totalizando 23 parcelas, destas foram coletadas uma amostra de 5 espigas, que após avaliações de padronização foram subdivididas em uma amostra composta por 3 espigas, tal coleta ocorreu momentos antes da colheita, estando o material completamente maduro fisiologicamente. As avaliações tiveram foco nos componentes de produtividade, sendo aferidos comprimento das espigas, número de fileiras por espiga, grãos por fileira, peso de mil grãos e produtividade. Os resultados das amostragens foram estatisticamente submetidos ao teste de variância e posteriormente ao teste de correlação de Pearson a 1 e a 5% de significância. O estudo demonstrou que os Latossolos Amarelos podem representar um ambiente altamente favorável para o cultivo de milho de alto potencial produtivo. A camada de 0-20 mostrou a importância do pH no solo. Apesar das amostragens estratificadas, os primeiros 40 cm mostraram bastante semelhança quanto ao complexo sortivo, e com boas correlações para o suprimento da demanda do milho por macro e micro nutrientes. Os teores de matéria orgânica (MO) e Boro (B) na camada de 80 a 100 cm, uma vez que estes contribuem para um bom desenvolvimento do sistema radicular. Além do B, alguns micronutrientes observado nessa camada tiveram um destaque, como o Zn, Cu, Fe e foram fundamentais para o bom desenvolvimento da cultura do milho.

Palavras chave: Adubação. Fertilidade do solo. Nutrição vegetal. Solos do cerrado.

ABSTRACT

Corn (*Zea mays*) is a crop that has different export rates in different types of environments. In this sense, the present study aimed to investigate the nutrient extraction of high-yielding corn crops in a Dystrophic Yellow Latosol in the Northwest region of Minas Gerais. For the evaluations, the area was systematized into grids, totaling 23 plots. From these, a sample of 5 ears was collected, which, after standardization evaluations, were subdivided into a composite sample consisting of 3 ears. This collection took place just before harvest, when the material was fully physiologically mature. The evaluations focused on productivity components, measuring ear length, number of rows per ear, grains per row, weight of a thousand degrees and yield. The results of the sampling were statistically subjected to analysis of variance and subsequently to Pearson correlation tests at 1% and 5% significance levels. The study demonstrated that Dystrophic Yellow Latosols can represent a highly favorable environment for the cultivation of high-yielding corn. The 0-20 layer showed the importance of pH in the soil. Despite the stratified sampling, the top 40 cm showed significant similarity in terms of the sorption complex, with good correlations for supplying the corn's demand for macro and micronutrients. The organic matter (MO) and boron (B) levels in the 80 to 100 cm layer were particularly important for the development of the root system. In addition to B, some micronutrients observed in this layer were highlighted, such as Zn, Cu, Fe and were fundamental for the good development of the corn crop.

Keywords: Cerrado soils. Fertilization. Plant nutrition. Soil fertility.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	07
2	OBJETIVOS	08
3	REFERENCIAL TEÓRICO	09
	3.1 Aspectos botânicos e agronômicos da cultura do milho.....	09
	3.2 Importância econômica da cultura do milho	10
	3.3 Nutrição e adubação da cultura do milho	11
	3.4 Cultivo de milho no cerrado	12
4	MATERIAL E MÉTODOS	13
	4.1 Caracterização da área experimental	13
	4.2 Material genético e manejo básico aplicado.....	14
	4.3 Delineamento experimental e avaliações	15
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
	REFERÊNCIAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*), é o cereal mais produzido no mundo, e com grande relevância para o Brasil dado sua aptidão para atividades econômicas de cunho agrícola, sendo cultivado em todas as regiões do país (ARTUZO *et al.*, 2019).

Até o final da década de 1980 a produção do grão estava concentrada basicamente na região sul do Brasil, cenário que muda a partir da década de 1990 onde a produção de milho começa a ganhar expressividade nas regiões mais ao norte do país. O aumento de demanda pelo produto, o baixo valor das áreas a serem adquiridas para expansão e o aumento da tecnificação das propriedades foram os principais fatores que impulsionaram a mudança deste cenário (SOUZA *et al.*, 2018).

No Brasil o milho encontra-se basicamente cultivado em ambientes de bioma cerrado, onde aspectos como a elevada acidez, baixos teores de nutrientes e elevado teor de alumínio (Al^{3+}) são características comuns da química do solo destes ambientes, além de fisicamente permeáveis e drenáveis (CECCON, 2018).

A análise dos ambientes que estão destinados a produção agrícola é de extrema importância para o ajuste adequado do manejo a ser empregado, aspectos como a textura, profundidade efetiva do sistema radicular e topografia possuem grande relação nas dinâmicas do ambiente com a oferta hídrica e nutricional (EMBRAPA, 2007).

Para nutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), observa-se um aumento linear de extração conforme o aumento de produtividade, onde o manejo dos nutrientes deve ser realizado levando-se em consideração a fertilidade do solo do ponto de vista racional, que garanta tanto a nutrição da planta, quanto a sustentabilidade de seu cultivo (EMBRAPA, 2008).

Conforme elucidada Oliveira *et al.* (2019), A demanda e extração de nutrientes pelas plantas são fundamentais para recomendar a adubação das lavouras, pois indicam a quantidade de nutrientes necessária para o desenvolvimento das plantas. Ao analisar o solo e os tecidos vegetais, é possível determinar a demanda nutricional das culturas, evitando deficiências e excessos de fertilizantes. Dessa forma, os agricultores podem ajustar as doses e tipos de fertilizantes utilizados, visando obter melhores resultados em termos de produtividade e sustentabilidade.

Outro ponto fundamental de ser analisado é a exportação de nutrientes no ciclo de cultivo, em que segundo Fernandes *et al.* (2018) refere-se à remoção intencional de nutrientes do solo ou das plantas durante a colheita das culturas. Isso resulta na remoção

de nutrientes contidos nos tecidos vegetais, como folhas, frutos ou sementes através da colheita, e pode afetar a fertilidade do solo. Para compensar essa perda, práticas de manejo adequadas, como a aplicação de fertilizantes e a rotação de culturas, são necessárias para manter a fertilidade do solo além de garantir a sustentabilidade e a produtividade a longo prazo. Neste contexto, é fundamental a análise de solo especialmente nas regiões onde se concentra o desenvolvimento radicular, como nas camadas de 0 a 40 cm de profundidade e em alguns casos até mais profundamente.

O presente estudo busca determinar a exportação de nutrientes na cultura do milho de alto rendimento cultivado no Latossolo Amarelo Distrófico no Cerrado mineiro. Estes resultados poderão auxiliar na recomendação de adubação das culturas posteriores ao cultivo do milho, podendo o produtor aumentar, reduzir ou até mesmo não aplicar os fertilizantes necessários ao cultivo das plantas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral, verificar como é a exportação de nutrientes da cultura do milho de alto potencial produtivo em Latossolo Amarelo Distrófico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar quais os nutrientes são mais e menos exportados pela cultura do milho;
- Correlacionar a exportação de nutrientes na cultura do milho com os parâmetros químicos dos solos nas camadas de 0-20, 20-40 e 80-100 cm;
- Verificar se existe relação da produtividade da cultura do milho com os nutrientes extraído dos solos em diferentes profundidades;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Aspectos botânicos e agronômicos da cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é originário de áreas de planície no sudoeste do México. O seu ancestral selvagem é o teosinte (*Z. mays* subsp. *Parviglumis*) (MORRISON, 2016), sendo domesticado há aproximadamente 8.000 anos atrás e desde a descoberta da América Tropical, vem sendo disseminado para várias regiões do mundo, reflexo de sua adaptação a distintas condições de cultivo, estando presente nos cinco continentes (WEIDER, 2008).

Trata-se de uma cultura anual, monocotiledônea que compõe à divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, subclasse Commelinidae, ordem Poales, família Poaceae, subfamília Panicoideae, tribo Andropogonea, gênero *Zea*, espécie *Zea mays* L. apresentando um ciclo vegetativo bastante variado, entre 100 e 180 dias (DEMETRIO *et al*, 2008).

A cultura do milho é uma das gramíneas mais cultivadas e demandadas no mundo, os híbridos hoje cultivados vêm superando a cada safra os próprios padrões produtivos da cultura, com plantas fotossinteticamente mais eficientes, sistema radicular fasciculado e agressivo, beneficiado por solos bem drenados, estruturados e quimicamente corrigidos e adubados (CRUZ *et al*, 2008).

O sistema radicular do milho, além de sustentar a planta, é responsável pela interceptação e absorção de água e nutrientes, porém apresentam a desvantagem de serem extremamente superficiais quando comparada a outras plantas. Essa superficialidade dificulta sua adaptação a solos que tendem a perder água das camadas superficiais com mais facilidade, todavia, por se tratar de uma planta C4, esta possui grande eficiência hídrica, abrindo e fechando os estômatos conforme as condições do ambiente. Cabe ressaltar, que pelo fato de serem classificadas como C4, além da eficiência hídrica, apresentam alta eficiência na realização de fotossíntese, aproveitando de maneira satisfatória regiões com alta incidência solar (PAULA LIMA; LAPERA; VILLARINHO, 2018).

O desenvolvimento da cultura pode ser dividido em estádios fenológicos, conforme o nível de desenvolvimento das plantas, e sendo requerido tratos culturais específicos conforme estes estádios avançam. A nomenclatura da fenologia se inicia por VE, período entre o plantio e a emergência, nesta fase é fundamental o adequado tratamento de

sementes, e o monitoramento de pragas que podem comprometer a população final de plantas, a partir do desenvolvimento e expansão das folhas iniciam os estádios V1 a Vn, a expansão das folhas pode ser identificada quando o conjunto de bainha e aurícula da folha imediatamente superior se torna visível. A partir de V4, ou seja, a maioria das plantas com a quarta folha expandida presente, é fundamental a adoção das adubações de cobertura, especialmente o nitrogênio (N). Ao alcançar a fase de pendramento inicia-se o estágio VT, e a partir desta começamos a contar os estádios reprodutivos, vale destacar que esta é uma das fases mais críticas do ponto de vista hídrico, pois se inicia o enchimento de grãos no estágio R1 a R5. O estágio R6 é conhecido pela fase em qual a planta finaliza seu ciclo, e os grãos atingem a maturidade fisiológica (FORSTHOFER *et al.*, 2004).

3.2 Importância econômica da cultura do milho

O milho representa uma importante fonte alimentar, tanto humana quanto animal, sendo consumido in natura, em alimentos processados, rações, além de ser o ingrediente principal de diversos derivados alimentares e industriais (BORÉM; GALVÃO; PIMENTEL, 2017).

Cada vez mais expressiva no agronegócio brasileiro, a cultura do milho vem ganhando mais destaque. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2022), o Brasil obteve safra recorde no ano de 2022, com aproximadamente 312,2 milhões de toneladas do grão produzidas.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2022) a área cultivada com o grão em todo o Brasil na safra 2021/2022 atingiu 21,1 milhões de hectares, representando um acréscimo de 2,5% em relação a última safra, fruto do otimismo dos agricultores, principalmente em relação aos riscos climáticos.

3.3 Nutrição e adubação da cultura do milho

Do ponto de vista nutricional, também podemos utilizar a classificação fenológica para compreender o padrão de absorção dos nutrientes no milho, de V12 a V18 ocorre a definição da quantidade de grãos efetiva em cada espiga, sendo também uma fase de grande demanda nutricional, e a segunda fase, no início do período

reprodutivo com a formação da espiga e a definição do máximo potencial produtivo da planta (PIAS *et al.*, 2017).

De acordo com Oliveira *et al.* (2019) uma adubação adequada em macronutrientes é essencial para o crescimento das plantas, e o manejo correto dos fertilizantes desempenha um papel fundamental na obtenção de melhores resultados de produtividade. A quantidade de nutrientes extraídos e exportados pelas plantas de milho, como N, P, K, Ca, Mg e S, é um indicador importante das suas necessidades nutricionais. Portanto, espera-se que quanto maior for o rendimento de biomassa das plantas, maior será a quantidade de nutrientes extraída por elas.

A distribuição de N durante o crescimento das plantas de milho está associada à relação entre as fontes de nutrientes e os locais de demanda, em que o N, juntamente com outros nutrientes e fotoassimilados, tende a ser transferido das partes do colmo, folhas e raízes para o preenchimento dos grãos durante a fase reprodutiva. A absorção desse nutriente aumenta à medida que a produtividade eleva, sendo que a absorção na fase de emergência até o estágio V5 corresponde a menos de 20% da absorção total de N.

Embora a absorção de N seja baixa na fase inicial do desenvolvimento do milho, sua disponibilidade é essencial devido à sua função crucial no crescimento das raízes, o que favorece a absorção em fases posteriores. Entre o estágio V6 e o início da fase reprodutiva, ocorre a absorção de 60 a 85% do N total. Após o início da fase reprodutiva, a planta começa a realocar o N remanescente do caule e das folhas para os grãos. No caso das plantas de milho destinadas à produção de grãos, a absorção de N tende a ocorrer por um período mais prolongado em comparação com aquelas destinadas à produção de silagem (GREUB *et al.*, 2017).

O P desempenha um papel crucial no desenvolvimento das plantas, sendo considerado o segundo elemento mais limitante para a produção de grãos (SOUSA *et al.*, 2010). Nas plantas, o P está presente em ácidos nucleicos, membrana celular e fosfolipídeos, e desempenha funções essenciais na ativação de enzimas, reações de óxido-redução, produção de energia (ATP), fotossíntese e respiração (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

A absorção de P pelas plantas de milho aumenta nos estágios iniciais de desenvolvimento, atingindo sua máxima capacidade de absorção a partir dos 50 dias após o plantio, quando o milho alcança uma taxa média de absorção de P por planta de

70 $\mu\text{moles/dia}$, ocorrendo, o pico de absorção de P pelo milho ocorre entre 80 e 100 dias após a emergência (MENEZES *et al.*, 2018).

Para a produção de uma tonelada de grãos de milho requer, em média, 5,55 Kg de P. Além disso, a exportação de P_2O_5 é de aproximadamente 7,5 Kg por tonelada de grãos de milho produzida. É importante destacar que a exportação de fósforo pelos grãos de milho pode chegar a 86% (MENEZES *et al.*, 2018).

O K segue um padrão de absorção diferente de nutrientes como o N e o P, sua máxima absorção ocorre no período vegetativo, cerca de 30 a 40 dias após a emergência, com taxa de absorção superior, sugerindo um maior aporte deste nutriente na fase inicial do desenvolvimento da cultura, para N e P a cultura apresenta dois períodos de máxima absorção, um na fase vegetativa, e outro na reprodutiva, e menores taxas de absorção entre a emissão do pendão e o início da formação da espiga (COELHO *et al.*, 2008).

Os nutrientes Ca e Mg, apesar de não representarem grandes preocupações nos programas de adubação, uma vez que são fornecidos principalmente por meio da calagem e gessagem, são macronutrientes fundamentais para o desenvolvimento vegetal, o Ca participa diretamente da mediação de inúmeros processos metabólicos e está também estruturalmente associado a parede celular, já o Mg é o elemento estrutural inorgânico das moléculas de clorofila, indispensáveis para o processo de fotossíntese (COELHO, 2007).

Outro nutriente fornecido principalmente por meio da gessagem é o S que também pode ser fornecido em sua forma elementar, tal nutriente é constituinte de 21 aminoácidos, e fundamentais para a formação das proteínas, logo, o elemento está diretamente relacionado a quase todos os processos do metabolismo das plantas (SILVA, 2011).

Conforme esclarece Nascimento *et al.* (2019) As plantas de milho, como todas as plantas, requerem vários micronutrientes para um crescimento saudável e produtivo. Micronutrientes são elementos essenciais necessários em quantidades muito pequenas, mas ainda assim desempenham um papel crucial no metabolismo e no desenvolvimento das plantas.

Os principais micronutrientes necessários para as plantas de milho são o: Ferro (Fe): O ferro é essencial para a formação da clorofila, o pigmento responsável pela fotossíntese. Também desempenha um papel importante na transferência de elétrons durante a fotossíntese e em várias reações metabólicas; Manganês (Mn): O manganês é

necessário para a ativação de várias enzimas envolvidas na síntese de clorofila, no metabolismo de carboidratos e na fotossíntese; Zinco (Zn): O zinco é necessário para a formação de enzimas e proteínas, bem como para a regulação do crescimento das plantas. Também desempenha um papel importante na síntese de hormônios vegetais; Cobre (Cu): O cobre é um componente de várias enzimas envolvidas na respiração e na defesa das plantas contra patógenos; Boro (B): O boro está envolvido na formação da parede celular, na divisão celular e no transporte de açúcares; Molibdênio (Mo): O molibdênio é essencial para a fixação biológica do nitrogênio, uma vez que está presente em enzimas que convertem o nitrogênio em formas utilizáveis pelas plantas; Cloro (Cl): O cloro está envolvido na regulação da abertura estomática, que afeta a entrada de dióxido de carbono e a saída de água das folhas (SOUSA *et al.*, 2017).

3.4 Cultivo de milho no cerrado

Apesar dos ambientes de cultivo apresentarem extrema variação, observa-se uma melhor resposta da cultura em solos bem estruturados que permitam a circulação da água e do ar, alta capacidade utilizável para a água e disponibilidade de nutrientes. O milho tende a se desenvolver melhor sobre solos de textura mediana, de franco a franco-argiloso no horizonte superficial (A) tolerando pH entre 5 a 8 (BARROS; CALADO, 2014).

Segundo Resende *et al.* (2018), o cultivo da segunda safra de milho no cerrado vem se consolidando cada vez mais, principalmente devido sua versatilidade em adequar-se a um sistema de culturas anuais e uma importante produtora de biomassa de cobertura para os solos desses ambientes.

Souza *et al.* (2018), constatou que o P é um dos principais nutrientes responsáveis por produtividades satisfatórias na cultura do milho, os autores avaliaram o cultivo de milho segunda safra em um Latossolo Amarelo na região do cerrado, observando significativo incremento em altura de plantas e componentes de colheita com o aumento das doses de P_2O_5 .

Os solos do cerrado, em geral, apresentam baixos teores de fósforo disponível. Isso ocorre devido aos processos de intemperismo que levam à fixação do fósforo no solo, tornando-o menos acessível às plantas. A deficiência de fósforo pode limitar o crescimento das plantas e afetar negativamente a produtividade agrícola. Portanto, é

comum a aplicação de fertilizantes fosfatados para suprir a demanda das culturas por fósforo (SOUZA *et al.*, 2018).

Os solos do cerrado muitas vezes possuem altos teores de alumínio trocável, o que pode estar relacionado com os processos de intemperismo da rocha mãe (geologia) e a lixiviação de outros cátions. O alumínio em excesso pode ser tóxico para as plantas e reduzir a disponibilidade de nutrientes essenciais, como o cálcio e o magnésio. Por isso, a correção do solo para reduzir a toxicidade do alumínio é uma prática importante na agricultura do cerrado (RAMOS *et al.*, 2017).

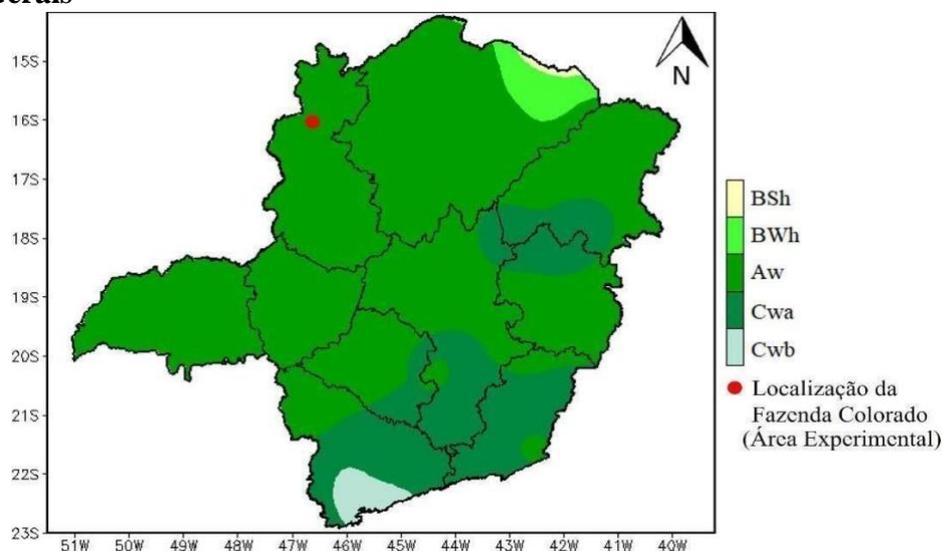
Apesar do cultivo já consolidado nos ambientes de cerrado, os sistemas de produção também afetam a qualidade e produtividade do milho nestes ambientes, foi o que constataram Fagundes *et al.* (2019), ao avaliar ao cultivo convencional e sob sistema de plantio direto no cerrado baiano, observaram que o sistema de menor revolvimento do solo apresentou os melhores valores de carbono orgânico total, graus de flocculação e água disponível.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em área de produção comercial, na fazenda Colorado localizada no município de Buritis-MG, de altitude de 924 metros, região em que as temperaturas médias variam entre 15 e 33 °C. Segundo a classificação de Köppen-Geiner, a região é caracterizada como Aw, ou seja, região de clima tropical com inverno seco, atingindo volumes de precipitação de aproximadamente 1.800 mm.

Figura 1 – Localização da área experimental e classificação climática do Estado de Minas Gerais



Fonte: Adaptado de Martins et al. (2018).

O solo sob o qual o experimento foi cultivado é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico, segundo o SiBCS (Santos *et al.*, 2018) são solos constituídos de material mineral, com horizonte B latossólico abaixo de qualquer tipo de horizonte A dentro de 200 cm de superfície ou a 300 cm, caso o horizonte A apresente mais de 150 cm.

Para fins de caracterização química foram coletas amostras estratificadas, considerando camadas de 0-20, 20-40 e 80-100 cm da superfície, sendo estas submetidas a análise de fertilidade, contemplando os macronutrientes P, K, Ca, Mg, S, e os micronutrientes Mn, Fe, Cu, Zn e B.

4.2 Material genético e manejo básico aplicado

O híbrido cultivado foi o P3707VYH (figura 2), plantado em 20 de outubro de 2021, de ciclo precoce, inserção de espiga de aproximadamente 1,30 m e altura total de planta de 2,5 m, com uma população recomendada de 65 a 70 mil plantas por hectare, possui tolerância a mancha-branca, moderada tolerância a ferrugem polissora (*Puccinia polysora*), mancha de turcicum (*Exserohilum turcicum*), enfezamentos (Corn stunt), e moderada susceptibilidade a cercosporiose (*Cercospora zea-maydis*). Todos os tratos culturais ficaram a cargo da fazenda, incluindo o manejo fitossanitário, entretanto do ponto de vista nutricional a cultura recebeu como adubação pré-plantio (aproximadamente 10 dias) 250 kg ha⁻¹ de KCl, 2 megagrama por hectare de KP fértil, 400 kg ha⁻¹ de ureia, 40 kg ha⁻¹ de Ulexita visando o fornecimento de B e 250 kg ha⁻¹ de adubo formulado NKP, 5-37-00.

Figura 2 - Caracterização do híbrido cultivado



Fonte: Pioneer (2023).

4.3 Balanço de nutrientes da cultura

O Balanço de Nutrientes das Culturas (BNC) é uma ferramenta utilizada na agricultura para avaliar a quantidade de nutrientes que é retirada do solo por meio da

colheita de culturas e compará-la com a quantidade de nutrientes que é reposta ao solo por meio de fertilizantes, adubos orgânicos e outras fontes. O objetivo principal do BNC é garantir que o solo mantenha níveis adequados de nutrientes para sustentar o crescimento saudável das culturas ao longo do tempo.

A principal metodologia para realizar o balanço de nutrientes das culturas é conhecida como Método do Balanço de Massa ou Método do Balanço Nutricional. Este método é amplamente utilizado na agricultura para avaliar as entradas e saídas de nutrientes em sistemas de cultivo, permitindo a análise da disponibilidade de nutrientes no solo ao longo do tempo.

O autor mais associado ao desenvolvimento do Método do Balanço Nutricional é o cientista sueco Gustaf Eriksson. Ele foi pioneiro no desenvolvimento dessa abordagem na década de 1920, quando estava pesquisando as relações entre a fertilidade do solo e a produtividade das culturas. Eriksson e seus colaboradores foram os responsáveis por estabelecer as bases teóricas e práticas do método, que se tornou fundamental para a gestão nutricional de culturas.

O processo de realização do Balanço de Nutrientes das Culturas envolve os seguintes passos: 1. Coleta de dados: É necessário coletar informações detalhadas sobre a área de cultivo, as culturas plantadas, as práticas de manejo utilizadas (como aplicação de fertilizantes e adubos orgânicos) e os níveis de nutrientes no solo antes e após a colheita; 2. Quantificação da retirada de nutrientes: Com base nas informações sobre as culturas colhidas e seus teores de nutrientes, é calculada a quantidade de nutrientes (como nitrogênio, fósforo, potássio e outros) que foi removida do solo durante a colheita; 3. Avaliação das reposições de nutrientes: A quantidade de nutrientes adicionada ao solo por meio de fertilizantes, adubos orgânicos e outras fontes é quantificada; 4. Cálculo do balanço: O balanço é calculado subtraindo a quantidade de nutrientes retirada do solo da quantidade de nutrientes repostas ao solo. Um balanço positivo indica que mais nutrientes foram repostos do que retirados, o que pode levar a um acúmulo de nutrientes no solo ao longo do tempo. Um balanço negativo indica que mais nutrientes foram retirados do que repostos, o que pode levar a uma diminuição dos níveis de nutrientes no solo.

4.4 Delineamento experimental e avaliações

Para as avaliações a área foi sistematizada em grids, totalizando 23 parcelas, destas foram coletadas uma amostra de 5 espigas, que após avaliações de padronização foram subdivididas em uma amostra composta por 3 espigas, tal coleta ocorreu momentos antes da colheita, estando o material completamente maduro fisiologicamente. As avaliações tiveram foco nos componentes de produtividade, sendo aferidos comprimento das espigas, número de fileiras por espiga, grãos por fileira, peso de mil sementes e produtividade.

Para a análise da exportação de nutrientes, as subamostras compostas por 3 espigas foram submetidas à estufa a 65 C° por 72 horas, sendo a determinação da extração de nutrientes realizada conforme metodologia proposta por Bataglia et al. (1983).

Os resultados das amostragens foram estatisticamente submetidos ao teste de variância e posteriormente ao teste de correlação de Pearson a 1 e a 5% de significância.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Na tabela 1, o resultado obtido da análise de correlação linear de Pearson para os componentes de produtividade do milho e os componentes de produção. Observa-se que a produtividade se correlacionou em quase todos os parâmetros, exceto número de fileiras ($r=0,08$), enquanto o tamanho de espiga se correlacionou com o número de grãos com o valor de $r = 0,83$. Os demais parâmetros, como número de fileiras e número de grãos não se correlacionam de forma significativa com os demais atributos avaliados.

Tabela 1. Matriz de correlação linear de Pearson entre a produtividade de grãos do milho e os componentes de produção

	Tam. espiga	Nº Fileira	Nº grãos	PMG
Prod	0,83**	0,08	0,87**	0,66**
Tam. espiga		-0,22	0,83**	0,40
Nº Fileira			0,25	-0,22
Nº grãos				0,21

** e *: Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

Segundo Borba et al. (2015) a produtividade do milho está diretamente relacionada à massa de grãos produzida, que é influenciada pela interação entre a quantidade de grãos por espiga, a quantidade de grãos por fileira e o número de fileiras na espiga. Esses fatores estão intrinsecamente ligados, e um bom equilíbrio entre eles é essencial para alcançar altos rendimentos.

Conforme esclarece Vian et al. (2016) uma maior quantidade de grãos por espiga contribui para aumentar a produtividade, pois cada espiga carrega potencialmente mais grãos. No entanto, é importante considerar também a quantidade de grãos por fileira, já que espigas com mais fileiras podem comportar um maior número total de grãos. Dessa forma, a combinação ideal é ter uma quantidade adequada de fileiras na espiga e uma boa densidade de grãos por fileira, garantindo o máximo aproveitamento do potencial produtivo da planta.

O resultado obtido no trabalho (Tabela 1), mostrou que o número de fileiras não teve interferência na produtividade, por se tratar de uma área de fertilidade bastante homogênea com seus números de fileiras variando entre 16 e 18 por planta.

Além disso, a massa de grãos também depende do tamanho individual dos grãos. Em geral, grãos maiores tendem a contribuir mais para a produtividade, pois têm maior peso. Portanto, a qualidade dos grãos, em termos de tamanho e peso, também desempenha um papel importante (KLEIN; KLEIN, 2017).

Na tabela 2 o resultado das análises de correlação linear de Pearson comparando os atributos químicos da camada de 0 a 20 cm de profundidade da área de cultivo e os nutrientes exportados pela cultura do milho. Um dos atributos que mostrou maior correlação foi o pH H₂O com a matéria orgânica (MO) ($r=0,67$), Ca ($r=0,84$), Mg ($r=0,74$), hidrogênio (H) ($r=-0,58$), soma de bases (SB) ($r=0,84$) e manganês (Mn) ($r=0,65$).

	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H	H+Al	SB	CTC	S	B	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	Ngrao	Pgrao	Kgrao	Mggrao	Sgrao	Zngrao	Fegrao	Mngrao	Cugrao
pHH₂O	0,67 **	0,06 ns	0,42 *	0,84 **	0,74 **	-0,38 ns	-0,58 **	-0,74 **	0,84 **	0,34 ns	0,11 ns	-0,09 ns	0,24 ns	0,23 ns	0,65 **	0,02 ns	-0,13 ns	-0,04 ns	-0,16 ns	-0,23 ns	-0,06 ns	-0,20 ns	-0,25 ns	-0,16 ns	-0,32 ns	-0,27 ns
MO		-0,21 ns	0,10 ns	0,49 *	0,45 *	-0,07 ns	-0,35 ns	-0,39 ns	0,49 *	0,23 ns	0,02 ns	0,10 ns	0,14 ns	0,30 ns	0,53 **	-0,00 ns	-0,41 *	0,03 ns	-0,17 ns	-0,17 ns	-0,02 ns	-0,19 ns	-0,21 ns	-0,06 ns	-0,01 ns	-0,20ns
P			0,08 ns	0,17 ns	0,30 ns	-0,04 ns	-0,14 ns	-0,16 ns	0,20 ns	0,09 ns	0,45 *	-0,04 ns	-0,14 ns	-0,09 ns	0,15 ns	0,33 ns	0,78 **	-0,08 ns	0,04 ns	0,24 ns	-0,01 ns	-0,03 ns	0,15 ns	0,0 ns	-0,32 ns	0,12 ns
K				0,33 ns	0,31 ns	-0,0ns	-0,25 ns	-0,27 ns	0,37 ns	0,20 ns	-0,06 ns	-0,24 ns	0,28 ns	0,03 ns	0,64 **	-0,11 ns	0,12 ns	0,03 ns	-0,05 ns	-0,18 ns	0,04 ns	-0,06 ns	-0,07 ns	-0,05 ns	-0,16 ns	-0,08 ns
Ca					0,89 **	-0,71 **	-0,20 ns	-0,47 *	0,99 **	0,72 **	0,15 ns	-0,19 ns	0,09 ns	0,11 ns	0,59 **	-0,03 ns	-0,07 ns	-0,03 ns	0,09 ns	-0,09 ns	0,15 ns	-0,31 ns	-0,06 ns	-0,33 ns	-0,36 ns	-0,28 ns
Mg						-0,58 **	-0,20 ns	-0,43 *	0,92 **	0,68 **	0,02 ns	-0,32 ns	0,05 ns	-0,02 ns	0,53 **	-0,15 ns	-0,1 ns	-0,13 ns	0,13 ns	0,03 ns	0,13 ns	-0,35 ns	-0,09 ns	-0,37 ns	-0,39 ns	-0,24 ns
Al							-0,24 ns	0,13 ns	0,68 **	0,65 **	0,23 ns	0,21 ns	0,21 ns	0,05 ns	-0,21 ns	0,05 ns	0,01 ns	0,09 ns	-0,27 ns	-0,07 ns	-0,26 ns	0,27 ns	-0,05 ns	0,38 ns	0,26 ns	0,17 ns
H								0,93 **	-0,21 ns	0,49 *	0,15 ns	-0,07 ns	-0,39 ns	-0,02 ns	-0,29 ns	-0,14 ns	-0,15 ns	0,04 ns	0,23ns	0,16 ns	0,20 ns	-0,17 ns	0,15 ns	-0,27 ns	0,06 ns	-0,00 ns
H+Al									0,48 *	0,26 ns	-0,23 ns	0,01 ns	0,32 ns	-0,1 ns	-0,38 ns	-0,12 ns	-0,15 ns	0,08 ns	0,14 ns	0,14 ns	0,12 ns	-0,07 ns	0,14 ns	-0,13 ns	0,16 ns	0,07 ns
SB										0,72 **	0,12 ns	-0,22 ns	0,09 ns	0,09 ns	0,60 **	-0,06 ns	-0,05 ns	-0,04 ns	0,09 ns	-0,07 ns	0,15 ns	-0,32 ns	-0,07 ns	-0,34 ns	-0,38 ns	-0,28 ns
CTC											-0,05 ns	-0,24 ns	-0,14 ns	0,09 ns	0,37 ns	-0,16 ns	-0,17 ns	0,01 ns	0,21 ns	0,02 ns	0,26 ns	-0,40 ns	0,04 ns	-0,47 ns	-0,28 ns	-0,25 ns
S												0,07 ns	-0,34 ns	-0,06 ns	0,10 ns	0,23 ns	0,53 **	-0,05 ns	0,06 ns	0,20 ns	0,08 ns	-0,04 ns	0,03 ns	0,03 ns	-0,04 ns	0,15 ns
B													0,6 ns	0,26 ns	-0,03 ns	0,10 ns	0,16 ns	-0,09 ns	-0,01 ns	0,18 ns	0,13 ns	0,43 *	0,43 *	0,52 *	0,52 **	0,48 *
Na														0,06 ns	0,03 ns	0,04 ns	0,03 ns	-0,10 ns	0,10 ns	-0,13 ns	0,01 ns	0,21 ns	0,11 ns	0,24 ns	0,04 ns	0,07 ns

Continua

Fe	0,21 ns	0,13 ns	-0,28 ns	0,23 ns	-0,07 ns	0,11 ns	0,05 ns	0,25 ns	0,13 ns	0,24 ns	0,11 ns	0,09 ns
Mn		-0,05 ns	0,05 ns	0,29 ns	-0,01 ns	-0,02 ns	0,22 ns	0,11 ns	0,10 ns	0,08 ns	-0,06 ns	0,08 ns
Cu			0,33 ns	0,04 ns	-0,45 *	-0,36 ns	-0,33 ns	0,04 ns	-0,00 ns	0,16 ns	-0,48 *	-0,15 ns
Zn				-0,11 ns	0,03 ns	0,17 ns	-0,08 ns	0,23 ns	0,23 ns	0,22 ns	-0,25 ns	0,36 ns
Ngrao					-0,01 ns	-0,02 ns	0,18 ns	0,39 ns	0,25 ns	0,26 ns	-0,03 ns	0,08 ns
Pgrao						0,86 **	0,88 **	0,09 ns	0,55 **	-0,08 ns	0,46 *	0,06 ns
Kgrao							0,75 **	0,24 ns	0,56 **	0,09 ns	0,53 **	0,24 ns
Mggrao								0,27 ns	0,71 **	0,16 ns	0,54 **	0,17 ns
Sgrao									0,67 **	0,93 **	0,44 *	0,76 **
Zngrao										0,60 **	0,41 ns	0,57 **
Fegrao											0,44 *	0,76 **
Mngrao												0,50 *

** e *: Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

O pH do solo desempenha um papel crucial na dinâmica dos nutrientes e na produtividade do milho. O pH influencia a disponibilidade e a absorção de nutrientes pelas raízes das plantas. Solos com pH inadequado podem afetar negativamente a disponibilidade de nutrientes essenciais para o crescimento do milho, como N, P, K e micronutrientes. Um pH muito baixo (ácido) pode resultar em uma alta solubilidade de elementos tóxicos, como alumínio e manganês, que prejudicam o desenvolvimento das raízes. Por outro lado, um pH muito alto (alcalino) pode levar à fixação de nutrientes no solo, tornando-os indisponíveis para as plantas. Portanto, um pH equilibrado e adequado, geralmente na faixa entre 6,0 e 7,5, favorece a absorção eficiente de nutrientes, promove um ambiente favorável para o desenvolvimento radicular e contribui para a produtividade do milho (RODRIGUES *et al.*, 2018).

A aplicação de corretivos de acidez no solo desempenha um papel fundamental na disponibilização de Ca e Mg para as plantas. Quando o corretivo é adicionado ao solo buscando corrigir sua acidez, ocorre uma reação química de neutralização, em que os íons hidrogênio (H^+) são substituídos por íons de Ca e Mg. Esses íons são liberados na solução do solo, tornando-se prontamente disponíveis para absorção pelas raízes das plantas. O Ca é essencial para a formação e fortalecimento das paredes celulares, bem como para o funcionamento adequado das membranas celulares e a ativação de várias enzimas. O Mg, por sua vez, é um componentes chave da molécula de clorofila, desempenhando um papel crucial na fotossíntese e na produção de energia das plantas (DONIZETTI SILVA *et al.*, 2016).

A variável $H+Al$ obteve correlação com o pH de - 0,74, valor esperado para solos corrigidos com corretivos de acidez, onde houve a diminuição da acidez potencial ($H+Al$) e elevação da saturação por bases $r = 0,84$ (Tabela 2) pela presença de Ca e Mg no corretivo de acidez. Outro parâmetro que também chamou atenção foram as correlações com os teores de Ca, onde este foi significativo a 1% quando correlacionado com Mg, soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e manganês (Mn), este mostrou também uma correlação significativa a 5% com os teores de $H+Al$.

Segundo Coldebella *et al.* (2018) o Ca desempenha um papel vital na produtividade do milho devido às suas diversas funções fisiológicas e bioquímicas. Ele está envolvido na formação e estabilidade das paredes celulares, conferindo rigidez e resistência aos tecidos vegetais. Essa característica é particularmente importante para o milho, que possui crescimento vigoroso e demanda estruturas firmes para suportar espigas pesadas. Além disso, o Ca regula a

absorção e o transporte de outros nutrientes, como N, P e K, nas raízes das plantas. O Ca influencia a permeabilidade das membranas celulares, regula a abertura e o fechamento dos canais de transporte de nutrientes. Dessa forma, o Ca contribui para uma absorção equilibrada e eficiente de nutrientes essenciais, garantindo um adequado suprimento nutricional ao milho. A relação entre o Ca e o pH do solo é crucial, pois solos ácidos (baixo pH) podem levar à toxicidade de Al e Mn, prejudicando a absorção de Ca. Em solos alcalinos (alto pH) podem resultar em elevados teores de Ca insolúvel, dificultando sua disponibilidade para as plantas. Se tratando do Mg, além de ser um componente essencial da clorofila, ele atua como cofator em muitas enzimas envolvidas em processos metabólicos. O Mg está envolvido na estabilidade do DNA e do RNA, regula o transporte de nutrientes, influencia o equilíbrio iônico e participa da síntese de energia celular. Sua presença adequada no solo e disponibilidade para as plantas são essenciais para um crescimento saudável e desenvolvimento adequado das plantas (LANGE et al., 2021).

Ao se analisar as correlações entre os teores de nutrientes nos grãos, o teor de P correlacionou com os teores de K, Mg e S e Mn no grão. Conforme explica Oliveira et al. (2022), os teores de P nos grãos de milho têm um impacto significativo na produtividade da cultura. O P desempenha um papel crucial no metabolismo energético, na formação de compostos essenciais, como o ATP (adenosina trifosfato), e no desenvolvimento adequado das raízes. Níveis adequados de P nos grãos são essenciais para garantir um bom enchimento dos grãos, maior produção de biomassa e, conseqüentemente, uma maior produtividade. A disponibilidade de N e K afeta a absorção e a utilização desses nutrientes pelas plantas. Uma relação balanceada entre P, N e K é fundamental para maximizar a produtividade do milho, uma vez que esses nutrientes desempenham papéis complementares na síntese de proteínas, no crescimento das plantas e na resposta a estresses bióticos e abióticos.

Na sequência, encontram-se os resultados das correlações de Pearson entre os atributos do solo, porém considerando-se a profundidade de 20 a 40 cm e os teores de nutrientes nos grãos da cultura do milho. A partir desta é possível observar resultados bastante semelhantes, em termos de correlações entre os atributos, como as analisadas na tabela 2, considerando 0 a 20 cm. Esta semelhança pode indicar que existe certa homogeneidade nos parâmetros químicos ao longo de toda a camada superficial de 40 cm da área analisada.

Tabela 3. Matriz de correlação linear de Pearson entre a produtividade de grãos do milho e as características químicas do solo na profundidade de 20 a 40 cm.

	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H	H+Al	SB	CTC	S	B	Ngrao	Pgrao	Kgrao	Mggrao	Sgrao	Zngrao	Fegrao	Mngrao	Cugrao
pHH₂O	0,05 ns	0,55 **	0,73 **	0,85 **	0,68 **	-0,70 **	-0,73 **	-0,85 **	0,84 **	0,21 ns	-0,25 ns	-0,55 **	-0,25 ns	-0,22 ns	-0,24 ns	-0,18 ns	-0,10 ns	-0,13 ns	-0,07 ns	-0,42 *	-0,26 ns
MO		0,13 ns	0,18 ns	0,03 ns	0,11 ns	-0,19 ns	0,18 ns	0,07 ns	0,05 ns	0,17 ns	0,01 ns	-0,12 ns	-0,14 ns	0,0ns	0,07 ns	-0,07 ns	-0,13 ns	0,01 ns	-0,10 ns	0,0 ns	0,02 ns
P			0,63 **	0,63**	0,46 *	-0,32 ns	-0,37 ns	-0,39 ns	0,61 **	0,44 *	-0,15 ns	-0,14 ns	-0,28 ns	0,13 ns	0,40 ns	0,08 ns	0,14 ns	0,06 ns	0,11 ns	0,10 ns	0,12 ns
K				0,80 **	0,54 **	-0,34 ns	-0,60 **	-0,59 **	0,78 **	0,45 *	-0,15 ns	-0,43 *	-0,07 ns	-0,20 ns	-0,13 ns	-0,22 ns	-0,04 ns	-0,15 ns	-0,07 ns	-0,43 *	-0,12 ns
Ca					0,87 **	-0,67 **	-0,62 **	-0,75 **	0,99 **	0,57 **	-0,14 ns	-0,48 *	-0,07 ns	-0,15 ns	-0,15 ns	-0,15 ns	-0,13 ns	-0,16 ns	-0,18 ns	-0,37 ns	-0,24 ns
Mg						-0,71 **	-0,47 *	-0,65 **	0,91 **	0,55 **	-0,22 ns	-0,33 ns	0,01 ns	-0,01 ns	-0,09 ns	-0,01 ns	-0,07 ns	0,01 ns	-0,13 ns	-0,27 ns	-0,17 ns
Al							0,33 ns	0,67 **	-0,68 **	-0,20 ns	0,18 ns	0,69 **	0,10 ns	-0,04 ns	0,04 ns	0,02 ns	0,12 ns	0,03 ns	0,15 ns	0,30 ns	0,24 ns
H								0,92 **	-0,61 **	0,22 ns	0,74 ns	0,21 ns	-0,12 ns	0,26 ns	0,26 ns	0,13 ns	-0,23 ns	-0,02 ns	-0,22 ns	0,26 ns	0,08 ns
H+Al									-0,75 **	0,11 ns	0,13 ns	0,45 ns	-0,06 ns	0,21 ns	0,24 ns	0,13 ns	-0,13 ns	-0,00 ns	-0,11 ns	0,33 ns	0,15 ns
SB										0,58 **	-0,16 ns	-0,46 *	-0,06 ns	-0,13 ns	-0,14 ns	-0,13 ns	-0,12 ns	-0,13 ns	-0,17 ns	-0,37 ns	-0,23 ns
CTC											-0,08 ns	-0,14 ns	-0,16 ns	0,06 ns	0,09 ns	-0,03 ns	-0,34 ns	-0,19 ns	-0,40 ns	-0,14 ns	-0,16 ns

Continua

S	0,18 ns	0,42 *	-0,10 ns	-0,02 ns	-0,08 ns	0,05 ns	-0,02 ns	-0,03 ns	-0,08 ns	-0,01 ns
B		0,19 ns	-0,11 ns	-0,01 ns	0,05 ns	0,38 ns	0,12 ns	0,43 *	0,54 **	0,43 *
Ngrao			-0,15 ns	-0,02 ns	0,19 ns	0,39 ns	0,25 ns	0,26 ns	-0,03 ns	0,08 ns
Pgrao				0,86 **	0,88 **	0,09 ns	0,55 **	-0,07 ns	0,46 *	0,06 ns
Kgrao					0,75 **	0,25 ns	0,56 **	0,09 **	0,53 **	0,24 ns
Mggrao						0,27 ns	0,70 **	0,16 ns	0,54 **	0,17 ns
Sgrao							0,67 **	0,93 **	0,44 *	0,76 **
Zngrao								0,60 **	0,41 ns	0,57 **
Fgrao									0,44 *	0,76 **
Mngrao										0,50 *

** e *: Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

Segundo Labegalini et al. (2016), as camadas superficiais do solo, especialmente os primeiros 40 cm, desempenham um papel fundamental para as plantas cultivadas devido à sua influência direta no desenvolvimento e crescimento das raízes. Essas camadas contêm uma maior concentração de MO, nutrientes essenciais, organismos do solo e atividade biológica. A presença de MO melhora a estrutura do solo, promove a retenção de água, aeração adequada e a capacidade de troca de nutrientes. Além disso, a maioria das raízes das plantas se concentra nessa região, buscando água, nutrientes e interações com microrganismos benéficos.

Na tabela 4, apresentada abaixo, estão os resultados obtidos na correlação os atributos químicos do solo e o teor de nutrientes nos grãos do milho considerando a camada subsuperficial de 80 a 100 cm. Um dos pontos que mais chamou atenção se analisar esta etapa dos resultados foi a correlação entre os teores de MO e os níveis de B nesta camada de solo.

Tabela 4. Matriz de correlação linear de Pearson entre a produtividade de grãos do milho e as características química do solo na profundidade de 80 a 100 cm.

	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H	H+Al	SB	CTC	S	B	Ngrao	Pgrao	Kgrao	Mggrao	Sgrao	Zngrao	Fegrao	Mngrao	Cugrao
pHH₂O	-0,59 **	-0,48 *	0,23 ns	0,54 **	0,63 **	-0,48 *	-0,64 **	-0,75 **	0,62 **	-0,46 *	0,08 ns	-0,33 ns	-0,13 ns	0,29 ns	0,14 ns	0,23 ns	0,24 ns	0,076 ns	0,27 ns	-0,17 ns	0,34 ns
MO		0,50 *	-0,02 ns	-0,27 ns	-0,36 ns	0,51 *	0,43 *	0,58 *	-0,31 ns	0,45 *	0,15 ns	0,53 **	0,20 ns	0,19 ns	0,084 ns	0,22 ns	-0,09 ns	0,01 ns	-0,06 ns	0,097 ns	Ns-0,09
P			-0,03 ns	-0,20 ns	-0,45 *	0,27 ns	0,67 **	0,70 **	-0,29 ns	0,58 **	0,21 ns	0,24 ns	0,01ns	0,26 ns	0,17 ns	0,22 ns	-0,05 ns	0,14 ns	-0,09ns	0,09 ns	-0,08 ns
K				0,18 ns	0,27 ns	-0,12 ns	0,02 ns	-0,02 ns	0,30 ns	0,14 ns	0,52 *	-0,21 ns	-0,09 ns	0,15 ns	0,12 ns	0,17 ns	0,18 ns	0,31 ns	0,09 ns	-0,13 ns	-0,02ns
Ca					0,64 **	-0,51 *	-0,11 ns	-0,31 ns	0,97 **	0,20 ns	-0,22 ns	-0,29 ns	-0,25 ns	-0,12 ns	-0,19 ns	-0,27 ns	-0,19 ns	-0,24 ns	-0,26 ns	-0,21 ns	0,02 ns
Mg						-0,36 ns	-0,33 ns	-0,45 *	0,79 **	-0,04 ns	-0,01 ns	-0,40 ns	-0,20 ns	-0,37 ns	-0,39 ns	-0,36 ns	-0,06 ns	-0,24 ns	-0,05 ns	-0,41 *	0,14ns
Al							0,12ns	0,51 *	-0,51 *	0,26 ns	0,03 ns	0,34 ns	- 0,01ns	0,03 ns	-0,05 ns	0,15 ns	-0,19 ns	0,17 ns	0,00ns	-0,01 ns	-0,16 ns
H								0,91 **	-0,17 ns	0,87 **	0,10 ns	- 0,1 ns	-0,11 ns	0,22 ns	0,05 ns	0,17 ns	-0,22 ns	-0,07 ns	-0,32 ns	0,09 ns	-0,27 ns
H+Al									-0,37 ns	0,86 **	0,12 ns	0,14 ns	-0,10 ns	0,20 ns	0,03 ns	0,21 ns	-0,25 ns	0,02 ns	-0,26 ns	0,08 ns	-0,29 ns
SB										0,16 ns	-0,12 ns	-0,35 ns	-0,26 ns	-0,18 ns	-0,24 ns	-0,29 ns	-0,15 ns	-0,22 ns	-0,21 ns	-0,29 ns	0,05 ns
CTC											0,06 ns	- 0,05ns	-0,25 ns	0,12 ns	-0,10 ns	0,06 ns	-0,35 ns	-0,10 ns	-0,39 ns	-0,75 ns	-0,28 ns

Continua

S	-0,14 ns	0,17 ns	0,31 ns	0,31 ns	0,36 ns	0,49 *	0,53 **	0,40 ns	0,1ns	0,29 ns
B		0,23 ns	-0,33 ns	-0,15 ns	-0,28 ns	0,11 ns	-0,17 ns	0,24 ns	0,12 ns	0,03 ns
Ngrao			- 0,01ns	-0,02 ns	0,18 ns	0,39 ns	0,25 ns	0,26 ns	-0,03 ns	0,08 ns
Pgrao				0,86 **	0,88 **	0,09 ns	0,55 **	-0,07 ns	0,46 *	0,06 ns
Kgrao					0,75 **	0,25 ns	0,56 **	0,09 ns	0,53 **	0,24 ns
Mggrao						0,27 ns	0,71 **	0,16 ns	0,54 **	0,17 ns
Sgrao							0,67 **	0,93 **	0,44 *	0,76 **
Zngrao								0,60 **	0,41 ns	0,57 **
Fgrao									0,44 *	0,76 *
Mngrao										0,50 *

** e *: Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

Segundo Cunha; Mendes; Giongo (2015), a MO do solo desempenha um papel importante na disponibilidade e na ciclagem de nutrientes, incluindo o B. A presença de MO aumenta a capacidade de retenção e liberação de nutrientes no solo. A MO possui grupos funcionais que têm a capacidade de se ligar a íons de B, formando complexos orgânicos. Esses complexos ajudam a manter o B no solo, evitando sua lixiviação e perdas. Além disso, a MO melhora a estrutura do solo, aumentando sua capacidade de retenção de água e nutrientes. Isso permite que o B fique mais disponível para as plantas, pois evita a drenagem excessiva e proporciona um ambiente favorável para o desenvolvimento radicular.

De acordo com Tomicioli; Leal; Coelho (2021), o B é um nutriente essencial para as plantas, incluindo o milho, mesmo nas camadas mais profundas do solo. Embora seja necessário em quantidades muito pequenas, sua presença é crucial para o crescimento e desenvolvimento adequados das plantas. O B desempenha importantes funções, tais como: a formação e integridade da parede celular, na divisão celular, na síntese de proteínas e no metabolismo de carboidratos. Além disso, o B influencia a translocação de açúcares, o transporte de íons e a absorção de outros nutrientes. Nas camadas profundas do solo, onde a disponibilidade natural de B pode ser limitada, é fundamental a busca por estratégias que garantam seu fornecimento.

Outro ponto importante a se considerar está relacionado a morfologia do solo na área de cultivo, especialmente a profundidade dos Latossolos na região. A profundidade do solo e a disponibilidade de nutrientes desempenham um papel crucial no crescimento e no desenvolvimento das plantas. A profundidade do solo determina a capacidade de as raízes das plantas explorarem o subsolo em busca de água e nutrientes. Camadas mais profundas podem conter reservas de nutrientes essenciais, como P e micronutrientes, que são importantes para o metabolismo das plantas. Além disso, a disponibilidade adequada de nutrientes ao longo do perfil do solo é fundamental para fornecer uma nutrição balanceada às plantas, permitindo seu crescimento saudável, o desenvolvimento de estruturas robustas e a máxima expressão genética (SANTOS, 2022).

Um dos parâmetros mais importantes que diagnosticam a fertilidade do solo é a CTC, sendo uma medida da capacidade do solo em reter cátions (íons positivos). Porém em alguns casos pode ocorrer a CTA, uma medida da capacidade do solo em reter ânions (íons negativos). Os ânions mais comuns incluem nitrato (NO_3^-), fosfato (PO_4^{4-}), sulfato (SO_4^{4-}), entre outros. A CTA está relacionada à presença de minerais específicos no solo,

como argilominerais e óxidos de ferro e alumínio, que possuem capacidade de adsorver ânions (CALABRIA et al., 2022).

Quanto à ocorrência da CTA no solo, ela é mais comum em solos com maior intemperismo, ou seja, solos antigos que passaram por um longo processo de intemperização (decomposição) das rochas. Esses solos, ao longo do tempo, foram sujeitos a intempéries físicas, químicas e biológicas, resultando em um aumento da CTA, principalmente nas camadas mais profundas. O intemperismo promove a formação de minerais de argila, óxidos de ferro e alumínio, que são responsáveis pela capacidade de troca de ânions no solo (CALABRIA et al., 2022).

O B no solo, pode ser encontrado na forma de aniônica como boratos, porém isso ocorre após reações do ácido bórico (H_3BO_3). Quando o ácido bórico é aplicado ao solo ou mineralizado da MO, ele pode sofrer reações químicas com os constituintes do solo, especialmente com o cálcio (Ca^{2+}), formando boratos solúveis. Os boratos mais comuns que se formam no solo são o borato de cálcio (CaB_4O_7) e o borato de sódio ($Na_2B_4O_7$) (BATISTA et al., 2018).

Essas reações ocorrem principalmente em solos muito intemperizados e com disponibilidade de Ca. O ácido bórico reage com o Ca dissolvido no solo, formando boratos solúveis que são mais facilmente lixiviados com a água percolante, todavia passíveis de serem retidos na CTA do solo (TOMICIOLI et al., 2021).

A tabela 5, apresenta os resultados da correlação de Pearson considerando a produtividade de grãos e os teores de nutrientes de forma isolada. Os teores de P foram correlacionados com os teores de K, Mg, Zn e Mn tal resultado foi bastante similar ao obtido na correlação com os teores destes nutrientes no solo nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm e que foram apresentados nas tabelas 2 e 3 anteriormente.

Tabela 5. Matriz de correlação linear de Pearson entre a produtividade de grãos do milho e os teores de nutrientes.

	Prod	N	P	K	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu
Prod		0,18 ns	0,23 ns	0,14 ns	0,22 ns	0,21 ns	0,23 ns	0,07 ns	-0,05 ns	0,12 ns
N			-0,01ns	-0,02 ns	0,18 ns	0,40 ns	0,25 ns	0,26 ns	-0,03 ns	0,08 ns
P				0,86 **	0,88 **	0,09 ns	0,55 **	-0,07 ns	0,46 *	0,06 ns
K					0,75 **	0,25 ns	0,56 **	0,09 ns	0,53 **	0,24 ns
Mg						0,27 ns	0,71 **	0,16 ns	0,54 **	0,17 ns
S							0,67 **	0,93 **	0,44 *	0,76 **
Zn								0,60 **	0,41 ns	0,57 **
Fe									0,44*	0,76 **
Mn										0,50 *

** e *: Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

O teor de P se correlacionou com os níveis de K ($r=0,86$), Mg ($r=0,88$), Zn ($r=0,55$) e Mn ($r=0,46$). Os teores de K foram correlacionados com os teores de Mg ($r=0,75$), Zn ($r=0,56$) e Mn ($r=0,53$). Os teores de Mg também demonstraram correlação com Zn ($r=0,71$) e Mn ($r=0,54$). O teor de S se correlacionou com os teores de Zn ($r=0,60$), Fe ($r=0,93$) e Cu ($r=0,44$) e Mn ($r=0,76$). Os teores de Zn foram correlacionados com Fe ($r=0,60$) e Cu ($r=0,57$). Os teores de Fe mostraram uma correlação significativa com os teores de Mn ($r=0,44$) e Cu ($r=0,76$), enquanto o teor de Mn apresentou correlação com o Cu ($r=0,50$).

Os resultados obtidos apresentaram correlações de produtividade quanto aos teores de P e K, mas especialmente com os micronutrientes demandados pela cultura do milho. Os micronutrientes desempenham um papel de extrema importância no desenvolvimento saudável da cultura do milho. Embora sejam necessários em quantidades menores em comparação aos macronutrientes, como N, P e K, os micronutrientes são essenciais para o crescimento adequado das plantas e para a produção de culturas de alta qualidade (NASCIMENTO et al., 2019).

Os nutrientes Cu, Fe, Mn e Zn desempenham funções cruciais para a cultura do milho. O Cu ativa enzimas, auxilia na fotossíntese e melhora a resistência a doenças. O Fe é essencial

elétrons. O Mn está envolvido na fotossíntese, síntese de clorofila e ativação de enzimas. O Zn contribui para o crescimento, metabolismo de carboidratos e ativação de enzimas. Esses nutrientes desempenham papéis vitais no crescimento saudável, desenvolvimento adequado e produção máxima de milho. Deficiências podem levar a clorose, crescimento retardado, redução da produção e maior suscetibilidade a doenças. (MALAFAIA *et al.*, 2016).

Tanto o Cu, Fe, Mn e Zn, são considerados micronutrientes metálicos, que apesar de necessários em pequenas quantidades, atuam em vários processos fisiológicos e bioquímicos. Esses micronutrientes são chamados de "metálicos" porque estão frequentemente presentes como íons metálicos em sua forma disponível para as plantas (MEDEIROS, 2021).

A tabela 6, apresentada abaixo, exibe a análise nutricional para os macronutrientes ao longo do ciclo analisado, esta contempla as relações entre as quantidades de nutrientes presentes no sistema e exportado pela cultura do milho. O principal parâmetro a ser observado neste tipo de análise é o balanço de nutrientes das culturas (BNC), que pode ser observado na última linha da tabela.

Segundo EMBRAPA (2023) o BNC trata-se da relação entre a quantidade do nutriente disponível no solo, seja naturalmente ou via adubação, com o que foi exportado pela cultura, isto é, removido do sistema através do material colhido.

Tabela 6. Análise nutricional dos macronutrientes para o ciclo analisado

	N	P	K g/kg	Ca	Mg
Adubação	179,5	82	121,8	92	84
Exportação	192,2	105,5	77,3	91,14	16,2
Desfrute	107	128,8	63,4	99	19,4
Balanço	-12,7	-23,5	44,5	0,86	67,7

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Observa-se que o BNC analisado na pesquisa foi positivo para a maioria dos macronutrientes, com exceção do N e P, que apresentaram saldo negativo. Tais valores negativos indicam que a quantidade destes nutrientes que foi exportada através dos grãos foi maior do que o oferecido via fertilidade natural do solo e adubação, o que

consequentemente demandará a reposição destes nutrientes de forma mais onerosa para a reposição da fertilidade do solo para os próximos ciclos de cultivo.

Se tratando do N, Cantarella (2007), esclarece que geralmente o nitrogênio não permanece por longos períodos disponível após seu fornecimento na forma mineral, em grande parte devido às suas fontes estarem passíveis de transformações e perdas significativas especialmente por volatilização e lixiviação. Entretanto, os níveis e a dinâmica da MO do solo são fundamentais para condicionar a disponibilidade de N e seu saldo positivo no BNC.

De acordo com Roy *et al.* (2017), o P é um dos nutrientes mais aplicados nos solos brasileiros via adubação, todavia, se tratando especialmente dos solos do cerrado, mesmo após sucessivos ciclos de adubação e muitas vezes excedendo os totais exportados pelas culturas, a alta capacidade de adsorção de fosfato nestas áreas ainda podem levar o BNC a um saldo negativo.

Conforme elucida Whitters *et al.* (2018), a alta capacidade de adsorção de P nos solos do cerrado se deve ao seu alto grau de intemperismo, que culmina com a predominância de óxidos e sesquióxidos de ferro e alumínio na matriz mineral do solo, bem como caulinita, ambos minerais com alto grau de estabilidade e capacidade de retenção de fosfatos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, o estudo demonstrou que os Latossolos Amarelos podem representar classes de alto potencial produtivo para a cultura do milho, especialmente quando bem corrigidos e adubados.

Embora amostragens estratificadas ao longo do perfil de solo sejam extremamente importantes para a correta correção da fertilidade em profundidade, os parâmetros observados na camada de 0-20 cm se mostraram bastante semelhantes à camada de 20-40 cm para a área analisada.

A correlação entre os teores de MO e B, foram de grande relevância para a produtividade do milho, especialmente considerando a camada de 80-100 cm, o que pode ter propiciado um ambiente radicular profundo e fértil, refletindo no desempenho da lavoura.

Os teores de micronutrientes observados na área foram fundamentais para as boas correlações com a produtividade, uma vez que apesar de demandas em pequenas quantidades, desempenham papéis de grande importância para os vegetais.

Os saldos negativos observados no BNC para N, pode estar relacionado à susceptibilidade a perdas das fontes nitrogenadas, assim como sua dependência da MO do solo. O P em especial, pode estar relacionado à alta capacidade de adsorção do solo em que o milho foi cultivado.

O trabalho tem como objetivo dar continuidade para compreender a dinâmica dos nutrientes na área, sendo necessário um maior número de ciclos analisados.

REFERÊNCIAS

- ARTUZO, Felipe Dalzotto et al. O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 515-540, 2019.
- BARROS, José FC; CALADO, José G. A cultura do milho. 2014.
- BATISTA, Marcelo Augusto et al. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. **BRANDÃO-FILHO, JUT; FREITAS, PSL; BERIAN, LOS; GOTO, R. Hortaliças-fruto. Maringá: EDUEM**, p. 113-161, 2018.
- BORBA, M. G., DE SOUSA, G. F., SILVA, M. A., DOS REIS, M. C., BORGHI, E., & de RESENDE, A. V. (2015). Variação dos componentes da produção e distribuição longitudinal de plantas em cultivo de milho sob semeadura direta. In: CONGRESSO MINEIRO DE INOVAÇÕES AGROPECUÁRIAS, 8., 2015, Patos de Minas. Produção animal e vegetal: a força da pesquisa mineira: anais. Patos de Minas: UNIPAM, 2015. Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 13 décimo levantamento, dezembro 2022.
- CALABRIA, Leonardo Navarro et al. CARGAS DO SOLO. **Anais da Feira de Ciência, Tecnologia, Arte e Cultura do Instituto Federal Catarinense do Campus Concórdia**, v. 5, n. 1, p. 64-64, 2022.
- CANTARELLA, H., Novais, R. D., Alvarez, V. V. H., Barros, N. D., Fontes, R. L. F., Cantarutti, R. B., & Neves, J. C. L. Fertilidade do solo. **Viçosa, MG**, p. 375-470, 2007.
- CANTARELLA, Heitor. Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados: Uso eficiente de nitrogênio em novos fertilizantes no Brasil. **Informações Agronômicas IPNI**, v. 120, p. 1213, 2007.
- CARDOSO, Milton José et al. Graus dias, produtividade de grãos e eficiência de uso da água em híbrido comerciais de milho em duas épocas de semeadura no Centro-Norte Piauiense. 2016.
- CECCON, Gessi. Milho safrinha no cerrado brasileiro. 2018.
- COELHO, Antonio Marcos et al. Fertilidade de solos: nutrição e adubação do milho. **Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2008.
- COELHO, Antônio Marcos. Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho. 2007.
- COLDEBELLA, Neuri et al. Desempenho do milho à elevação da participação do cálcio na CTC. **Scientia Agraria Paranaensis**, p. 443-450, 2018.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra.2022

CRUZ, José Carlos et al. **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.
CUNHA, T. J. F.; MENDES, Alessandra Monteiro Salviano; GIONGO, Vanderlise. Matéria orgânica do solo. 2015.

DEMÉTRIO, Claudia Sousa et al. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 43, p. 16911697, 2008.

DONIZETTI SILVA, Ademilson et al. FONTES E DOSES DE MAGNÉSIO NA CULTURA DO MILHO. **Global Science & Technology**, v. 9, n. 3, 2016.

EMBRAPA. Exportação e balanço de nutrientes das culturas agrícolas do Nordeste brasileiro. Embrapa Meio-Norte (Teresina-PI).In: **Exportação e balanço de nutrientes das culturas agrícolas do Nordeste brasileiro**. [S. l.], 2023.

FAGUNDES, Marla Oliveira et al. Qualidade de um latossolo sob plantio convencional e sistema plantio direto no cerrado baiano, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 3, p. 281-297, 2019.

FORSTHOFER, Everton Leonardo et al. Desenvolvimento fenológico e agrônômico de três híbridos de milho em três épocas de semeadura. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1341-1348, 2004.

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

GREUB, Chester E. et al. Pre- Plant Nitrogen Fertilizer Uptake and Partitioning in FurrowIrrigated Corn. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 6, p. 2974-2981, 2017.

GUTIÉRREZ, Aarón Martínez et al. Compartimentalização e Redistribuição de Zinco em Plantas de Milho sob Dois Níveis de Adubação em Latossolo no Cerrado.2016.
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/251100/1/ExportacaoBalancoNutrientesCulturasAgricolasDoc288.2023-1.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2023.

KLEIN, Vilson Antonio; KLEIN, Claudia. Metodologia de avaliação da distribuição das plantas de milho no campo versus massa de grãos. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 22, n. u, 2017.

LABEGALINI, Nayara Spricigo et al. Desenvolvimento da cultura do milho sob efeitos de diferentes profundidades de compactação do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, n. 4, p. 7-11, 2016.

LANGE, Anderson et al. Relações cálcio: magnésio e características químicas do solo sob cultivo de soja e milho. **Nativa**, v. 9, n. 3, p. 294-301, 2021.

LAPERÁ, Clélia Aparecida Iunes; DE PAULA LIMA, Max Whendell; VILARINHO, Muriel Silva. 8. ECOFISIOLOGIA DA SOJA. **Editora da Universidade do Estado de Minas Gerais Belo Horizonte 2018**, p. 120, 2018.

- MALAFAIA, Guilherme et al. Teor de nutrientes em folhas de milho fertilizado com vermicomposto de lodo de curtume e irrigado com água residuária doméstica. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, p. 799-809, 2016.
- MEDEIROS, Rebeca Yasmim dos Santos. **Determinação de micronutrientes metálicos em fertilizantes minerais por espectrofotometria de absorção atômica**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Brasil.
- 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.
- MORRISON, L. A. Cereals: Domestication of the Cereal Grains. p. 86-98, 2016.
- NASCIMENTO, Kalyne Pereira Miranda et al. Fontes fosfatadas e micronutrientes são relevantes na cultura do milho. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 5, p. 1-14, 2019.
- NASCIMENTO, Kalyne Pereira Miranda et al. Fontes fosfatadas e micronutrientes são relevantes na cultura do milho. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 5, p. 1-14, 2019.
- NOGUEIRA, Lais Meneghini et al. Avaliação nutricional e produtividade do milho em função de doses de boro e adubação com zinco. **Semina Ciências Agrárias**, v. 40, n. 6, p. 25452560, 2019.
- OLIVEIRA, Reginaldo Miranda et al. Análise de trilha do teor de fósforo nos diferentes constituintes do milho irrigado. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. e16811225568-e16811225568, 2022.
- OLIVEIRA, Thaísa Fernanda et al. Extração e exportação de macronutrientes em lavouras de milho de alta produtividade. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 3, p. 837854, 2019.
- PIAS, Osmar Henrique de Castro et al. Componentes de rendimento e produtividade de híbridos de milho em função de doses de NPK e de déficit hídrico em estádios fenológicos críticos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 4, p. 422-432, 2017.
- RAMOS, T. C. P. M. et al. Caracterização química de um solo de cerrado stricto sensu em Dourados-MS. **Simpósio de bioquímica e biotecnologia**, v. 6, p. 20-22, 2017.
- RESENDE, A. V. et al. Balanço de nutrientes e manejo da adubação em solos de fertilidade construída. 2019.
- RESENDE, A. V. et al. Manejo de nutrientes no cultivo de milho segunda safra na região do cerrado. 2018.

- RODRIGUES, V. dos S. et al. Atributos químicos do solo em área cultivada com milho sob irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 7, p. 31293138, 2018.
- ROY, Eric D. et al. Capacidade de sorção de fósforo do solo após três décadas de adubação intensiva em Mato Grosso, Brasil. **Agricultura, Ecossistemas e Meio Ambiente**, v. 249, p. 206-214, 2017.
- SANTOS, Jailma Rodrigues et al. Eficiência de métodos de controle na supressão da *Spodoptera frugiperda* (Smith) na cultura do milho. **Revista Inova Ciência & Tecnologia/Innovative Science & Technology Journal**, p. 7-13, 2018.
- SANTOS, Juliana Oliveira dos. Resposta de rendimento da cultura do milho frente a correção do solo em profundidade. 2022.
- SILVA, Thais R. da et al. Cultivo do milho e disponibilidade de P sob adubação com camadefrango. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 903-910, 2011.
- SOUSA, Ítalo Marques et al. Adubação nitrogenada e modos de disponibilização de micronutrientes na produção de milho verde. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 13, n. 1, p. 15-21, 2017.
- SOUSA, Geocleber G. de et al. Nutrição mineral e extração de nutrientes de planta de milho irrigada com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 1143-1151, 2010.
- SOUZA, Aguinaldo Eduardo et al. Estudo da produção do milho no Brasil. **South American Development Society Journal**, v. 4, n. 11, p. 182, 2018.
- SOUZA, Dhones Ribeiro et al. Resposta da cultura do milho, em segunda safra, à adubação fosfatada em Latossolo Amarelo no cerrado. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 16, n. 1, p. 14-24, 2018.
- TOMICIOLI, Rafael Magro et al. Limitação da produtividade pela deficiência de boro nas culturas da soja, milho, feijão e café. **South American Sciences**, v. 2, n. 1, p. e21100-e21100, 2021.
- VIAN, André Luis et al. Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. **Ciência Rural**, v. 46, p. 464-471, 2016.
- WEIDER, Christophe. **Analysis of multiple aspects of cytoplasmic male sterility (CMS) for its use in maize (*Zea mays* L.) cultivation**. 2008. Tese de Doutorado. ETH Zurich.
- WITHERS, P. J. A.; et al. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, v. 8, p. 2537, 2018.