

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO  
TRIÂNGULO MINEIRO – CAMPUS UBERABA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL  
MESTRADO PROFISSIONAL EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**MATHEUS TOMÉ DE SOUSA**

**O IMPACTO DOS BIOFERTILIZANTES NA REDUÇÃO DA DEPENDÊNCIA DE  
ADUBAÇÃO MINERAL DE BASE EM CULTURAS DE MILHO**

**UBERABA – MG**

**2023**

**MATHEUS TOMÉ DE SOUSA**

**O IMPACTO DOS BIOFERTILIZANTES NA REDUÇÃO DA DEPENDÊNCIA DE  
ADUBAÇÃO MINERAL DE BASE EM CULTURAS DE MILHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação de Mestrado Profissional em Produção Vegetal, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – Campus Uberaba, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Produção Vegetal.

**Orientador:** Prof. Dr. Édimo Fernando Alves Moreira

**UBERABA – MG**

**2023**

Ficha Catalográfica elaborada pelo Setor de Referência do IFTM –  
Campus Uberaba-MG

S85i      Sousa, Matheus Tomé de  
            O impacto de biofertilizantes na redução da dependência de  
adubação mineral de base na cultura do milho / Matheus Tomé de  
Sousa- 2023.  
            47 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Édimo Fernando Alves Moreira  
Dissertação (Mestrado Profissional em Produção Vegetal) - Instituto  
Federal do Triângulo Mineiro- Campus Uberaba-MG, 2023.

1. *Rhizophagus intraradices*. 2. *Azospirillum brasiliense*. 3. Ácido  
húmico. I. Moreira, Édimo Fernando Alves. II. Título.

CDD 631.8

*MATHEUS TOMÉ DE SOUSA*

**O IMPACTO DE BIOFERTILIZANTES NA REDUÇÃO DA DEPENDÊNCIA DE ADUBAÇÃO  
MINERAL DE BASE NA CULTURA DO MILHO**

**FOLHA DE APROVAÇÃO DEFESA DISSERTAÇÃO**

Data da aprovação: 30/08/2023

**MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:**

**Presidente e orientador:** **Prof. Dr. Édimo Fernando Alves Moreira**

IFTM - Campus Uberaba

**Membro Titular** **Prof. Dr. Daniel Pena Pereira**

IFTM - Campus Uberaba

**Membro Titular** **Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Patrícia Lage**

IFMG - Campus Bambuí

**Local:** Sala de Videoconferência - meet.google.com/wpi-vmoi-qua

**ÉDIMO FERNANDO ALVES MOREIRA**  
**PROFESSOR DO ENSINO BÁSICO, TÉCNICO E TECNOLÓGICO**

---

Documento assinado eletronicamente por DANIEL PENA PEREIRA, PROFESSOR DO ENSINO BÁSICO, TÉCNICO E TECNOLÓGICO, em 01/09/2023, às 08:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

PATRÍCIA LAGE  
IFMG-BAMBUÍ - MEMBRO TITULAR EXTERNO DE BANCA DE DEFESA/QUALIFICAÇÃO DE  
ESPECIALIZAÇÃO/MESTRADO/DOUT

---

Documento assinado eletronicamente por PATRÍCIA LAGE, IFMG-BAMBUÍ - MEMBRO TITULAR EXTERNO DE BANCA DE DEFESA/QUALIFICAÇÃO DE ESPECIALIZAÇÃO/MESTRADO/DOUT, em 15/09/2023, às 13:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <http://www.iftm.edu.br/autenticacao/> informando o código verificador **8C942F9** e o código CRC **431AB8D9**.

Dedico este título, aos meus pais, Rui Primo de Sousa e Maria Inês Tomé de Sousa que estiveram ao meu lado, apoiando, aconselhando e enfrentando todos os desafios encontrados ao longo do caminho.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pela vida e por sustentar nos seus braços todos os momentos da minha existência terrena.

Aos meus pais, Rui e Maria Inês, que não mediram esforços para tornar esse sonho realidade. Sem vocês nada disso seria possível.

Ao professor e orientador, Prof. Dr. Édimo Fernando Alves Moreira, pela orientação, pelos ensinamentos e por todo apoio prestado nesse período e principalmente como parceiro de uma caminhada científica.

Ao IFTM – Campus Uberaba, por toda a estrutura fornecida para a realização deste trabalho. Ao corpo docente do Mestrado Profissional em Produção Vegetal do IFTM – Campus Uberaba, pelos ensinamentos e experiências compartilhadas ao longo do curso.

Aos técnicos e servidores do IFTM – Campus Uberaba, que tornaram possível a realização do curso.

Ao setor de produção do IFTM – Campus Uberaba, por todo apoio fornecido ao longo da condução do trabalho, em especial aos servidores Paulo Chiba e Raimundo.

Aos meus amigos Instituto Federal de Minas Gerais pelo apoio nas avaliações dos experimentos. O auxílio de vocês foi fundamental.

Aos amigos formados durante o curso de pós-graduação nesta caminhada científica. A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, muito obrigado.

*“Uma oferenda de um sábio a um rei é mais que  
ouro e prata, e sim a semente da esperança.”*

Chadwick Boseman

## RESUMO

O milho é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo. A adubação desempenha papel central na produção do milho e representa boa parte dos custos da produção. Neste contexto, essa pesquisa objetivou avaliar o efeito da aplicação via inoculação de sementes, de *Rhizophagus intraradices* (AMF), *Azospirillum brasiliense* (AbV5) e via solo de ácido húmico como uma alternativa para redução na adubação mineral do milho. O experimento foi conduzido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG), campus Bambuí, na safra de 2021 a 2022 em delineamento em blocos completos casualizados, com nove tratamentos e seis repetições. Cada unidade experimental foi constituída de seis linhas com oito metros de comprimento e espaçadas 0,6 m entre si. Os tratamentos foram assim constituídos: T1=100% da dose de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) recomendada; T2=75% da dose NPK recomendada; T3=75 % da dose NPK + *Azospirillum brasiliense*; T4=75% da dose NPK recomendada + Fungo micorrízico arbuscular; T5=75% da dose NPK recomendada + ácido húmico; T6=75 % da dose NPK + *Azospirillum brasiliense* + Fungo micorrízico arbuscular; T7=75% da dose NPK + *Azospirillum brasiliense* + Ácido húmico; T8=75% da dose NPK recomendada + Fungo micorrízico arbuscular + ácido húmico; T9=75% da dose NPK recomendada + *Azospirillum brasiliense* + Fungo micorrízico arbuscular + ácido húmico. A densidade de plantio foi de quatro sementes por metro linear do milho híbrido AG-8701®. Foram avaliados os seguintes caracteres, teores de clorofila a e b, massa das raízes secas, massa da parte aérea seca, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, peso de 100 grãos, produtividade, teores nutricionais de N, P e K. Os resultados da análise de componentes principais (ACP) demonstrou que os tratamentos 4, 6 e 9 estão associados a maiores valores de produtividade. O tratamento 4 demonstrou superioridade em relação ao peso de cem grãos e massa da parte aérea seca. Para o potássio foliar, número de grãos por fileira e teores de clorofilas a e b, a ACP destacou a aplicação do tratamento 9. Nas variáveis, nitrogênio foliar e fósforo foliar, a ACP destaca a aplicação do tratamento 1. A integração das estratégias de aplicação de *Rhizophagus intraradices*, *Azospirillum brasiliense* e ácidos húmicos é eficiente em reduzir a adubação mineral com Nitrogênio, Fósforo e Potássio em até 25% da dose recomendada sem comprometer e aumentando os níveis de produtividade.

**Palavras chave:** *Rhizophagus intraradices*; *Azospirillum brasiliense*; Ácido húmico.

## ABSTRACT

Corn is one of the most produced and consumed cereals in the world. Fertilization plays a central role in corn production and represents a large part of production costs. In this context, this research aimed to evaluate the effect of application via seed inoculation, of *Rhizophagus intraradices* (AMF), *Azospirillum brasiliense* (AbV5) and via soil of humic acids as an alternative to reduce the mineral fertilization of corn. The experiment was conducted at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Minas Gerais (IFMG), Bambuí campus, in the 2021 to 2022 season in a complete randomized block design, with nine treatments and six replications. Each experimental unit consisted of six rows eight meters long and spaced 0.6 m apart. The treatments were as follows: T1=100% of the recommended NPK dose; T2=75% of recommended NPK dose; T3=75% of the NPK dose + *Azospirillum brasiliense*; T4=75% of recommended NPK dose + Arbuscular mycorrhizal fungus; T5=75% of the recommended NPK dose + humic acid; T6=75% of the NPK dose + *Azospirillum brasiliense* + Arbuscular mycorrhizal fungus; T7=75% of the NPK dose + *Azospirillum brasiliense* + Humic acid; T8=75% of the recommended NPK dose + Arbuscular mycorrhizal fungus + humic acid; T9=75% of the recommended NPK dose + *Azospirillum brasiliense* + Arbuscular mycorrhizal fungus + humic acid. Planting density was four seeds per linear meter of hybrid maize AG-8701®. The following characters were evaluated: chlorophyll a and b content, dry root mass, dry shoot mass, number of rows per ear, number of grains per row, weight of 100 grains, productivity, nutritional contents of N, P and K. The results of principal component analysis (PCA) showed that treatments 4, 6 and 9 are associated with higher productivity values. Treatment 4 showed superiority in relation to the weight of one hundred grains and dry shoot mass. For leaf potassium, number of grains per row and chlorophyll a and b contents, the ACP highlighted the application of treatment 9. In the variables, foliar nitrogen and foliar phosphorus, the ACP highlighted the application of treatment 1. The integration of the application strategies of *Rhizophagus intraradices*, *Azospirillum brasiliense* and humic acids is efficient in reducing mineral fertilization with Nitrogen, Phosphorus and Potassium by up to 25% of the recommended dose without compromising and even increasing productivity levels.

**Keywords:** *Zea mays*; *Rhizophagus intraradices*; *Azospirillum brasiliense*; humic acid.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Análise de componentes principais para análise exploratória dos efeitos dos tratamentos (T1=100% da dose NPK recomendada; T2=75% da dose NPK recomendada; T3=75 % da dose NPK + *Azospirillum brasiliense*; T4=75% da dose NPK recomendada + Fungo micorrízico arbuscular; T5=75% da dose NPK recomendada + ácido húmico; T6=75 % da dose NPK + *Azospirillum brasiliense* + Fungo micorrízico arbuscular; T7=75 % da dose NPK + *Azospirillum brasiliense* + Ácido húmico; T8=75% da dose NPK recomendada + Fungo micorrízico arbuscular + ácido húmico; T9=75% da dose NPK recomendada + *Azospirillum brasiliense* + Fungo micorrízico arbuscular + ácido húmico) nas variáveis respostas (PROD=Produtividade; P100=Peso de cem grãos; NF=Número médio de fileiras por espiga; NGF=Número médio de grãos por fileira; MAS=Massa da parte aérea seca; MRS=Massa das raízes secas; CA=Clorofila A no estádio R2; CB=Clorofila B no estádio R2; N=Nitrogênio foliar; P=Fósforo foliar e K=Potássio Foliar)..... 30

Figura 2 - Análise de agrupamento dos tratamentos usando a distância de Ward para os dados do experimento 1 (Safrá 2021/2022). Na figura T1=100% da dose NPK recomendada; T2=75% da dose NPK recomendada; T3=75 % da dose NPK + *Azospirillum brasiliense*; T4=75% da dose NPK recomendada + Fungo micorrízico arbuscular; T5=75% da dose NPK recomendada + ácido húmico; T6=75% da dose NPK + *Azospirillum brasiliense* + Fungo micorrízico arbuscular; T7=75% da dose NPK + *Azospirillum brasiliense* + Ácido húmico; T8=75% da dose NPK recomendada + Fungo micorrízico arbuscular + ácido húmico; T9=75% da dose NPK recomendada + *Azospirillum brasiliense* + Fungo micorrízico arbuscular + ácido húmico. .... 32

Figura 3 - Matriz de correlação linear entre as variáveis respostas no Experimento 1 (Safrá 2021/2022). Na figura, PROD=Produtividade; P100=Peso de cem grãos; NF=Número médio de fileiras por espiga; NGF=Número médio de grãos por fileira; MAS=Massa da parte aérea seca; MRS=Massa das raízes secas; CA=Clorofila A no estádio R2; CB=Clorofila B no estádio R2; N=Nitrogênio foliar; P=Fósforo foliar e K=Potássio Foliar..... 33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperaturas máxima, mínima e umidade relativa da área experimental no período de condução do experimento (outubro de 2021 a março de 2023)..... 23

Tabela 2 - Análise de solo nas camadas de 0-20 centímetros (pH = Potencial hidrogeniônico; K =Potássio disponível–Extrator Mehlich; Ca=Cálcio trocável–Extrator KCl-1mol/L; Mg= Magnésio trocável-Extrator KCl-1mol/L; Al=Alumínio-Extrator KCl-1mol/L; H+Al=Acidez Potencial-Extrator SMP; SB=Soma de bases trocáveis; CTC=Capacidade troca catiônica a pH 7,0; V=Índice de saturação de bases; M.O=Oxidação Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O; B=Boro disponível - Extrator água quente; Cu=Cobre disponível-Extrator Mehlich; Fe=Ferro disponível - Extrator Mehlich; Mn=Mangânes disponível Extrator Mehlich; Zn=Zinco disponível Extrator Mehlich; P= Fósforo - Extrator Mehlich) do experimento Safra 2021/2022. .... 24

Tabela 3 - Constituição dos tratamentos em função do potencial da dose de adubação mineral recomendada (NPK), presença (sim) ou ausência (-) de inoculação com Fungo micorrízico arbuscular *Rhizophagus intraradices* (AMF), presença ou ausência de inoculação com bactéria promotora da crescimento *Azospirillum brasiliense* (PGPR) e aplicação ou não de ácido húmico. .... 25

Tabela 4 - Média das variáveis respostas (PROD=Produtividade; P100=Peso de cem grãos; NF=Número médio de fileiras por espiga; NGF=Número médio de grãos por fileira; MAS=Massa da parte aérea seca; MRS=Massa das raízes secas; CA=Clorofila A no estágio R2; CB=Clorofila B no estágio R2; N=Nitrogênio (digestão sulfúrica e método semi-micro-Kjeldahl); P=Fósforo (digestão nítrico-perclórica e determinação colorimétrica com metavanadato) e K=Potássio (digestão nítrico-perclórica e determinação espectrofotométrica) em função dos tratamentos (T1=100% da dose NPK recomendada; T2=75% da dose NPK recomendada; T3=75 % da dose NPK + *Azospirillum brasiliense*; T4=75% da dose NPK recomendada + Fungo micorrízico arbuscular; T5=75% da dose NPK recomendada + ácido húmico; T6=75 % da dose NPK + *Azospirillum brasiliense* + Fungo micorrízico arbuscular; T7=75 % da dose NPK + *Azospirillum brasiliense* + Ácido húmico; T8=75% da dose NPK recomendada + Fungo micorrízico arbuscular + ácido húmico; T9=75% da dose NPK recomendada + *Azospirillum brasiliense* +Fungo micorrízico arbuscular + ácido húmico) no experimento 1 (Safra 2021/2022). .... 31

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IFTM	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro
IFMG	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais)
AMF	<i>Rhizophagus intraradices</i>
AbV5	<i>Azospirillum brasiliense</i>
PROD	Produtividade
P100	Peso de cem grãos
NF	Número médio de fileiras por espiga
NGF	Número médio de grãos por fileira
MAS	Massa da parte aérea seca
MRS	Massa das raízes secas
CA	Clorofila A
CB	Clorofila B
SOD	Superoxide dismutase
CAT	Catalase
ATP	Adenosina trifosfato
HÁ	Ácidos Húmicos
NADPH <sub>2</sub>	Fosforilação acíclica
ABA	Ácido absíciso
GA	Giberelina
SB	Soma de bases trocáveis
CTC	Capacidade troca catiônica

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>14</b>
1.1 INTRODUÇÃO .....	14
1.2 REVISÃO DE LITERATURA .....	16
1.2.1 A CULTURA DO MILHO .....	16
1.2.2 AZOSPIRILLUM BRASILIENSE .....	19
1.2.3 FUNGO MICORRÍZICO ARBUSCULAR.....	20
1.2.4 ÁCIDOS ORGÂNICOS .....	21
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>23</b>
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO E DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	23
2.2 CARACTERES AVALIADOS.....	26
2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	27
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>28</b>
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	28
4 CONCLUSÃO .....	34
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>35</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>44</b>
ANEXO 1 .....	44
ANEXO 2 .....	45

# CAPÍTULO I

## 1.1 INTRODUÇÃO

O milho é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, com aproximadamente 1.150,7 milhão de toneladas produzidas na safra 2022/23 (USDA, 2022). A grande utilização do milho deve-se a sua versatilidade, que inclui desde a alimentação humana e animal até a sua utilização na indústria e na produção de energia. O maior produtor mundial são os Estados Unidos, com cerca de 30,3% da produção global, seguido da China, 24,08% e Brasil, 11,5% (USDA, 2022). Um dos fatores limitantes à produção é o alto custo e a alta demanda de fertilizantes minerais.

A adubação desempenha papel fundamental na produção de cereais. Segundo Ashgar *et al.* (2010), a adubação responde por até 45% no incremento da produção de milho. Em especial, o uso adequado e balanceado de nitrogênio, fósforo e potássio, nutrientes requeridos em maior quantidade, é fundamental para a expressão do máximo potencial produtivo das variedades de milho. Esses nutrientes são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, uma vez que estão diretamente envolvidos nos principais processos bioquímicos, como a fotossíntese, a respiração e a absorção de água e outros minerais (Asibi; Chai; A Coulter, 2019). A alta demanda desses nutrientes, no entanto, traz grandes desafios aos agricultores. A principal forma de disponibilização desses nutrientes é via adubação mineral, o que representa um alto custo no processo de produção e pode trazer uma série de problemas ambientais, como contaminação de vias fluviais (Gao *et al.*, 2020).

Nesse sentido, para maximizar economicamente o uso de fertilizantes químicos e reduzir os seus possíveis efeitos prejudiciais ao meio ambiente, os biofertilizantes são considerados como uma abordagem alternativa promissora para o milho e outras culturas. Estes biofertilizantes são baseados principalmente em microrganismos benéficos aplicados à semente e/ou ao solo com o objetivo de aumentar a fertilidade do solo e o crescimento das plantas, via aumento do número e da atividade biológica dos microrganismos desejados na rizosfera (Gao *et al.*, 2020). Dentre os diferentes biofertilizantes possíveis de uso, podem ser destacados os fungos micorrízicos arbusculares, as bactérias promotoras de crescimento, e os ácidos orgânicos.

Os fungos micorrízicos arbusculares (AMF) são conhecidamente eficientes em melhorar o crescimento e a produtividade da maioria das plantas (Zhu; Song; Xu, 2010). As micorrizas,

via desenvolvimento das hifas na região radicular das plantas, aumentam a área de absorção de nutrientes e água, e atuam como bioprotetores contra patógenos e elementos tóxicos (Jeffries *et al.*, 2003). Especialmente no cerrado brasileiro, com solos mais ácidos, as micorrizas são essenciais na disponibilização e absorção de fósforo. Além disso, as micorrizas aumentam a produtividade via aumento da taxa fotossintética (Rouphael *et al.*, 2015).

Assim como as micorrizas, as rizobactérias promotoras de crescimento (PGPR), especialmente as do gênero *Azospirillum*, para o caso do milho, tem alto potencial para incrementar o desenvolvimento e a produtividade das plantas (Skonieski *et al.*, 2019). As bactérias, associadas às raízes das plantas, assimilam o N atmosférico e o torna disponível para a planta em um processo conhecido como fixação biológica de nitrogênio (Skonieski *et al.*, 2019). Além disso, as PGPR melhoram o desenvolvimento radicular, potencializam a absorção de água e nutrientes, e aumentam a tolerância a estresses abióticos, como salinidade e déficit hídrico (Bashan; De-Bashan, 2010). Dessa maneira, as PGPR têm potencial significativo para melhoria da eficiência no uso dos nutrientes e no aumento da produtividade.

Já os ácidos húmicos (HA), por sua vez, têm sido relatados como agente potencial para a absorção e transporte de nutrientes, e disponibilidade de micronutrientes (Abou-Aly, Mady, 2009). Adicionalmente, atuam como priming nas sementes, e assim tem papel importante na germinação e no desenvolvimento inicial das plantas (Sheteiwy *et al.*, 2019). Além disso, estudos reportam a melhoria da atividade da superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) e glutathione peroxidases e a redução da transpiração e a eficiência da absorção de água (Asli; Neumann, 2010; Moghadam, 2013).

Desde que a adubação mineral está inserida no custo de produção do milho no Brasil, o uso combinado dos AMF, PGPR e HA pode contribuir para melhoria da eficiência do processo de produção. Ainda que o papel da aplicação destes biofertilizantes e bioestimulantes têm sido amplamente estudados, ainda são escassos os trabalhos que combinam todas essas estratégias. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é verificar o efeito da aplicação de *Rhizophagus intraradices*, *Azospirillum brasiliense* (AbV5) e ácidos húmicos como uma alternativa para redução na adubação mineral do milho.

## 1.2 REVISÃO DE LITERATURA

### 1.2.1 A CULTURA DO MILHO

O milho é uma planta herbácea com caule do tipo colmo, formado por nós e entrenós, que facilitam o suporte das folhas, as quais são alternas, longas, com limbo verde, bordas serrilhadas e nervura central. É uma planta monoica com as flores masculinas localizadas na extremidade superior e as femininas nas axilas foliares, sua polinização é alógama (Silva *et al.*, 2021). O grão de milho trata-se de um fruto, chamado de cariopse, onde o pericarpo está associado ao tegumento da semente (Barros; Calado, 2014). As raízes são fasciculadas com aproximadamente três metros de comprimento, com raízes adventícias que auxiliam na sustentação da planta e absorção de minerais em solução (Moreno, 2019). O milho pertence à família Poaceae, gênero *Zea* e espécie *Zea mays* L. É uma planta com metabolismo C4 e ciclo anual (Alves *et al.*, 2022).

Considerado um dos principais cereais cultivados mundialmente, o milho é utilizado na alimentação humana, como matéria-prima industrial e para produção de ração animal. O seu ciclo é formado pelos estádios vegetativo e reprodutivo, com subdivisões, onde o estágio vegetativo é representado numericamente de acordo com a última folha emitida e o estágio reprodutivo é dividido em florescimento (R1), grão leitoso (R2), grão pastoso (R3), grão farináceo (R4) e maturidade fisiológica (R6) (Silva *et al.*, 2021). As cultivares que apresentam menos de 110 dias de cultivo são considerados de ciclo precoce, as que apresentam de 110 a 145 dias são de ciclo médio e que apresentam mais de 145 dias são de ciclo tardio (Magalhães, Durães, 2006).

O ciclo do milho pode ser influenciado pelo melhoramento genético, pela época de semeadura, pelo clima, tipo de solo, fornecimento de nutrientes, entre outros fatores, como patógenos e herbivoria. Para assegurar a produtividade da cultura, faz-se necessário a melhoria nos sistemas de produção considerando os diversos fatores que afetam o seu bom desenvolvimento (Cabral *et al.*, 2020). O suprimento nutricional adequado é considerado um fator relevante para alcançar elevada produtividade, principalmente em relação ao fornecimento de nitrogênio, fósforo e potássio (Moreno, 2019).

O nitrogênio (N) é um dos macronutrientes essenciais para produção de milho, contribuindo no desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, também é constituinte de vários componentes da célula vegetal como aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos, assim participando diretamente no processo fotossintético (Skonieski *et al.*, 2019). Possui papel

importante em diversos processos fisiológicos e bioquímicos (Asibi *et al.*, 2019). No processo fotossintético, eleva os níveis de clorofila e atividade enzimática nas folhas, elevando o vigor das plantas, sendo caracterizado quando a folha está com coloração verde escura (Nasar *et al.*, 2022). A absorção do N pela planta ocorre principalmente nas formas de nitrato ( $\text{NO}_3^-$  e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) (Zambolim *et al.*, 2012). Devido à sua participação e importância em processos do desenvolvimento vegetal, o N eleva os números da produtividade, desde que esteja prontamente disponível para a planta no solo (Khan *et al.*, 2019).

No solo, o N está na forma orgânica, necessitando dos microrganismos realizarem a mineralização ou fixação biológica, tornando-o disponível e absorvido pela planta tanto nas formas  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ , por meio da membrana plasmática de células da epiderme e córtex da região apical da raiz (Moreno, 2019). A fixação biológica do N é realizada por um grupo de bactérias, denominadas diazotróficas. As quais interagem com milho realizando a assimilação e utilização do nutriente, por meio da presença do complexo enzimático nitrogenase, que realiza a conversão de  $\text{N}_2$  em  $\text{NH}_3$  (Kappes *et al.*, 2013). A utilização de fontes solúveis, como ureia (46%), nitrato de amônio (32%) e sulfato de amônio (20%) são opções ao fornecimento de nitrogênio para planta (Aguiar *et al.*, 2014). Porém, são de origem industrial, produzidos por meio de combustíveis fósseis e possuem alta perda por lixiviação e volatilização, dependendo da maneira e época que forem aplicados, sendo recomendado em semeadura e ou em cobertura (Biesdorf *et al.*, 2016). Sua utilização no momento da semeadura é importante pelo seu efeito sinérgico com o fósforo, onde fornecidos em doses adequadas proporcionam maiores ganhos em produção vegetal do que usados isoladamente (Szulc *et al.*, 2021).

O fósforo (P) é o segundo macronutriente mais utilizado na produção agrícola, participando de processos metabólicos celulares, como componente estrutural molecular compondo ácidos nucleicos, fosfolipídios, ATP e  $\text{NADPH}_2$ . Além disso, atua em diversos processos no metabolismo energético, como na fotossíntese, respiração oxidativa, assimilação de carbono e nitrogênio, processos energéticos, regulação metabólica e ativação de proteínas. Estando relacionado com crescimento de raízes, maturação de frutos e formação de grãos (Jiang *et al.*, 2017). No solo a concentração de P é baixa e de baixa mobilidade, devido à sua fixação com minerais, argilas, o qual tem grande afinidade (Parentoni *et al.*, 2010). Sua deficiência ocasiona redução no crescimento, devido a prejuízos na divisão e no alongamento celular, e redução no desenvolvimento do pendão, interferindo na produtividade, sendo um macronutriente importante no desenvolvimento e na produtividade (Jiang *et al.*, 2017).

A utilização de fertilizantes fosfatados na formulação de nutrientes proporciona elevada produtividade, devido a sua importância para a cultura do milho. A aplicação de mineral fosfatado deve ser em valores elevados em relação ao requerimento nutricional do milho, pois o P possui grande capacidade de se fixar a outros elementos, tornando-se indisponível para planta (Jiang *et al.*, 2017). Os principais fertilizantes minerais fosfatados são fosfato monoamônico (48%), fosfato diamônico (45%), fosfato natural (24%), superfosfato simples (18%) e superfosfato triplo (41%) (Aguiar *et al.*, 2014). A aplicação de fertilizante fosfatado em milho é realizada em pré-semeadura ou semeadura, tendo importância no início do desenvolvimento da raiz, favorecendo maior obtenção de água e nutrientes no solo (Szulc *et al.*, 2021).

O terceiro macronutriente considerado importante para o milho é o potássio (K) onde na demanda inicial da cultura, principalmente, o seu fornecimento favorece o arranque inicial de raiz e o crescimento vegetativo (Raza *et al.*, 2021). Com função importante na translocação de fotoassimilados via floema, regulação estomática e ativação de enzimas (Ahmad *et al.*, 2021). Fundamental em vários processos como, síntese de proteínas, transformação de energia, osmorregulação, fator de resistência a estresses, troca de cátions e ânions, onde o seu transporte é via xilema e floema, assim tendo alta mobilidade na planta (Raza *et al.*, 2021). O nutriente tem papel no rendimento da cultura, sendo componente importante no enchimento de grãos, através do transporte de carboidratos vindo de outros órgãos da planta (Yang *et al.*, 2021).

No solo o K se apresenta de diversas formas, em solução, trocável podendo variar entre 0,1 a 2,0% e não trocável entre 2 e 7,5% e estrutural, de 92 a 97%. Para suprir a demanda da planta, a solução de K e os sítios de troca dos coloides precisam estar em equilíbrio com o K não trocável e estrutural (Faria *et al.*, 2012). Visando o fornecimento adequado de K à planta, para não ocasionar perdas em produtividade, existem algumas fontes de fertilizante mineral potássico, como, o cloreto de potássio (58%), sulfato de potássio (48%) e nitrato de potássio (44%) podendo ser aplicado no momento da semeadura e ou em cobertura (Aguiar *et al.*, 2014). Considerando que a maior parte da produção mundial de K é destinada para fertilizante e a sua alta exigência pela planta, é necessário realizar um manejo eficiente dos fertilizantes, assim, evitando possíveis impactos negativos ao meio ambiente e otimizando a produtividade das culturas (Grupo de Trabalho Interministerial, 2021).

Devido a importância dos fertilizantes minerais para agricultura e possíveis prejuízos ao meio ambiente, ocasionados por erros de aplicação, há necessidade de novas tecnologias, visando redução gradativa do uso de fertilizantes minerais sem perdas em produtividade (Gouda

*et al.*, 2017). O uso de biofertilizantes vem se tornando uma alternativa na cadeia de produção agrícola, como a utilização de fungos micorrízicos arbusculares, *Azospirillum brasiliense* e ácidos húmicos (Jones *et al.*, 2014). Considerar-se-á que existem poucas informações relacionando a combinação de biofertilizantes e seus efeitos no desenvolvimento vegetativo e aumento de produtividade (Gao *et al.*, 2020). Neste contexto, é importante buscar novas tecnologias, acompanhada de microrganismos que possam contribuir com a redução da utilização de fertilizantes nitrogenados no solo e otimizar a produtividade vegetal (Araújo, Mercante, Vitorino, 2015). Elevando a microbiota do solo, otimizando a ciclagem de nutrientes, favorecendo o manejo da fertilidade do solo, reduzindo a dependência de fertilizantes minerais e assim melhorando a estrutura química do solo (Tang *et al.*, 2020).

### **1.2.2 AZOSPIRILLUM BRASILIENSE**

Diversas variedades de bactérias promotoras de crescimento foram estudadas mundialmente, mas poucas foram utilizadas comercialmente, dentre elas estão as espécies *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Azobacter*, *Serratia* e *Azospirillum* (Vejan, 2016). O gênero *Azospirillum* é um grupo de bactérias associadas às plantas por meio da colonização externa ou da associação endofítica nas raízes. São relatadas 19 espécies de *Azospirillum*, estando dentre as principais o *A. brasilense*, *A. lipoferum*, *A. halopraeferens* e *A. oryzae*, estes têm grande utilização em cereais, atuando como biofertilizantes (Zeffa *et al.*, 2019). As bactérias atuam no desenvolvimento das plantas por meio de diferentes mecanismos, como a biossíntese e liberação de aminoácidos, ácido indol-ácético, citocininas, giberelinas, intensificando o crescimento de raízes, proporcionando aumento na absorção de água e nutrientes (Vejan *et al.*, 2016). O *Azospirillum brasiliense* (AbV5) é capaz de fixar o nitrogênio atmosférico, realizando fixação biológica (FBN), contribuindo para o fornecimento de N para a planta (Galindo *et al.*, 2019). O N atmosférico fixado é liberado lentamente para a planta e parte dele é utilizado para manutenção microbiana, que após a morte do conteúdo bacteriano uma parcela significativa é mineralizada (Piccinin *et al.*, 2015).

O *Azospirillum brasiliense* é um microrganismo diazotrófico que atua em associação com espécies da família Poaceae, porém não realizam a nodulação, as bactérias ficam próximas as raízes ou no interior do tecido vegetal, realizando a transformação do nitrogênio do ar, em estruturas assimiláveis por outros organismos, especialmente os vegetais, facilitando sua assimilação. São utilizados normalmente via inoculação de sementes e ou via foliar, produtos

comerciais com estirpes de AbV5 e ou AbV6 na forma líquida ou turfosa (Hungria *et al.*, 2010). Müller *et al.*, (2016) verificou que a utilização de *Azospirillum brasiliense* em milho proporcionou resultados positivos na análise de índice de clorofila foliar em relação as plantas não inoculadas. Em estudo realizado por Galindo *et al.*, (2019) foi observado efeito no desenvolvimento das plantas e nos caracteres bioquímicos. Dartora *et al.*, (2016) observou que a utilização de *Azospirillum brasiliense* (Ab/V5) via inoculação de semente combinado com 30 kg.ha<sup>-1</sup> resultou em incrementos na produtividade, semelhante a utilização de 160 kg.ha<sup>-1</sup>, divididos em 30 kg.ha<sup>-1</sup> e o restante realizado em cobertura.

A utilização de microrganismos promotores de crescimento é realizada para obtenção do aumento da produtividade e do desenvolvimento vegetal. Todavia, a bactéria pode não fornecer o suprimento nutricional adequado de N para a planta, onde sua utilização de forma isolada não é recomendada (Piccinin *et al.*, 2015).

### 1.2.3 FUNGO MICORRÍZICO ARBUSCULAR

A microbiota do solo apresenta grande biodiversidade de microrganismos, um deles é o fungo micorrízico arbuscular (AMF) com viabilidade econômica e ambiental (Mergulhão *et al.*, 2014). Pertencem ao grupo Glomeromycotina e são organismos biotróficos, e os inóculos comerciais têm como princípio ativo espécies do gênero *Rhizophagus* e *Funneliformis* (Spatafora *et al.*, 2017). Sua colonização ocorre nas raízes dos vegetais, caracterizado pelo desenvolvimento de hifas intracelulares, formando arbúsculos, que fornecem nutrientes do solo à planta em troca de carboidratos (Saboor *et al.*, 2021) os quais possuem ramificações formadas de lipídeos e glicogênio (Moreira *et al.*, 2020). O AMF contribui para um maior desenvolvimento de raiz, por meio de suas hifas, facilitando a penetração nas zonas de maior resistência do solo, favorecendo a exploração de um maior volume (Mathur, Sharma, Jajoo, 2018).

A relação simbiótica tem papel importante, principalmente na absorção de nutrientes imóveis, como o P, componente importante no metabolismo vegetal (Wang *et al.*, 2020). As hifas extrarradiculares de *Rhizophagus intraradices* além de favorecerem maior absorção de P, assim secretando fosfatases para hidrolisar o íon fosfato de compostos orgânicos, proporcionando maior procura e absorção de fósforo pela planta em condições de baixa disponibilidade (Holste *et al.*, 2016; Roupheal, 2015). Segundo Wang *et al.*, (2020) a interação de diversas espécies de AMF com a cultura do milho resultou na maior absorção de P do solo.

O *Rhizophagus intraradices* favorece o processo fotossintético, com o fornecimento de maior volume de água, contribuindo para aumento da formação de clorofilas nas células (Zhu *et al.*, 2012). A recuperação ao estresse hídrico em plantas de milho foi favorecida com a utilização de AMF (Pioufle *et al.*, 2019). Em plantas de milho inoculadas com *Rhizophagus intraradices* sob estresse térmico foi observado aumento na largura da folha, altura de plantas e número de espigas, em relação a plantas não inoculadas (Mathur, Sharma, Jajoo, 2018).

A utilização de AMF's potencializa o aumento do teor de nutrientes para as plantas por meio da simbiose, podendo ser considerada como uma ferramenta de manejo, resultando consequentemente na redução da utilização de fertilizantes minerais sem prejuízos ao metabolismo vegetal (Pawar *et al.*, 2018), reduzindo custos e otimizando a produtividade.

#### 1.2.4 ÁCIDOS ORGÂNICOS

Na matéria orgânica do solo proveniente de resíduos vegetais e animais, ocorre processos de decomposição contínua com diversos estágios de transformação. O último processo de decomposição origina as substâncias húmicas, estas podem ser utilizadas para fornecimento de nutrientes em diversos sistemas de produção, podendo beneficiar tanto o desenvolvimento vegetativo quanto estruturação do solo (Paiva, 2020).

A separação das substâncias húmicas origina os ácidos húmicos (HA) e os ácidos fúlvicos (FA). O ácido húmico faz parte da composição das substâncias húmicas do solo, que promovem o equilíbrio hormonal, favorecendo a utilização de luz, nutrientes e água pelas plantas (Fahramand *et al.*, 2014). São moléculas menores, naturais e heterogêneas estruturadas por fontes hidrofóbicas, carregadas organicamente e produzidas por processos bacterianos e químicos no solo (Canellas *et al.*; 2015). Atuam como estimulador da germinação e do desenvolvimento vegetal, por meio do aumento da capacidade da planta na absorção e transporte de nutrientes, aumentando inclusive a retenção de carbono orgânico no solo (Gao *et al.*, 2020). A utilização de HA estimula o desenvolvimento do sistema radicular, pela estimulação do alongamento das raízes laterais (Melo, Baldotto, Baldotto, 2015). Os ácidos fúlvicos são substâncias com grande número de grupos funcionais oxigenados, são solúveis em meio básico e ácido (Paiva, 2020). São moléculas de baixo peso molecular, influenciam a absorção e transporte de nutrientes, proporcionando maior desenvolvimento do sistema radicular, devido a ações relacionadas à expansão e diferenciação celular (Borcioni; Mógor; Pinto, 2016). Nas plantas apresentam efeito biorregulador, alterando os processos fisiológicos das plantas, aumentando a absorção de íons, produção de precursores hormonais, e atuando nas

enzimas metabólicas e proporcionando maior resistência a condições adversas de ambiente (Paiva, 2020).

A aplicação de substâncias húmicas é realizada diretamente no solo, promovendo melhorias nas propriedades físicas e químicas do solo e elevando a capacidade de retenção de água (Nguyen, Tran, 2020). Em relação a parte biológica do solo, ocorre melhora no desenvolvimento de organismos, devido ao aumento no teor de carbono, fornecendo energia as espécies microbianas no solo (Fahramand *et al.*, 2014). Além disso, o HA possui potencial de equilíbrio entre a biossíntese de ácido absísico (ABA) e giberelina (GA) (Sheteiwy *et al.*, 2017). No solo, os ácidos fúlvicos têm função importante na produção de carga negativa, através da dissociação de grupos funcionais ácidos, assim afetando o poder tampão do solo. São alternativas, visando estruturação, por meio de uma maior retenção de água, aeração e agregação de partículas coloidais proporcionando menor risco de erosão (Paiva, 2020).

Estudos relataram maior produtividade na cultura do milho quando aplicado ácido húmico em diferentes taxas de aplicação (Azeem *et al.*, 2014). Canellas *et al.* (2019) evidencia uma relação sinérgica entre ácido húmico e N, atuando na destinação do N orgânico, na sua ciclagem e na disponibilidade para as plantas. Gao (2022) relata que a aplicação de ácidos fúlvicos eleva a atividade de ATP fosfohidrolase na membrana plasmática da raiz, portanto aumentando o crescimento de raiz na cultura do milho. A utilização de ácido húmico associado ao fungo micorrízico arbuscular promoveram maior crescimento de plantas de milho (Canellas *et al.*, 2015).

O aumento da disponibilidade de nutrientes à planta com melhorias na produtividade e sem ocasionar perdas e danos ao meio ambiente promove o desenvolvimento de tecnologias limpas de cultivo (Canellas *et al.*, 2019).

## CAPÍTULO II

### 2 MATERIAL E MÉTODOS

#### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO E DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido, de 29 de outubro de 2021 a 29 de março de 2022, na área experimental do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), Campus Bambuí, localizado na região centro-oeste de Minas Gerais. Na classificação de Koppen-Geiger (1936), o clima da região é caracterizado como Aw, tropical de Savana. De acordo com dados do INPE (2021), a região tem temperatura média histórica anual de 21,7°C e precipitação pluviométrica histórica média anual de 1272,1 mm. Os dados meteorológicos da área experimental, no período de condução do experimento, foram coletados da Estação Meteorológica do campus e estão descritos na Tabela 1. Na área experimental o solo é classificado como Latossolo Vermelho com textura argilosa (Oliveira *et al.*, 2018). A amostragem de solo foi realizada no mês de maio/21 nas profundidades 0–20cm antes do preparo do solo, conforme metodologia proposta por (Zambrosi, Cantarella, Raij, 2014) e posteriormente levadas ao Laboratório de Análise de Solos do IFMG – Campus Bambuí, o qual segue o programa de controle e qualidade de análise de solo PROFERT. Foi realizado revolvimento de solo, utilizando grade de maior peso e posteriormente foi utilizado uma grade menor para nivelar o solo. Não foi realizada correção de solo, devido o índice de saturação de bases (V) estar conforme os parâmetros indicados (Duarte *et al.*, 2014). Os resultados da análise de solo estão descritos na Tabela

Tabela 1. Temperaturas máxima, mínima e umidade relativa da área experimental no período de condução do experimento (outubro de 2021 a março de 2023).

Mês/Ano	Temperatura (°C)		Umidade Relativa
	Máxima	Mínima	%
Outubro/2021	34,6	22,46	71,37
Novembro/2021	35,5	23,11	78,78
Dezembro/2021	32,6	22,77	81,85
Janeiro/2022	34,6	23,45	84,46
Fevereiro/2022	33,8	22,59	87,94
Março/2022	32,2	22,14	82,85

Fonte: Estação meteorológica do IFMG - Campus Bambuí.

Tabela 2. Análise de solo nas camadas de 0-20 centímetros (pH=Potencial hidrogeniônico; K= Potássio disponível - Extrator Mehlich; Ca=Cálcio trocável - Extrator KCl-1mol/L; Mg=Magnésio trocável - Extrator KCl-1mol/L; Al=Alumínio - Extrator KCl-1mol/L; H+Al=Acidez Potencial-Extrator SMP; SB=Soma de bases trocáveis; CTC=Capacidade troca catiônica a pH 7,0; V=Índice de saturação de bases; M.O=Oxidação  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ; B=Boro disponível - Extrator água quente; Cu=Cobre disponível - Extrator Mehlich; Fe=Ferro disponível - Extrator Mehlich; Mn=Mangânes disponível Extrator Mehlich; Zn=Zinco disponível Extrator Mehlich; P=Fósforo - Extrator Mehlich) do experimento Safra 2021/2022.

pH	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	SB	P	K	V	C.O	M.O
(H <sub>2</sub> O)	-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----					---mg dm <sup>-3</sup> ---		%	---dag kg <sup>-1</sup> -----		
5,7	3,72	1,9	0,1	3,44	8,9	5,4	19,7	200	61,2	1,15	1,98
B	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca/Mg		Ca/K	Mg/K			
----- mg/dm <sup>-3</sup> -----											
0,16	2,3	28,9	42,4	2,5	3,0		7,0	2,0			

Fonte: Aatoria Própria, 2023

O experimento foi instalado no delineamento em blocos completos casualizados com nove tratamentos e seis repetições. Os tratamentos foram constituídos da seguinte maneira, T1= 100% da dose NPK recomendada ou testemunha positiva; T2=75% da dose NPK recomendada ou testemunha absoluta; T3=75 % da dose NPK + *Azospirillum brasiliense*; T4=75% da dose NPK recomendada + Fungo micorrízico arbuscular; T5=75% da dose NPK recomendada + ácido húmico; T6=75% da dose NPK + *Azospirillum brasiliense* + Fungo micorrízico arbuscular; T7=75 % da dose NPK + *Azospirillum brasiliense* + Ácido húmico; T8=75% da dose NPK recomendada + Fungo micorrízico arbuscular + ácido húmico; T9=75% da dose NPK recomendada + *Azospirillum brasiliense* + Fungo micorrízico arbuscular + ácido húmico, como é mostrado na Tabela 3. Cada unidade experimental foi constituída de seis linhas com oito metros de comprimento e espaçadas 0,6 m entre si. A área útil para avaliação foi composta das quatro linhas centrais de cada parcela, excluindo as plantas de 1 m de cada borda. A densidade de plantio foi de quatro sementes por metro do híbrido AG-8701®.

Tabela 3. Constituição dos tratamentos em função do potencial da dose de adubação mineral recomendada (NPK), presença (sim) ou ausência (-) de inoculação com Fungo micorrízico arbuscular *Rhizophagus intraradices* (AMF), presença ou ausência de inoculação com bactéria promotora do crescimento *Azospirillum brasiliense* (PGPR) e aplicação ou não de ácido húmico.

Tratamentos	NPK	PGPR	AMF	HA
1	100%	-	-	-
2	75%	-	-	-
3	75%	sim	-	-
4	75%	-	sim	-
5	75%	-	-	sim
6	75%	sim	sim	-
7	75%	sim	-	sim
8	75%	-	sim	sim
9	75%	sim	sim	sim

Fonte: Autoria Própria, 2023

A adubação NPK recomendada foi de 120 kg de nitrogênio, 80 kg de fósforo e 80 kg de potássio por hectare (Duarte *et al.*, 2014). A adubação foi realizada com o uso do fertilizante mineral 16-16-16 via sulco de plantio em maior profundidade. Como fonte de *Azospirillum brasiliense* foi usado 100 ml por hectare de Biomax Azum® para inoculação das sementes pré-plantio. A fonte de *Rhizophagus intraradices* foi o produto Rotella®, na dose de 120 gramas por hectare. Cada grama do produto contém 20800 propágulos do *Rhizophagus intraradices*. Por último, a aplicação do ácido húmico, nas parcelas onde se fez necessário, foi realizada via solo com o uso do produto Black gold®, que contém substâncias húmicas provenientes de Leonardita, na dose 2 L por hectare, aplicado via sulco de plantio. Todos os biofertilizantes utilizados apresentam registro junto ao Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento e foram obtidos comercialmente.

O manejo químico das plantas invasoras foi realizado utilizando um pulverizador hidráulico para aplicação de Sal potássico de N-(phosphonomethyl) glycine (Glifosato Potássico) (620 g L<sup>-1</sup>) utilizando 200 litros por hectare de volume de calda e realizado 15 dias após a semeadura. A área foi monitorada semanalmente não sendo observado presença de pragas e doenças, não sendo necessário a utilização de medidas de controle. Foi realizado

roçadas periódicas entre os blocos do experimento para facilitar o acesso e por medidas de segurança.

## 2.2 CARACTERES AVALIADOS

Os seguintes caracteres foram avaliados: teores de clorofila a e b, altura das plantas, número de folhas por planta, massa das raízes secas, massa da parte aérea seca, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, peso de 100 grãos, produtividade, teores nutricionais foliares de macro e micronutrientes. A seguir, são apresentados as épocas e procedimentos das avaliações realizadas.

As avaliações dos teores de clorofila a e b foram realizadas nos estágios vegetativos V7 e V10 e nos estágios reprodutivos R2, R3, e foi realizada análise estatística os valores obtidos no estágio R2. Nestas avaliações foram usadas cinco plantas por parcela, tomadas aleatoriamente. As medições foram realizadas no terço médio das plantas e folhas (Fonseca *et al.*; 2012) completamente expandidas por meio do clorofilog-cfl1030, produzido pela Falker, o qual expressa os resultados em um índice próprio denominado ICF: Índice de Clorofila Falker (Falker, 2018).

A altura das plantas e o número de folhas foram obtidos no estágio VT, com o pendão formado, utilizando cinco plantas por parcela, de forma aleatória. A altura, expressa em cm, foi avaliada com o auxílio de uma régua graduada, desde o nível do solo até o ponto de inserção do ramo floral. O número de folhas foi obtido via contagem das folhas completamente expandidas até a última folha da planta.

A avaliação da massa das raízes e da parte aérea secas foi realizada com as plantas em estágio reprodutivo R3, realizando coleta de cinco plantas aleatoriamente, com auxílio de uma pá vanga quadrada. As amostras foram separadas, dispostas em recipientes de papel, identificadas e mantidas em estufa de circulação de ar a 65°C até peso constante. Por fim, as variáveis, expressas em gramas, foram obtidas com auxílio de balança de precisão.

Os caracteres de produção, número de fileiras da espiga e número de grãos por fileira foram obtidos via contagem, foi tomada aleatoriamente cinco espigas por parcela. O peso de 100 grãos, expresso em gramas e a produtividade, expressa em  $t\ ha^{-1}$ , realizando a colheita em parcela total e foram obtidos, via balança de precisão, após o teor de umidade dos grãos de cada parcela atingir 14% (Magalhães, Durães, 2006). A verificação dos valores de umidade foi realizada com o auxílio do medidor MT-16.

Para a análise do teor de macro e micronutrientes foliares foi utilizado o terço médio da folha oposta e abaixo da espiga (Malavolta, Vitti, Oliveira, 1997). Utilizando uma amostra aleatória de cinco folhas por parcela tomadas na fase (diagnóstica) R1.

### **2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA**

Em virtude das múltiplas variáveis respostas avaliadas, para verificação dos efeitos dos tratamentos, os dados foram submetidos à análise de variância multivariada. Adicionalmente, como uma estratégia de análise exploratória dos dados, a análise de componentes principais foi performada. Para a discriminação dos tratamentos foi utilizada a análise de agrupamento. Todas as análises foram executadas com o auxílio do software R e com o uso do nível de probabilidade de 5%, onde se fez necessário.

## CAPÍTULO III

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância multivariada indica um efeito muito significativo dos tratamentos nas respostas ( $p < 0,01$ ). A análise de componentes principais (ACP) do experimento (safra 2021/22) nos fornece indícios demonstra que os tratamentos 4 (75% da adubação mineral recomendada acrescido de AMF), 6 (75% da adubação mineral acrescido de PGPR e AMF) e 9 (75% da adubação mineral acrescido de PGPR, AMF e HA) são aqueles que estão associados a maiores valores de produtividade (Figura 1). Por outro lado, a testemunha absoluta, 75% da adubação recomendada (T2), e o tratamento 5 (75% da adubação recomendada acrescido de HA) são aqueles que está ligado a menores valores de produtividade (Figura 1). De fato, a observação da tabela de médias, mostra, que a superioridade da produtividade dos tratamentos 4, 6 e 9 em relação à testemunha absoluta (T2) são de respectivamente, 6,5%, 7,5% e 5,8% (Tabela 4). Já em relação a testemunha positiva (T1), 100% da adubação mineral recomendada, a superioridade dos tratamentos 4, 6 e 9 é de respectivamente, 5,1%, 6% e 4,3% (Tabela 4).

Esses resultados demonstram que a utilização de biofertilizantes e fertilizantes orgânicos podem ser eficientes para reduzir a adubação mineral no milho em até 25%, com acréscimos na produtividade. Isso implica em um menor custo na produção, maiores ganhos, menor impacto ambiental, menor dependência do mercado externo e maior sustentabilidade na produção.

Destaca-se que os três tratamentos associados a maiores valores de produtividade (T4, T6 e T9) têm em comum a utilização dos fungos micorrízico arbuscular (AMF). O AMF através da associação de hifas eleva a capacidade da raiz de penetração nas camadas mais profundas do solo. E assim auxiliando no suprimento nutricional da planta, principalmente em relação a NPK. O nitrogênio tem papel fundamental em todos processos de desenvolvimento da planta, sendo constituinte de clorofila, carboidratos e proteínas, tendo função energética, através da formação de ATP e no desenvolvimento radicular. E o potássio, o qual em níveis ideais nas plantas, atuando em diversos processos de síntese, como na regulação estomática, transporte e armazenamento de carboidratos, assim, tendo papel importante no desenvolvimento de frutos. Isso possibilita a melhor absorção de água e nutrientes, o que favorece o aumento da produtividade (Gao *et al.*, 2020; Saboor *et al.*, 2021). Similarmente, em outros estudos realizados na cultura do milho foi observado maior número de espigas com aplicação de *Rhizophagus intraradices* (Mathur; Sharma; Jajoo, 2018).

O t4 (75% da adubação mineral + AMF) é destaque ainda com relação ao peso de cem grãos e massa da parte aérea seca (Figura 1). Para o peso de cem grãos foi 5% maior em relação a testemunha positiva (T1) e de 6,9% em relação à testemunha absoluta (T2) (Tabela 5). Já para a massa da parte aérea seca a superioridade é de 5,9%, em relação à testemunha positiva (T1) e de 13,2% em relação à testemunha absoluta (T2) (Tabela 4). Esse resultado, nesse caso, nos indica o efeito benéfico do AMF no crescimento, desenvolvimento da planta e desenvolvimento dos grãos. Similarmente aos resultados deste trabalho, Gao *et al.*, (2020) ressaltam que o AMF influencia o desenvolvimento vegetal no milho, alteram positivamente as relações hídricas e ambientais, e melhoram o desenvolvimento da parte aérea. O fungo *Rhizophagus intraradices* (AMF) auxilia a planta na absorção de fósforo, o qual atua em funções estruturais da planta, estando relacionado com a produção de proteínas, carboidratos, síntese de ácidos nucleicos. E atuando no desenvolvimento de raízes, através da divisão celular, possibilitando maior absorção de nutrientes do solo.

Para as variáveis, potássio foliar, número de grãos por fileira e índices de clorofilas a e b, a ACP destaca a aplicação do tratamento com 75% da adubação recomendada acrescido da aplicação de AMF, PGPR e HA (T9) (Figura 1). Nesse caso, em relação à testemunha positiva (T1) a superioridade é de respectivamente 37,7%, 2,3%, 0,6% e 4,6% (Tabela 4). Já com relação à testemunha absoluta (T2) a superioridade é de respectivamente 23,2%, 2,6%, 0,9% e 6,3% (Tabela 4). O suprimento de potássio é importante na planta, sendo responsável pela translocação de assimilados, captação de nitrogênio e síntese de proteínas e de amido, os quais são importantes no desenvolvimento de grãos, assim potencializando maior produtividade. E através da molécula de clorofila, é possível verificar a disponibilidade de nitrogênio na planta, devido sua presença nos cloroplastos e sendo importante no desenvolvimento vegetal.

A combinação das estratégias AMF, PGPR e HA são eficientes em disponibilizar/favorecer a absorção de potássio pelo milho. Não demonstrando na redução da prejuízos em reduzir a adubação mineral em até 25% quanto aos níveis de potássio absorvidos pela planta. Desde que o K utilizado é em grande parte importado e representa um alto custo dentro da adubação, o uso dessas estratégias contribui de sobremaneira com a sustentabilidade na produção. Destaca-se aqui que o K é um elemento essencial para as plantas, atuando como ativador de mais de 60 enzimas, intimamente ligado à absorção de água pelas plantas, via regulação estomática, bem como associado a reserva energética. Khan *et al.*, (2019) relata que a aplicação de HA potencializa as condições químicas, físicas e biológicas do solo, através da maior retenção de água e matéria orgânica, assim elevando a capacidade de absorção de

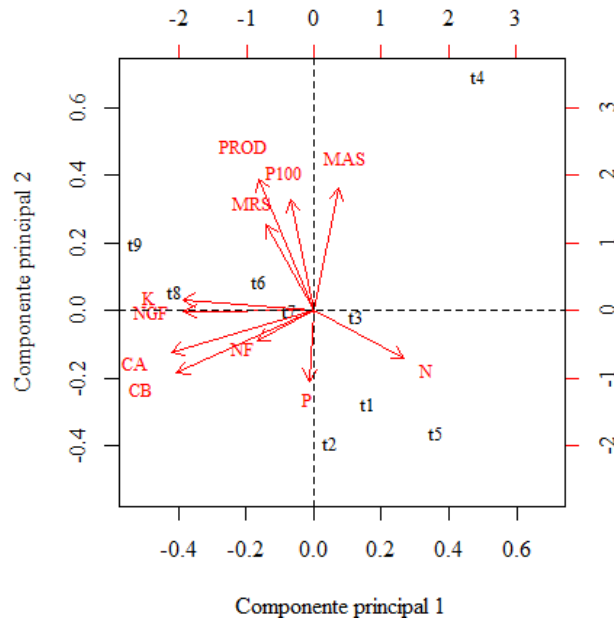
macronutrientes, como N, P, K e Ca. Por outro lado, Turchetto (2021) destaca que o efeito dos fungos micorrízicos arbusculares tem consequência significativa em nutrientes imóveis, como fósforo.

Nas variáveis, nitrogênio foliar e fósforo foliar, a ACP destaca a aplicação do T1, testemunha positiva, ou 100% da dose mineral recomendada (Figura 1). De fato, a tabela 5 evidencia maiores médias do T1 nestas variáveis. Em relação à testemunha absoluta, por exemplo, a superioridade desse tratamento é de 47% para o Nitrogênio e de 51% para o Fósforo. Por outro lado, em relação ao T9, testemunha absoluta acrescida de AMF, PGPR e HA, a superioridade é de 49% para o nitrogênio e 20% para o fósforo. Diferentemente do que ocorreu com os níveis de potássio foliar, há indícios que o uso combinado de AMF, HA e PGPR, não foi eficiente em propiciar elevados teores de nitrogênio e fósforo foliares. Ainda que exista uma vasta literatura indicando que a PGPR contribui significativamente para absorção de nitrogênio (Piccinin *et al.*, 2015; Muller *et al.*, 2016; Galindo *et al.*, 2019; Zeffa *et al.*, 2019), e que o AMF é eficiente em solubilizar e aumentar a absorção de fósforo (Adesemoye *et al.*, 2008; Rouphael *et al.*, 2015; Gao *et al.*, 2020), os dados dessa pesquisa não foram suficientes para evidenciar tal fato.

Para o número de fileiras, a ACP destaca o tratamento 7 (Figura 1). A observação da tabela de médias, no entanto, nos mostra que a médias em todos os tratamentos são bastante similares, com maior valor absoluto no tratamento 2 (Tabela 4). Por último, na variável massa das raízes secas, a ACP destaca os tratamentos 6, 8 e 9 (Figura 1). A observação da tabela de médias, por sua vez, evidencia que os tratamentos 3 e 8 são aqueles que fornecem maiores valores para a massa das raízes.

Figura 1. Análise de componentes principais para análise exploratória dos efeitos dos tratamentos (T1=100% da dose NPK recomendada; T2=75% da dose NPK recomendada; T3=75% da dose NPK + *Azospirillum brasiliense*; T4=75% da dose NPK recomendada + Fungo micorrízico arbuscular; T5=75% da dose NPK recomendada + ácido húmico; T6=75% da dose NPK + *Azospirillum brasiliense* + Fungo micorrízico arbuscular; T7=75% da dose NPK + *Azospirillum brasiliense* + Ácido húmico; T8=75% da dose NPK recomendada + Fungo micorrízico arbuscular + ácido húmico; T9=75% da dose NPK recomendada + *Azospirillum brasiliense* + Fungo micorrízico arbuscular + ácido húmico) nas variáveis respostas (PROD=Produtividade (ton/ha); P100=Peso de cem grãos(gramas); NF=Número médio de fileiras por espiga(unid.); NGF=Número médio de grãos por fileira(unid.); MAS=Massa da

parte aérea seca (gramas); MRS=Massa das raízes secas (gramas); CA=Clorofila A no estágio R2 (ICF); CB=Clorofila B no estágio R2 (ICF); N=Nitrogênio foliar ( $\text{g kg}^{-1}$ ); P=Fósforo foliar ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e K=Potássio foliar ( $\text{g kg}^{-1}$ ).



Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 4. Média das variáveis respostas (PROD=Produtividade; P100=Peso de cem grãos; NF=Número médio de fileiras por espiga; NGF=Número médio de grãos por fileira; MAS=Massa da parte aérea seca; MRS=Massa das raízes secas; CA=Clorofila A no estágio R2; CB=Clorofila B no estágio R2; N=Nitrogênio (digestão sulfúrica e método semi-micro-Kjeldahl); P=Fósforo (digestão nítrico-perclórica e determinação colorimétrica com metavanadato) e K=Potássio (digestão nítrico-perclórica e determinação espectrofotométrica) em função dos tratamentos (T1=100% da dose NPK recomendada; T2=75% da dose NPK recomendada; T3=75 % da dose NPK + *Azospirillum brasilense*; T4=75% da dose NPK recomendada + Fungo micorrízico arbuscular; T5=75% da dose NPK recomendada + ácido húmico; T6=75% da dose NPK + *Azospirillum brasilense* + Fungo micorrízico arbuscular; T7=75% da dose NPK + *Azospirillum brasilense* + Ácido húmico; T8=75% da dose NPK recomendada + Fungo micorrízico arbuscular + ácido húmico; T9=75% da dose NPK recomendada + *Azospirillum brasilense* + Fungo micorrízico arbuscular + ácido húmico) no experimento 1 (Safrá 2021/2022).

	PROD	P100	NF	NGF	MAS	MRS	CA	CB	N	P	K
	--ton--	--gr--	----unid----	---gramas-----			-----ICF-----		-----g kg <sup>-1</sup> -----		
T1	19,05	38,64	16,8	34,87	429,02	75,25	40,27	22,1	31,1	5,03	19,03
T2	18,79	37,91	17,17	34,77	401,39	56,05	40,15	21,7	21,1	3,33	21,27
T3	19,24	36,95	16,27	34,4	426,22	86,11	40,1	21,7	21,9	3,8	21,8
T4	20,02	40,59	16,53	34,53	454,53	78,49	39,42	20,3	24,63	3,13	17,73
T5	18,46	38,57	16,33	35,13	417,41	62,66	39,72	22,1	28,97	4,17	17,33
T6	20,19	39,49	16,8	35,57	421,1	69,1	40,21	22,2	24,63	4,03	21,13
T7	19,7	38,39	17,07	35,27	424,66	76,16	39,96	22,1	25,43	3,8	22,07
T8	19,37	39,85	16,53	35,83	407,52	88,62	40,75	22,9	21,13	3,27	20,5
T9	19,88	39,56	16,87	35,67	447,59	77,63	40,53	23,1	20,87	4,2	26,2

Fonte: Aatoria Própria, 2023

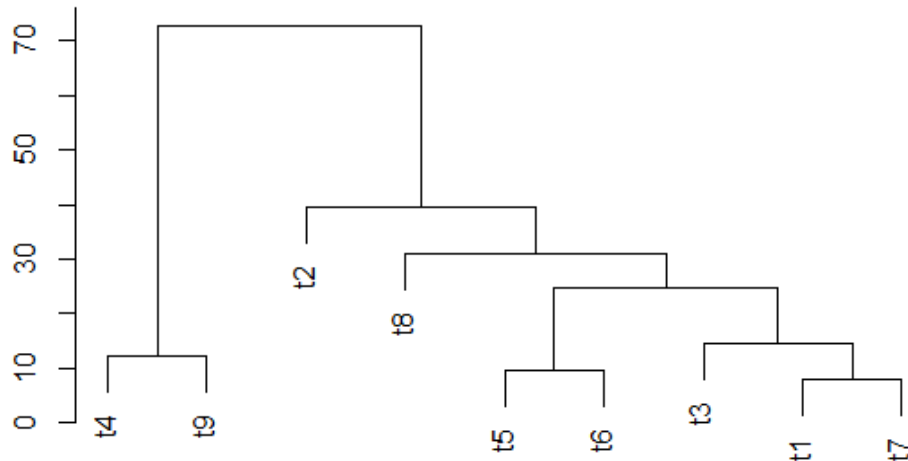
A análise de agrupamento, por sua vez, nos indica a formação de quatro grupos nos tratamentos, a saber: i) grupo 1, tratamentos 4 e 9; grupo 2, tratamento 2; grupo 3, tratamento 8; e grupo 4, tratamentos 1, 3, 5, 6 e 7 (Figura 2).

Nesse caso, destacamos que o grupo formado pelos tratamentos 4 e 9 são os mais associados a elevadores valores de produtividade, ao enchimento de grãos e a massa seca da parte aérea, como já mencionado acima. O grupo 2, formado pelo tratamento 2 está associado a maior valor de número de fileiras de grãos na espiga. E o grupo formado pelo tratamento 8 está ligado a maiores valores de massa seca de raiz e índices de clorofila a e b. Convém ressaltar que mais estudos podem ajudar elucidar os mecanismos de atuação destas estratégias, pelos quais foram observados maiores valores de produtividade, mesmo com a redução de 25% da adubação mineral.

Adicionalmente, os valores de associação linear entre as variáveis resposta da pesquisa são mostrados na Figura 3. Nessa figura, ressalta-se a correlação significativa positiva entre as variáveis teores de clorofilas a e b com a variável biométrica número de grãos por fileira, e a variável nutricional teor foliar de potássio. Associados a produtividade, pode-se destacar o peso de cem grãos e a massa da parte aérea seca.

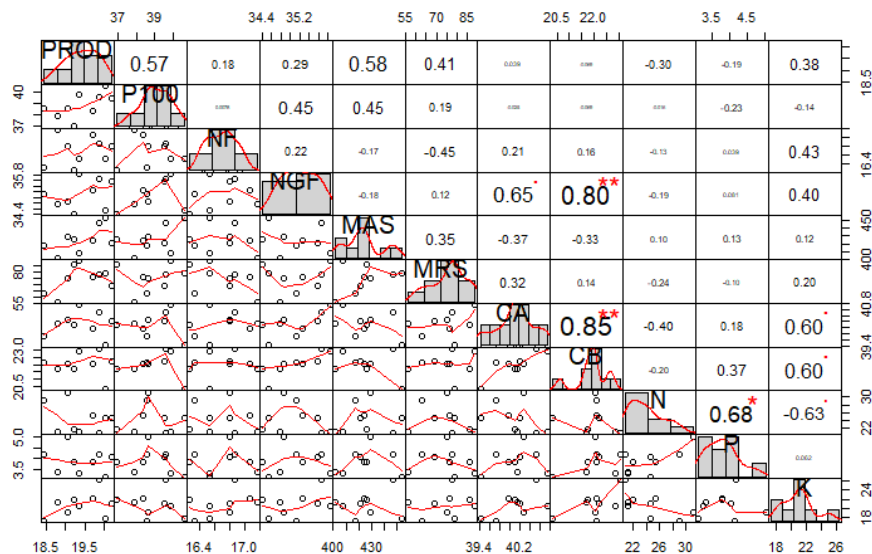
Figura 2. Análise de agrupamento dos tratamentos usando a distância de Ward para os dados do experimento 1 (Safrá 2021/2022). Na figura T1=100% da dose NPK recomendada; T2=75% da dose NPK recomendada; T3= 75 % da dose NPK + *Azospirillum brasilense*; T4=75% da

dose NPK recomendada + Fungo micorrízico arbuscular; T5=75% da dose NPK recomendada + ácido húmico; T6=75% da dose NPK + *Azospirillum brasiliense* + Fungo micorrízico arbuscular; T7=75 % da dose NPK + *Azospirillum brasiliense* + Ácido húmico; T8=75% da dose NPK recomendada + Fungo micorrízico arbuscular + ácido húmico; T9=75% da dose NPK recomendada + *Azospirillum brasiliense* + Fungo micorrízico arbuscular + ácido húmico.



Fonte: Autoria Própria, 2023

Figura 3. Matriz de correlação linear entre as variáveis respostas no Experimento 1 (Safrá 2021/2022). Na figura, PROD=Produtividade (ton/ha); P100=Peso de cem grãos (gramas); NF=Número médio de fileiras por espiga (unid.); NGF=Número médio de grãos por fileira (unid.); MAS=Massa da parte aérea seca (gramas); MRS=Massa das raízes secas (gramas); CA=Clorofila A no estágio R2 (ICF); CB=Clorofila B no estágio R2(ICF); N=Nitrogênio foliar ( $\text{g kg}^{-1}$ ); P=Fósforo foliar ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e K=Potássio foliar ( $\text{g kg}^{-1}$ ).



Fonte: Autoria Própria, 2023

## 4 CONCLUSÃO

A integração das estratégias de aplicação de *Rhizophagus intraradices* (AMF), *Azospirillum brasiliense* e ácidos húmicos é eficiente em reduzir a adubação mineral com Nitrogênio, Fósforo e Potássio em 25% da dose recomendada e proporcionando aumento nos níveis de produtividade.

## REFERÊNCIAS

- ABOU-ALY, H. E, MADY, M. A. M. Complemented Effect of Humic Acid and Biofertilizers on Wheat (*Triticuma estivum L.*) Productivity. **Annals of Agricultural Science Moshtohor**, v. 47, n. 1, p. 1–12, 2009.
- ADESEMOYE, A. O.; TORBERT, H. A.; KLOEPPER, J. W. Enhanced plant nutrient use efficiency with PGPR and AMF in an integrated nutrient management system. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 54, n. 10, p. 876–886, out. 2008.
- AGUIAR, A. T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO, C. E. F. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7. ed. Campinas: Editoração Eletrônica: Cíntia Rafaela Amaro - Amaro Comunicação, 2014. 452 p.
- AHMAD, I. G.; ZHOU, G.; ZHU, Z.; AHMAD, X.; SONG, G.; HAO, Y.; JAMAL AND M. E. H. 2021. Response of leaf characteristics of BT cotton plants to ratio of nitrogen, phosphorus, and potassium. **Pakistan Journal Of Botany**. Ibrahim 53(3): p.873-881. 2021.
- ALVES, C. R.; SILVA, E. C.; BARBARÁ, M. A.; ORTIN, S. M. A. USE OF STIMULATING AND FOLIAR FERTILIZERS IN CORN CROP. **Revista Ibero- Americana de Humanidades, Ciências e Educação- Rease**, São Paulo, v. 8, n. 10, p. 1358-1378, out. 2022.
- ARAÚJO, E. O.; MERCANTE, F. M.; VITORIMO, A. C. T. Effect of nitrogen fertilization associated with inoculation of *Azospirillum brasilense* and *Herbaspirillum seropedicae* on corn. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 10, n. 3, p. 137-145, jan. 2015.
- ASGHAR, A.; SYED, W. H.; ASIF, M.; KHALIQ, T.; ABID, A. GROWTH AND YIELD OF MAIZE (*Zea mays L.*) CULTIVARS AFFECTED BY NPK APPLICATION IN DIFFERENT PROPORTION. **Science**, v. 62, n. 4, p. 211–216, 2010.
- ASIBI, A. E.; CHAI, Q.; A COULTER, J. 093. Mechanisms of nitrogen use in maize. **Agronomy**, v. 9, n. 12, p. 775, 2019.
- ASLI, S.; NEUMANN, P. M. Rhizosphere humic acid interacts with root cell walls to reduce hydraulic conductivity and plant development. **Plant and Soil**, v. 336, n. 1, p.313–322, 2010.

AZEEM, K.; KHALIL, S. K.; KHAN, F.; SHAHENSHAH; QA HAR, A.; SHARIF, M.; ZAMIN, M. Phenology, Yield and Yield Components of Maize as Affected by Humic Acid and Nitrogen. **Journal Of Agricultural Science**. Canadian, p. 1-8. 15 jun. 2014.

BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. **A cultura do milho**. Évora: Ed. da Universidade de Évora, 2014. 52 p.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium azospirillum promotes plant growth-a critical assessment. **Advances in Agronomy**, v. 108, n. C, p. 77–136, 2010.

BIESDORF, E. M.; BIESDORF, E. M.; TEIXEIRA, M. F. F.; DIETRICH, O. H.; PIMENTEL, L. D.; ARAUJO, C. de. Métodos de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em solo de cerrado. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 3, n. 1, p. 44–50, mar. 2016.

BORCIONI, E.; MÓGOR, Á. F.; PINTO, F. Aplicação de ácido fúlvico em mudas influenciando o crescimento radicular e produtividade de alface americana1. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 47, n. 3, p. 509–515, 2016.

CABRAL, F. L.; BASTOS, A. V. S.; TEIXEIRA, M. B.; SILVA, E. C.; SOARES, F. A. L.; SANTOS, L. N. S. Níveis de fertilização de fósforo mineral e organomineral na cultura do milho. **Brazilian Journal Of Development**, Curitiba, v. 6, n. 6, p. 36414-36426, jun. 2020.

CANELLAS, L. P.; SILVA, S. F.; OLK, D. C.; LAOLIVARES, F. Foliar application of plant growth-promoting bacteria and humic acid increase maize yields. **Journal Of Food, Agriculture & Environment**. Helsinki, p. 131-138. jan. 2015.

CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; CANELLAS, N. O. A.; MAZZEI, P.; PICCOLO, A. Humic acids increase the maize seedlings exudation yield. **Chemical And Biological Technologies In Agriculture**, Italy, v. 6, n. 3, p. 1-14, 22 jan. 2019.

DARTORA, J.; GUIMARÃES, V. F.; MENEZES, C. R. J.; FREIBERGER, M. B.; CASTOLDI, G.; GONÇALVES, E. D. V. Maize response to inoculation with strains of plant growth-promoting bactéria. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 7, p. 606-611, jul. 2016.

DUARTE, A. P.; SAWAZAKI, E.; PATERNIANI, M. E. A. G.Z.; GALLO, P. B. Boletim, IAC, 200, 2014.

FAHRAMAND, M.; MORADI, H.; NOORI, M.; SOBHKHIZI, A.; ADIBIAN, M.; ABDOLLAHI, S.; RIGI, K. Influence of humic acid on increase yield of plants and soil properties. **International Journal Of Farming And Allied Sciences**. Índia, p. 339-341. 31 mar. 2014.

FALKER. Medidor Eletrônico de Teor de Clorofila- CFL1030. Manual, p. 34, 2018

FARIA, A. F.; ALVAREZ, V. V. H.; MATTIELLO, E. M.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; NOGUEIRA, H. P. Capacidade de suprimento de potássio em solos de Minas Gerais-Brasil. **Spanish Journal of Soil Science**, v. 2, n. 1, p. 26-37, 2012.

FONSECA, P. R. B.; FERNANDES, M. G.; DUTRA, F.; SOUZA, T. A. USO DO SPAD-502 NA AVALIAÇÃO DOS TEORES FOLIARES DE CLOROFILA, EM HÍBRIDOS DE MILHO, (*Zea mays* L.) BT E ISOGENICO. **Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil)** v.7, n.1, p. 56 - 60, 2012

GALINDO, F. S., MARCELO, C. M; TEIXEIRA F.;BUZETTI,S.; PAGLIARI,P. H.; SANTINI,J. M. K.; ALVES, K, J.; MEGDA,M. M.;NOGUEIRA, T.A.R.; ANDREOTTI,M.;ARF, O. Maize yield response to nitrogen rates and sources associated with *Azospirillum brasilense*. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 4, p. 1985–1997, 2019.

GAO, F.; LI, Z.; YAPING, D.; DUAN, J.; ZHANG, T.; WEI, Z.; GUO, L.; LIU, Z.; ZHANG, M. The integration of bio and organic fertilizers improve plant growth, grain yield, quality and metabolism of hybrid maize (*Zea mays* L.). **Agronomy**, v. 10, n. 3, 2020.

GAO, F.; LI, Z.; DU, Y.; DUAN, J.; ZHANG, T.; WEI, Z.; GUO, L.; GONG, W.; LIU, Z.; ZHANG, M.. The Combined Application of Urea and Fulvic Acid Solution Improved Maize Carbon and Nitrogen Metabolism. **Agronomy**, v. 12, n. 6, p. 1–16, 2022.

GRUPO DE TRABALHO INTERMINISTERIAL. Plano Nacional de Fertilizantes. **Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos**, v. 1, p. 195, 2021.

GOUDA, S; KERRY, R. G.; DAS, G.; PARAMITHIOTIS, S.; SHIN, H.; PATRAC, J. K. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. **Microbiological Research**, v. 206, p. 131-149, 05 ago. 2017.

HOLSTE, E. K.; HOLL, K. D.; ZAKAWI, R. A.; KOBE, R. K.. Reduced above ground tree growth associated with higher arbuscular mycorrhizal fungal diversity in tropical forest restoration. **Ecology and Evolution**. v. 6, n. 20, p. 7253–7262, 28 ago. 2016.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, Hague, v. 331, n. 1, p. 413-425, 13 jan. 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). Adamantina, São Paulo. São José dos Campos: INPE, 2021. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso: 03 set. 2022.

JEFFRIES, P.; PEROTTO, S.; GIANINAZZI, S.; TURNAU, K.. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. **Biology and Fertility of Soils**, v. 37, n. 1, p. 1–16, 2003.

JIANG, H.; ZHANG, J.; HAN, Z.; YANG, J.; CAILIN GE & QINGYU WU. Revealing new insights into different phosphorus-starving responses between two maize (*Zea mays*) inbred lines by transcriptomic and proteomic studies. **Scientific Reports**, v. 7, n. February, p. 1–9, 2017.

JONES, L.; PROVINS, A.; HOLLAND, M.; MILLS, G.; HAYES, F.; EMMETT, B.; HALL, J.; SHEPPARD, L.; SMITH, R.; SUTTON, M.; HICKS, K.; ASHMORE, M; HAINESYOUNG, R.; HARPER-SIMMONDS, L. A review and application of the evidence for nitrogen impacts on ecosystem services. **Ecosystem Services**, Wageningen, v. 7, n. 1, p. 76-88, mar. 2014.

KAPPES; C.; ORIVALDO ARF; VALENTINI, M.; FERREIRA, J. P.; AGUSTO, E.; PORTUGAL, J. R.; VILELAS, R. G.. Inoculação de sementes com bactéria diazotrófica e aplicação de nitrogênio em cobertura e foliar em milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 527–538, 2013.

KHAN, S. U.; KHAN, S. M.; OAYYUM, A.; MEHMOOD, A. Machine Translated by Google Machine Translated by Google A INTEGRAÇÃO DE ÁCIDO HÚMICO COM NITROGÊNIO EXERCE UM IMPACTO AUXILIAR NAS CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS , CRESCIMENTO E RENDIMENTO DE VARIEDADES DE MILHO ( *Zea mays* L .). v. II, 2019.

- KOPPEN, W. (1936). Das geographische system der klimat. Handbuch der klimatologie, 46.
- MAGALHÃES, P. C; DURÃES, F. O. M.. Fisiologia da Produção de Milho. **Circular Técnica 76**, Sete Lagoas, v. 76, p. 1-10, dez. 2006.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A., Avaliação do Estado Nutricional das Plantas (2a. edição), Potafos, Piracicaba, SP. 1997, 319p.
- MATHUR, S.; SHARMA, M. P.; JAJOO, A. Improved photosynthetic efficacy of maize (*Zea mays*) plants with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) under high temperature stress. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 180, p. 149–154, 2018.
- MELO, R. O.; BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Corn initial vigor in response to humic acids from bovine manure and poultry litter. **Semina: Ciências Agrárias**36, Londrina, v. 36, n. 3, p. 1863-1874, jan. 2015.
- MERGULHÃO, A. C. E. S.; SILVA, M. V.; LYRA, M. C. C. P.; FIGUEIREDO, M. V. B.; SILVA, M. L. R. B.; MAIA, L. C. Caracterização morfológica e molecular de fungos micorrízicos arbusculares isolados de áreas de mineração de gesso, Araripina, PE, Brasil. *Hoehnea*, v. 41, n. 3, p. 393- 400, 10. fev. 2014.
- MOGHADAM, H. R. T. Humic acid as an ecological pathway to protect corn plants against oxidative stress. **Biological Forum**. v.7, p.1704–1709, 2013.
- MOREIRA, H.; PEREIRA, S. I. A.; VEGA, A.; LACASTRO, P. M.; MARQUES, A. P. G. C. Synergistic effects of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting bacteria benefit maize growth under increasing soil salinity. **Journal Of Environmental Management**. London, 12 p., 01 mar. 2020.
- MORENO, A. L. **CRESCIMENTO DO MILHO SOB EFEITO DA APLICAÇÃO DE RIZOBACTÉRIAS E FERTILIZANTES QUÍMICOS**. 2019. 66 f. Tese (Doutorado) - Curso de Produção Vegetal, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2019.
- MÜLLER, T. M.; SANDINI, I. E.; RODRIGUES, J. D.; NOVAKOWISKI, J. H.; KAMINSKI, S. B. T. H. Combinação de métodos de inoculação de *Azospirillum brasiliense* com adubação nitrogenada de cobertura aumenta produtividade de milho. **Ciência Rural**, v. 46, n. 2, p. 210–215, 2016.

NASAR, J.; WANG, G. Y.; AHMAD, S.; MUHAMMAD, I.; ZEESHAN, M.; GITARI, H.; ADNAN, M.; FAHAD, S.; KHALID, M. H. B.; ZHOU, X. Nitrogen fertilization coupled with iron foliar application improves the photosynthetic characteristics, photosynthetic nitrogen use efficiency, and the related enzymes of maize crops under different planting patterns. **Frontiers In Plant Science**, Turkey, 16 p., 02 set. 2022.

NGUYEN, V. D.; TRAN, D. H. Effect of humic acid organic fertilizer on growth and yield of sticky maize (*Zea mays*) in central Vietnam. **Research on Crops**, v. 21, n. 2, p. 215–218, 2020.

OLIVEIRA, G. C.; SILVA, T. F.; SOUZA, L. A. S.; SILVA, M. E.; SILVA, A. I. S.; SILVA, V. A. . Delineamento em sig do mapa de solos do campus do IFMG Bambuí. p. 1–5, 2018.

PAIVA, M. J. A. **AÇÃO E MODO DE APLICAÇÃO DOS ÁCIDOS HÚMICOS E FÚLVICOS SOBRE CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E FISIOLÓGICAS DE MILHO**. 2020. 47 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020.

PARENTONI, S. N.; SOUZA, C.L.; ALVES, V. M. C.; GAMA, E. E. G.; COELHO, A. M.; OLIVEIRA, A. C.; GUIMARÃES, P. E. O.; GUIMARÃES, C. T.; VASCONCELOS, M. J. V.; PACHECO, C. A. P.; MEIRELLES, W. F.; MAGALHÃES, J. V.; GUIMARÃES, L. J. M.; SILVA, A. R.; MENDES, F. F.; SCHAFFERT, R. E. Inheritance and breeding strategies for phosphorus efficiency in tropical maize (*Zea Mays* L.). **Maydica**, v.55, 15 p., 2010.

PAWAR, P. B.; KHADILKAR, J. P.; KULKARNI, M. V.; MELO, J. S. An approach to enhance nutritive quality of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) seed oil through endo mycorrhizal fertigation. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 14, p. 18–22, 2018.

PICCININ, G. G.; SCAPIM, C.; BRACCINI, A. L.; SUZUKAWA, A. K.. Agronomic performance of maize in response to seed inoculation with *Azospirillum brasilense* associated with nitrogen doses and bioregulator. v. 13, n. October, p. 67–73, 2015.

PIOUFLE, O.; GANOUDI, M.; CALONNE-SALMON, M.; DHAOU, F. B.; DECLERCK, S. *Rhizophagus irregularis* MUCL 41833 Improves phosphorus uptake and water use efficiency in maize plants during recovery from drought stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. 897, 12 p., 16 jul 2019.

RAZA, H. M. A.; BASHIR, M. A.; REHIM, A.; JAN, M.; RAZA, Q.; BERLYN, G. P. POTASSIUM AND ZINC CO-FERTILIZATION PROVIDE NEW INSIGHTS TO IMPROVE MAIZE (*ZEA MAYS* L.) PHYSIOLOGY AND PRODUCTIVITY. **Pakistan Journal Of Botany**. Pakistan, 8 p., 28 maio 2021.

ROUPHAEL, Y.; SCHNEIDER, C.; FRANKEN, P.; SCHWARTZ, D. Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, v. 196, n. September 2021, p. 91–108, 2015.

SABOOR, A.; ALI, M. A.; HUSSAIN, S.; SUBHAN, H. A. E.; HUSSAIN, S.; AHMED, N., GAFUR, A.; FAHAD, S. S.; DATTA, R.. Zinc nutrition and arbuscular mycorrhizal symbiosis effects on maize (*Zea mays* L.) growth and productivity. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 11, p. 6339–6351, 2021.

SHETEIWY, M.S.; DONG, Q.; AN, J.; SONG, W.; GUAN, Y.; HE, F.; HUANG, Y.; HU, J. Regulation of ZnO nanoparticles-induced physiological and molecular changes by seed priming with humic acid in *Oryza sativa* seedlings. **Plant Growth Regul**, p. 1-15, 14 mai. 2017.

SHETEIWY, M. S.; SHAO, H.; QI, W.;HAMOUD, Y. A.;SHAGHALEH, H.; KHAN, N. U.; YANG, R.; TANG, B. GABA-alleviated oxidative injury induced by salinity, osmotic stress and their combination by regulating cellular and molecular signals in rice. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 22, 2019.

SILVA, D. F.; GARCIA, P. H. M.; SANTOS, G. C. L. .; FARIAS, I. M. S. C.; PÁDUA, G. V. G.; PEREIRA, P. H. B. .; SILVA, F. E.; BATISTA, R. F. .; GONZAGA NETO, S. .; CABRAL, A. M. D. Morphological characteristics, genetic improvement and planting density of sorghum and corn crops: a review. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. e12310313172, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i3.13172.

SKONIESKI, F. R.; VIÉGAS, J.; MARTIN, T. N.; MINGOTTI, C. C. A.; NAETZOLD, S.; TONIN, T. J.; DOTTO, L. R.; MEINERZ, G. R. Effect of nitrogen topdressing fertilization and inoculation of seeds with *azospirillum brasilense* on corn yield and agronomic characteristics. **Agronomy**, v. 9, n. 12, p. 1–11, 2019.

SPATAFORA, J. W.; CHANG, Y.; BENNY, G. L.; LAZARUS, K.; SMITH, M. E.; BERBEE, M. L.; BONITO, G.; CORRADI, N.; GRIGORIEV, I.; GRYGANSKYI, A. A phylum-level

phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. **Mycologia**, Lawrence, v. 108, n. 5, p. 1028-1046, 20 jan. 2017.

SZULC, P.; AMBROZY-DEREGOWSKA, K.; WALIGÓRA, H.; MEJZA, I.; GRZÉS, S.; ZIELEWICZ, W.; WRÓBEL, B. Dry Matter Yield of Maize (*Zea mays* L.) as an Indicator of Mineral Fertilizer Efficiency. **Plants**, Basel, v. 10, n. 3, p. 535-552, 12 mar. 2021.

TANG, A.; HARUNA, A. O.; MAJUD, N. M. A.; JALLOH, M. B. . Effects of selected functional bacteria on maize growth and nutrient use efficiency. **Microorganisms**, v. 8, n. 6, p. 1–25, 2020.

TURCHETTO, R. Universidade Federal De Santa Maria Campus Frederico Westphalen Departamento De Engenharia Florestal Curso De Engenharia Florestal. 2021.

USDA. Department of Agriculture. USDA.gov - United States Department of Agriculture, 2021. Disponível em: <<http://www.usda.gov>>. Acesso em:03 set. 2022.

VEJAN, P.; ABDULLAH, R.; KHADIRAN, T.; ISMAIL, S.; BOYCE, A. N. Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability—A Review. **Molecules**, [s. l], v. 21, n. 573, 17 p., 29 abr. 2016.

WANG, X. X.; Hoffland, E. F.; Gu K.; Thomas W.. Arbuscular mycorrhizal symbiosis increases phosphorus uptake and productivity of mixtures of maize varieties compared to monocultures. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, n. 11, p. 2203–2211, 2020.

YANG, L.; CHI, Y. X.; WANG, Y. F.; ZEESHAN, M.; ZHOU, X. B. Gradual Application of Potassium Fertilizer Elevated the Sugar Conversion Mechanism and Yield of Waxy and Sweet Fresh-Eaten Maize in the Semiarid Cold Region. **Journal Of Food Quality**. China, 11 p., 13 fev. 2021

ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J. A.; JUNIOR, L. A. Z. **Efeito da nutrição mineral no controle de doenças de plantas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2012. 321 p.

ZAMBROSI, F. C. B.; HEITOR, C.; RAIJ, B. V.; Boletim, IAC, 200, 2014

ZEFFA, D. M. et al. *Azospirillum brasilense* promotes increases in growth and nitrogen use efficiency of maize genotypes. **PLoS ONE**, v. 14, n. 4, p. 1–19, 2019.

ZHU, X. C.; SONG, F. BIN; XU, H. W. Arbuscular mycorrhizae improves low temperature stress in maize via alterations in host water status and photosynthesis. **Plant and Soil**, v. 331, n. 1, p. 129–137, 2010.

ZHU, X. C.; SONG, F. B.; LIU, S. Q.; LIU, T. D.; ZHOU, X. Arbuscular mycorrhizae improves photosynthesis and water status of *Zea mays* L. under drought stress. **Plant, Soil and Environment**, v. 58, n. 4, p. 186-191, 2012.

## ANEXOS

### Anexo 1

Média das variáveis respostas: Ca=Cálcio foliar; Mg=Magnésio foliar; S=Enxofre (digestão nítrico-perclórica e determinação turbidimétrica do sulfato de bário); B=Boro (digestão por incineração e determinação colorimétrica com azometina-H); Cu=Cobre (extraídos por digestão nítrico-perclórica); Fe=Ferro (extraídos por digestão nítrico-perclórica); Mn=Manganês (extraídos por digestão nítrico-perclórica) e Zn=Zinco (extraídos por digestão nítrico-perclórica)) em função dos tratamentos (T1=100% da dose NPK recomendada; T2=75% da dose NPK recomendada; T3=75% da dose NPK + *Azospirillum brasiliense*; T4=75% da dose NPK recomendada + Fungo micorrízico arbuscular; T5=75% da dose NPK recomendada + ácido húmico; T6=75% da dose NPK + *Azospirillum brasiliense* + Fungo micorrízico arbuscular; T7=75% da dose NPK + *Azospirillum brasiliense* + Ácido húmico; T8=75% da dose NPK recomendada + Fungo micorrízico arbuscular + ácido húmico; T9=75% da dose NPK recomendada + *Azospirillum brasiliense* + Fungo micorrízico arbuscular + ácido húmico).

	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----g kg <sup>-1</sup> -----							
T1	6,3	2,2	1,93	9,33	8,33	212	109	28
T2	6,33	2,23	1,8	7	8	166,33	90,67	17,33
T3	6,77	2,5	1,8	8,33	9,33	178	86	22
T4	6,27	2,23	1,63	6	7	181,33	107	16,33
T5	7,17	2,83	1,6	23,67	8,33	198,67	103,33	22
T6	6,67	2,4	1,63	8	9,33	186,67	98,67	20,67
T7	7,17	2,23	1,97	7,67	9	200	100	19
T8	6,37	2,5	1,8	6,67	8,33	204	89,33	16,33
T9	10,03	3,4	2,2	9,33	8,67	201,33	95,33	16,67

\*dados sem análise estatística

Fonte: Autoria Própria, 2023

## Anexo 2

Média das variáveis respostas (ALT=Altura de plantas, em centímetros; NFO=Número de folhas por planta; MAF=Massa da parte aérea fresca, em gramas; MRF= Massa das raízes frescas, em gramas; MAS=Massa da parte aérea seca, em gramas; CA=Clorofila A no estágio V7; CB=Clorofila B no estágio V7; CA=Clorofila A no estágio V10; CB=Clorofila B no estágio V10; CA=Clorofila A no estágio R3; CB=Clorofila B no estágio R3 em função dos tratamentos (T1=100% da dose NPK recomendada; T2=75% da dose NPK recomendada; T3=75% da dose NPK + *Azospirillum brasiliense*; T4=75% da dose NPK recomendada + Fungo micorrízico arbuscular; T5=75% da dose NPK recomendada + ácido húmico; T6=75% da dose NPK + *Azospirillum brasiliense* + Fungo micorrízico arbuscular; T7=75% da dose NPK + *Azospirillum brasiliense* + Ácido húmico; T8=75% da dose NPK recomendada + Fungo micorrízico arbuscular + ácido húmico; T9=75% da dose NPK recomendada + *Azospirillum brasiliense* + Fungo micorrízico arbuscular + ácido húmico).

	ALT	NFO	MAF	MRF	CAV7	CBV7	CAV10	CBV10	CAR3	CBR3
	cm	unid	-----gramas-----		-----ICF-----					
T1	239,33	13,23	1.397,01	155,2	37,51	13,55	37,92	17,96	40,68	21,13
T2	238,7	14,07	1.204,76	180,94	37,73	14,54	37,85	17,56	40,6	20,74
T3	239,9	13,6	1.370,18	193,04	37,33	14,28	37,34	17	40,18	20,16
T4	244,4	13,97	1.342,25	171,73	36,92	13,11	36,85	16,36	40,8	22,05
T5	242,1	14	1.286,29	136,85	37,81	14,9	37,99	18,07	41,1	21,64
T6	246,47	14,03	1.333,56	139,55	38,02	14,54	36,86	15,66	39,88	19,27
T7	243,4	13,97	1.310,64	162,52	36,78	13,7	37,78	16,83	40,58	20,58
T8	242	13,8	1.242,15	163,14	38,22	14,75	36,74	17,61	39,99	19,57
T9	243,97	13,97	1.356,20	176,69	36,63	14,22	37,78	18,29	40,16	19,49

\*dados sem análise estatística

Fonte: Aatoria Própria, 2023

