

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CASSILÂNDIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**INOCULAÇÃO EM SEMENTES E APLICAÇÃO FOLIAR
DE VITAMINAS AFETANDO CARACTERÍSTICAS
AGRONÔMICAS E FISIOLÓGICAS DE SOJA**

ALEXANDRE HENRIQUE FREITAS DE LIMA

CASSILÂNDIA – MS
AGOSTO/2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CASSILÂNDIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**SEMENTES COM E SEM INOCULAÇÃO E APLICAÇÃO
FOLIAR DE VITAMINAS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS
AGRONÔMICAS E FISIOLÓGICAS DA SOJA**

ALEXANDRE HENRIQUE FREITAS DE LIMA

Orientador: Prof. Dr. Rogério Soares de Freitas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia - Sustentabilidade na Agricultura, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia - Sustentabilidade na Agricultura.

CASSILÂNDIA – MS
AGOSTO/2022

L696s Lima, Alexandre Henrique Freitas

Sementes com e sem inoculação e aplicação foliar de vitaminas sobre as características agronômicas e fisiológicas da soja / Alexandre Henrique Freitas de Lima. – Cassilândia, MS: UEMS, 2022.

36 p. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Agronomia – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Soares de Freitas

1. *Bradyrhizobium sp* 2. *Glycine max* 3. Niacina 4. Tiamina
I. Freitas, Rogério Soares de II. Título

CDD 23. ed. - 631.8



Governo do Estado de Mato Grosso do Sul
Fundação Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
PROPP - Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
UEMS - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - Sede Dourados
UUCass - Unidade Universitária de Cassilândia
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
PGAC - Área de Concentração em Sustentabilidade na Agricultura



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: SEMENTES COM E SEM INOCULAÇÃO E APLICAÇÃO FOLIAR DE VITAMINAS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E FISIOLÓGICAS DA CULTURA DA SOJA

AUTOR(A): ALEXANDRE HENRIQUE FREITAS DE LIMA
ORIENTADOR(A): ROGÉRIO SOARES DE FREITAS

Aprovado como parte das exigências para obtenção de MESTRE EM AGRONOMIA, Área de concentração: "Sustentabilidade na Agricultura", pela Comissão Examinadora

Prof. Dr. Rogério Soares de Freitas
Orientador(a)

Prof. Dr. Eduardo Pradi Vendruscolo - UEMS
Participação via webconferência

Prof. Dr. Sebastião Ferreira de Lima - UFMS
Participação via webconferência

Data da realização: 26 de agosto de 2022.

DEDICATÓRIA

Dedico à minha família, em especial a minha falecida mãe Odete de Lima Santos que durante o pouco tempo que esteve presente em minha vida, sempre me aconselhou a estudar e me qualificar como profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as bênçãos e realizações que me proporcionou durante toda minha vida, assim como durante a pós-graduação.

Agradeço a minha família, a minha mãe Odete de Lima Santos por ter me incentivado a estudar. Assim como meu irmão Eduardo Freitas de Lima, minha segunda mãe Cleonice Pereira da Silva por sempre se fazerem presente, me apoiando.

A minha namorada Josiane Souza Salles por toda a compreensão, paciência e apoio durante essa caminhada. Assim como agradeço a sua família que sempre esteve presente nos momentos que precisei, em especial, à minha sogra Terezinha Cândida de Souza Salles.

Aos meus professores por todos os ensinamentos, em especial ao meu orientador Prof. Dr. Rogério Soares de Freitas e Prof. Dr. Eduardo Pradi Vendruscolo, por terem me orientado.

A Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e pela concessão de bolsas. E ao Programa de pós-graduação da UEMS de Cassilândia.

A todos vocês meus mais sinceros agradecimentos.

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS	9
RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	11
1. INTRODUÇÃO	12
2. MATERIAL E MÉTODOS	14
2.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	14
2.3. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	15
2.4. AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES DE CRESCIMENTO, RENDIMENTO POR PLANTA E FOTOSSÍNTESE	16
2.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	17
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4. CONCLUSÃO	31
5. REFERÊNCIAS	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis índice relativo de clorofila (CLOR), altura de plantas (AP), número de trifólios (NT), diâmetro do colo (DC), vagens por planta (V/P), grãos por planta (G/P), grãos por vagem (G/V) e massa de 100 grãos (M100), produção por planta (PROD), concentração interna de CO₂ (CI), taxa de transpiração (E), taxa fotossintética líquida (A), vapor de água (W), condutância estomática (GS) e eficiência de carboxilação (EICI). Cassilândia-MS, 2022..... 18

Tabela 2. Efeito da aplicação de vitaminas e inoculação com bactérias na cultura da soja para as variáveis clorofila (CLOR), taxa de transpiração (E), taxa fotossintética líquida (A), vapor de água (W), eficiência de carboxilação (EICI), diâmetro do colo (DC), vagens por planta (V/P), grãos por planta (G/P), produção (PROD). Cassilândia-MS, 2022. 19

Tabela 3. Interação entre aplicação de vitaminas e inoculação da soja para as variáveis altura de plantas e número de trifólios. Cassilândia-MS, 2022. 22

Tabela 4. Interação entre aplicação de vitaminas e inoculação da soja para a variável grãos por vagem. Cassilândia-MS, 2022..... 24

Tabela 5. Interação entre aplicação de vitaminas e inoculação da soja para as variáveis concentração interna de CO₂ (CI) e condutância estomática (GS). Cassilândia-MS, 2022. 26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Interação entre aplicação de vitaminas e inoculação da soja sobre a massa de 100 grãos. Cassilândia-MS, 2022. Letras iguais maiúsculas não tem diferença na comparação das vitaminas dentro de cada inoculação e minúscula iguais para comparação da inoculação dentro de cada aplicação de vitamina. 25

Figura 2. Rede de correlação de Pearson entre as variáveis de crescimento, fotossíntese e produção da cultura da soja em função dos tratamentos com aplicação de vitaminas e inoculação de sementes. Variáveis = clorofila (CLOR), altura de plantas (AP), número de trifólios (NT), diâmetro do colo (DC), vagens por planta (V/P), grãos por planta (G/P), grãos por vagem (G/V) e massa de 100 grãos (M100), produção de grãos (PROD), concentração interna de CO₂ (CI), taxa de transpiração (E), taxa fotossintética líquida (A), Vapor de água (W), condutância estomática (GS) e eficiência de carboxilação (EIC). Correlações positivas foram destacadas pela cor verde, enquanto as correlações negativas com cor vermelha, a determinação da espessura das linhas seguiu o valor de corte de 0,7, correspondendo a 70% de confiabilidade..... 28

Figura 3. Análise de variáveis canônicas existentes entre as variáveis de crescimento, fotossíntese e produção da cultura da soja em resposta a aplicação de vitaminas e inoculação de sementes. Tratamentos= C (Controle); N (Niacina); T (Tiamina) e NT (Niacina+Tiamina); NÃO (sem inoculação) e SIM (com inoculação). Variáveis = clorofila (CLOR), altura de plantas (AP), número de trifólios (NT), diâmetro do colo (DC), vagens por planta (V/P), grãos por planta (G/P), grãos por vagem (G/V) e massa de 100 grãos (M100), concentração interna de CO₂ (CI), taxa de transpiração (E), taxa fotossintética líquida (A), Vapor de água (W), condutância estomática (GS) e eficiência de carboxilação (EICI)..... 30

LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

A -Taxa fotossintética líquida (A);
AP – Altura de plantas;
C - Controle;
CI - Concentração interna de CO₂;
CLOR - Clorofila (CLOR);
Cm – Centímetros;
CV – Coeficiente de variação;
DAS – Dias após Semeadura;
DC - Diâmetro do colo;
DIC – Delineamento inteiramente casualizados;
E - Taxa de transpiração;
EICI - Eficiência de carboxilação;
g – Gramas;
G/V - Grãos por vagem;
GS- Condutância estomática;
M100 – Massa de 100 grãos;
N - Niacina;
NÃO - Sem inoculação;
NT - Niacina+Tiamina;
NT - Número de trifólios;
SIM - Com inoculação;
T – Tiamina;
V/P - Grãos por planta;
V/P -Vagens por planta;
W- Vapor de gua;

SEMENTES COM E SEM INOCULAÇÃO E APLICAÇÃO FOLIAR DE VITAMINAS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E FISIOLÓGICAS DA SOJA

RESUMO

A inoculação de bactérias na cultura da soja promove aumento considerável de produtividade, devido sua grande expressividade econômica mundial, há necessidade de pesquisas que otimizem ainda mais sua produção. Estudos recentes com aplicação exógena de vitaminas, vêm demonstrando potencial promissor, pois atuam diretamente no metabolismo e fisiologia das plantas. Analisar a ação das vitaminas na cultura é primordial para verificar seus efeitos sobre a nodulação. Neste sentido, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação das vitaminas, Tiamina e Niacina, isoladas e associadas, em plantas de soja com ausência e presença de inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* sobre as características agronômicas e fisiológicas da cultura. O experimento foi desenvolvido em delineamento inteiramente casualizados, em esquema fatorial 2x4, com 5 repetições, 2 tratamentos com inoculação de bactérias, presença e ausência, e 4 aplicações de vitamina via foliar, controle (água), tiamina (0,1 g), niacina (0,1 g) e tiamina+niacina (0,05+0,05 g), conduzido em casa de vegetação em vasos em sistema hidropônico inundado. Realizou-se a inoculação das sementes no momento da semeadura e a aplicação das vitaminas no estádio V2. Foram avaliados características morfológicas, trocas gasosas (fotossíntese) e rendimento de grãos. A aplicação de tiamina e inoculação promoveram maior crescimento em diâmetro, vagens por planta, grãos por planta e produção. A inoculação favorece maior teor de clorofila, eficiência de carboxilação e fotossíntese líquida. A associação da vitamina tiamina com a inoculação incrementou a massa de 100 grãos, atributo que promoveu maior produção final. Por meio da rede de correlação e variáveis canônicas foi possível verificar o efeito combinado das trocas gasosas e sua influência nos parâmetros de crescimento e produção. Conclui-se que o emprego de vitaminas favorece os atributos agronômicos sem restringem a ação das bactérias, sendo a tiamina alternativa complementar a inoculação para promover maior produção de grãos de soja.

PALAVRAS-CHAVE: *Bradyrhizobium sp.*, *Glycine max.*, niacina, tiamina.

SEEDS WITH AND WITHOUT INOCULATION AND FOLIAR APPLICATION OF VITAMINS ON THE AGRONOMIC AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SOYBEAN

ABSTRACT

The inoculation of bacteria in the soybean crop promotes a considerable increase in productivity, due to its great worldwide economic expressiveness, there is a need for research to further optimize its production. Recent studies with exogenous application of vitamins have shown promising potential, as they act directly on the metabolism and physiology of plants. Analyzing the action of vitamins in the culture is essential to verify their effects on nodulation. In this sense, the objective was to evaluate the effect of the application of vitamins, Thiamine and Niacin, isolated and associated, in soybean plants with absence and presence of inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* on the agronomic and physiological characteristics of the crop. The experiment was carried out in a completely randomized design, in a 2x4 factorial scheme, with 5 replications, 2 treatments with inoculation of bacteria, presence and absence, and 4 applications of vitamin via foliar, control (water), thiamine (0.1 g), niacin (0.1 g) and thiamine+niacin (0.05+0.05 g), conducted in a greenhouse in pots in a flooded hydroponic system. The seeds were inoculated at the time of sowing and the vitamins were applied at the V2 stage. Morphological characteristics, gas exchange (photosynthesis) and grain yield were evaluated. The application of thiamine and inoculation promoted greater growth in diameter, pods per plant, grains per plant and yield. Inoculation favors higher chlorophyll content, carboxylation efficiency and net photosynthesis. The association of vitamin thiamine with the inoculation increased the mass of 100 grains, an attribute that promoted higher final production. Through the correlation network and canonical variables, it was possible to verify the combined effect of gas exchange and its influence on growth and production parameters. It is concluded that the use of vitamins favors agronomic attributes without restricting the action of bacteria, with thiamine being an alternative supplement to inoculation to promote greater production of soybeans.

KEY WORDS: *Bradyrhizobium* sp, *Glycine max*, niacin, thiamine.

1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja é de grande expressividade para o agronegócio nacional, devido a elevada versatilidade do grão, para diversos fins industriais e o retorno econômico gerado ao país. Neste contexto, observa-se que a cultura nas últimas décadas tem exploração crescente na região das Américas. Com destaque para o Brasil que a partir da safra 2019/2020 tomou a liderança como maior produtor de soja mundial, ultrapassando os Estados Unidos, com produção de 121.797,7 mil toneladas (Faostat, 2022). Para a safra de 2021/22 a produção de soja obtida no Brasil foi de 124.047,8 mil toneladas (Conab, 2022). A soja, está entre as principais commodities mais valorizadas no mercado, o que justifica o desenvolvimento de pesquisas que favoreçam o sistema produtivo.

No processo de produção, tecnologias como a fixação biológica de nitrogênio (FBN) por meio da inoculação de bactérias, beneficia o produtor ao reduzir custos com fertilizantes nitrogenados (Nogueira et al., 2018). De acordo com estes autores o uso de estirpes de bactérias do gênero *Bradyrhizobium* promovem o efeito de simbiose entre a planta e os microrganismos, que são capazes de nodular as raízes, das quais retiram seu alimento e proteção, e como meio de troca fornecem o nutriente a planta. As bactérias capturam N atmosférico pela ação da enzima nitrogenase e convertem em formas assimiláveis pelo vegetal. Além de, enquadrar como uma prática sustentável, eleva a competitividade do produto, por ser capaz de suprir a demanda nutricional da espécie.

Sabe-se que resultados positivos, para a cultura da soja, já são há tempos testemunhados com o emprego da inoculação com *Bradyrhizobium* ou coinoculação de *Bradyrhizobium sp.* com *Azospirillum brasilense* por serem eficientes para elevar a produtividade e na redução de fertilizantes nitrogenados (Hungria et al., 1997; Campos et al., 2001; Mantelli et al., 2019; Zuffo et al., 2021; Zuffo et al., 2022, Torres et al., 2020). Desse modo, a inoculação da soja constitui prática consagrada e sustentável, indispensável no manejo da cultura para fornecimento de nitrogênio.

Associando ou aliando tecnologias na produção de grãos, novas práticas surgem para aprimorar e ampliar a produtividade, como por exemplo, a aplicação foliar de vitaminas. Neste caso, estudos são fundamentais para averiguar os efeitos positivos e possíveis efeitos negativos das práticas adotadas. Como citado acima, a inoculação é primordial para o sucesso da produção, neste aspecto, analisar o efeito das vitaminas em plantas com

inoculação e sem inoculação se faz necessário para constatar que aplicação exógena na planta não prejudique a nodulação e suprimento de nitrogênio.

As vitaminas niacina (B3) e tiamina (B1) pertencem ao complexo B, sendo caracterizadas pelo benefício que podem promover aos vegetais a partir da aplicação exógena. A tiamina atua como cofator enzimático nas vias metabólicas da glicose, como coenzima na descarboxilação-oxidação do piruvato nas vias da pentose fosfato e do ciclo tricarbóxico (Ciclo de Krebs), sendo o pirofosfato de tiamina (TPP) sua forma biologicamente ativa, além de amenizarem estresse, atuando no combate de adversidade bióticas e abióticas (Goyer, 2010; Rubert et al., 2017).

A niacina, também conhecida como nicotinamida, é um derivado substituído da piridina, e suas formas ativas são nicotinamida-adenina-dinucleotídeo (NAD^+) e nicotinamida-adenina-dinucleotídeo-fosfato (NADP^+). Ela é caracterizada como uma vitamina hidrossolúvel, que atua como constituintes das coenzimas NAD e NADP, age na doação e aceitação de íons hidrogênio em reações de liberação de energia, por estarem envolvidas em muitas oxidações enzimáticas e reações de redução como o NADH e NADPH. A niacina também atua no metabolismo secundário, por favorecer o sistema de defesa do vegetal (Abdelhamid et al., 2013; Bianchi et al., 2000).

De modo geral, as vitaminas pertencentes ao complexo B, no caso a tiamina (B1) e a niacina (B3) são agentes constituintes de coenzimas atuantes em reações catabólicas dos macronutrientes no processo de produção energética (Rubert et al., 2017). Diversos estudos com a aplicação exógena das vitaminas demonstraram efeitos positivos no desenvolvimento vegetal, especialmente em condições de superação de estresse, como para a cultura do arroz (Paraizo et al., 2021), feijoeiro (Vendruscolo et al., 2018), mostarda (Vendruscolo et al., 2017) e pepino (Busch et al., 2021). Estas pesquisas destacam a importante atuação das vitaminas como reguladores de crescimento, que por sua vez, promovem diversas ações no metabolismo vegetal que podem propiciar maior potencial de crescimento e produção (Kerbaui, 2013; Taiz et al., 2017).

Dessa forma, para verificar a eficiência das vitaminas sobre a cultura da soja, buscou-se isolar sua condução. As plantas foram submetidas a condições controladas de desenvolvimento, de modo a avaliar a aplicação exógena das vitaminas em plantas com inoculação e sem inoculação. Assim, verificar se as vitaminas não restringiam a eficiência das bactérias, realizando a condução destas em casa de vegetação em sistema hidropônico inundado.

Além de todo benefício obtido com a inoculação para a cultura da soja, a aplicação exógena de vitaminas vem demonstrando, em estudos, potencial promissor como reguladores de crescimento, com atuação positiva sobre caracteres morfológicos e produtivos em diferentes espécies. Neste aspecto, com o intuito de avaliar se as vitaminas poderiam beneficiar a produção da cultura da soja e constituir alternativa complementar à inoculação de modo a elevar a produção, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação das vitaminas, tiamina e niacina, isoladas e associadas, em plantas de soja com ausência e presença de inoculação com *B. japonicum* sobre as características agrônômicas e fisiológicas da cultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento com soja foi conduzido em ambiente protegido na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), na Unidade Universitária de Cassilândia (UUC), localizada no município de Cassilândia (latitude 19°07'21" S, longitude 51°43'15" W e altitude 516 m). De acordo com a classificação climática de Köppen, apresenta clima tropical chuvoso (Aw) com verão chuvoso e inverno seco.

O ambiente de cultivo consistiu em uma casa de vegetação climatizada de 14,64 m de comprimento x 6,40 m de largura x 3,5 m de altura (93,70 m²) + ante-câmara de 3,66 m x 3,20 m (11,71 m²), área total de 105,41 m². A cobertura e a lateral da casa de vegetação eram revestidas com filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) de 150 microns, difusor de luz, camada dupla, com sistema de climatização pad/fan Humil Cool (CELDEX®) de 1,2 m x 0,15 m. Tela termorefletoras aluminizada ALUMINET® 35% ("I") de sombreamento, móvel, sob o filme de polietileno, a qual permaneceu fechada. Com 6 bancadas metálicas (mesas) internas de 1,10 m de largura x 5,00 m de comprimento x 0,80 m de altura sobre piso de concreto. Apresentavam ainda mureta de concreto de 0,35 m de altura no perímetro do módulo; calçada de concreto de 0,80 m de largura ao redor do módulo.

2.2. Delineamento experimental

Foi adotado o delineamento experimental inteiramente casualizados (DIC), em esquema fatorial 2x4, com 5 repetições, designados por: ausência e presença de inoculação com *B. japonicum* e 4 aplicações de vitamina via foliar, tiamina e niacina, isoladas e associadas.

Os oito tratamentos foram formados por: T1= sem inoculação + pulverização com água, T2= sem inoculação + Niacina, T3= sem inoculação + tiamina, T4= sem inoculação + tiamina + niacina, T5= Inoculado + pulverização com água, T6= Inoculado + niacina, T7= Inoculado + tiamina, T8= Inoculado + tiamina + niacina.

2.3. Condução do experimento

O experimento com a cultura da soja, foi conduzido em casa de vegetação em vasos no sistema hidropônico inundado. A cultivar empregada, DM 75I74 RSF IPRO, possui porte médio com ciclo médio de 110 a 115 dias, peso de mil sementes de 156 g, resistência moderada ao acamamento, hábito de crescimento indeterminado com baixo potencial de ramificação, altamente exigente em fertilidade, grupo de maturação: 7,5. Apresenta coloração do hilo marrom claro, com flores brancas e pubescência cinza, cultivar com alto potencial produtivo e resistência ao cancro da haste, à pústula bacteriana e ao nematoide de cisto (raça 3), conforme descrição da fabricante DonMario sementes.

Para os tratamentos com inoculação, a aplicação foi realizada diretamente nas sementes, com 1 ml de inoculante (Total Nitro Max®) para 500 g de sementes. Para isso, utilizou-se o inoculante (Total Nitro Max®) é a base da bactéria *Bradyrhizobium japonicum*, com aporte da estirpe, recomendada para o Brasil, Semia 5079, desenvolvido com material de alta qualidade e relevante concentração de rizóbios, recomendado para cultura da soja, conforme informações do fabricante.

Em seguida procedeu-se a semeadura, no dia 10 de novembro, com 5 sementes por vaso. Foram utilizados vasos de polietileno que apresentavam dimensão de 10,5 cm de altura x 14,5 cm de diâmetro com capacidade de 1,6 L. Os vasos foram preenchidos com o substrato comercial Carolina soil®, constituído de turfa de *Sphagnum*, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante NPK, apresenta potencial hidrogeniônico (pH) 5,5

+/- 0,5; condutividade elétrica (CE) de 0,7 +/- 0,3; densidade de 145 kg m³; capacidade de retenção de água (CRA) correspondente a 55%, umidade máxima de 50%.

Após a semeadura os recipientes foram adicionados no sistema hidropônico inundado, num sistema composto por canaletas e vasos, no qual a solução que preenchia as canaletas era fornecida três vezes ao dia. A solução nutritiva foi preparada de acordo com a recomendação do produto comercial, sendo utilizado o fertilizante mineral misto da PlantPar®, flex vermelho, com dose recomendada de 69 g para cada 100 L de água.

O fertilizante é composto por quelato de ferro, nitrato de potássio, sulfato de potássio, quelato de manganês, quelato de cobre, quelato de zinco, ácido bórico, fosfato monoamônico cristal, sulfato de magnésio, molibdato de sódio, sulfato de níquel, sulfato de cobalto. Este formulado fornece 8% de nitrogênio, 8% de fósforo, 30% de potássio, 3% de enxofre, 1% de magnésio, 0,14% de ferro, 0,04% de boro, 0,04% de manganês, 0,03% de cobre, 0,019% de zinco, 0,009% de molibdênio, 0,006% de níquel e 0,002% de cobalto.

As plântulas provenientes do semeio foram conduzidas até os 20 dias após a semeadura das sementes (DAS), correspondente ao estágio fenológico V2. Quando apresentavam o primeiro trifólio completamente expandido foram desbastadas, deixando apenas 2 plantas por vaso. Após o desbaste, foi realizada a aplicação das vitaminas por pulverização foliar. A dose das vitaminas quando empregadas isoladamente consistiu em 0,1 g de niacina e 0,1 g para tiamina, quando associadas reduziu para metade da dose de cada, correspondendo a 0,05 g de tiamina + 0,05 g de niacina, dosagem para 2 L de água. A pulverização foi realizada com bomba manual de 2 L.

Após a adição das vitaminas, as duas plantas conduzidas nos vasos, continuaram recebendo a solução nutritiva 3 vezes ao dia. O sistema adotado funcionava de forma automática, liberava o enchimento das canaletas com a solução nutritiva, o qual permanecia ligado durante 8 minutos, para atingir todo o volume do canal de condução. Transcorrido o tempo determinado tinha-se o desligamento da bomba, desse modo, a solução por gravidade retornava ao reservatório.

2.4. Avaliação dos componentes de crescimento, rendimento por planta e fotossíntese

Para avaliação do efeito dos tratamentos aplicados sobre o crescimento e desenvolvimento da cultura, ou seja, características morfológicas, foram avaliados a altura

de plantas (AP), diâmetro do colo (DC) e número de trifólios (NT) aos 56 dias após a semeadura (DAS). Na determinação da altura, as plantas foram mensuradas com auxílio de uma trena da base do colo, acima do substrato até o ápice. Para a mensuração do diâmetro utilizou-se paquímetro digital e para as folhas realizou-se a contagem de trifólios completamente desenvolvidos na planta.

A cultura da soja foi conduzida até atingir a fase de produção, com as plantas sendo coletadas no dia 18 de fevereiro de 2022 (100 DAS). Foi realizada a colheita e as plantas foram colocadas para secar sobre as bancadas dentro do ambiente que foram cultivadas e, após 13 dias foram avaliados número de vagens por planta (V/P), número de grãos por vagem (G/V), número de grãos por planta (G/P), massa de cem grãos (M100) e produção por planta (PROD). As determinações de grãos e vagens foram realizadas através de contagem manual, enquanto a massa de 100 grãos realizou-se após contagem dos grãos e pesagem em balança analítica de precisão.

Além das análises de crescimento (morfológicas) e produção, também foram determinadas análises fisiológicas das plantas correspondente a fotossíntese aos 40 DAS, com o analisador IRGA (Infrared Gas Analyser). Foram determinadas as variáveis, taxa de transpiração (E), taxa fotossintética líquida (A), concentração interna de CO₂ (C_i), fração molar de vapor de água (W), condutância estomática (GS) e eficiência de carboxilação (EICI), os quais foram mensurados das 8 às 10 h, horário de Mato Grosso do Sul, assim como o índice relativo de clorofila (CLO) que foi avaliada com o clorofilômetro digital utilizando a folha do ápice da planta.

2.5. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) e, as diferenças entre os tratamentos, para inoculação e vitaminas foram determinadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas utilizando-se o software estatístico Sisvar versão 5.3 para Windows (Ferreira, 2010).

Para complementar as análises de variância, foi realizado a correlação de Pearson $|r_{ij}|$ através da rede de correlações entre as variáveis de estudo. Correlações positivas foram destacadas pela cor verde, e negativas com a cor vermelha. A determinação da espessura das linhas seguiu o valor de corte de 0,7, correspondendo a 70% de confiabilidade, assim, apenas correlações com médias acima do valor considerado foram destacadas. Também, foram

determinadas as variáveis canônicas existentes entre os parâmetros agrônômicos e fisiológicos da cultura da soja em função dos tratamentos com inoculação e aplicação de vitaminas. Todas as análises foram realizadas com o *software* R versão (v.4.0.3), por meio dos pacotes Qgraph e Candisc (R core team, 2022).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis clorofila (CLOR), diâmetro do colo (DC), vagens por planta (V/P), grãos por planta (G/P), produção por planta (PROD), taxa de transpiração (E), taxa fotossintética líquida (A), vapor de água (W) e eficiência de carboxilação (EICI) não apresentaram interação entre os dois fatores usados no estudo, aplicação de vitaminas e inoculação de sementes (Tabela 1) e, desta forma, para estas variáveis foram interpretados os resultados de forma isolada (Tabela 2). Enquanto as demais, altura de plantas (AP), número de trifólios (NT), grãos por vagem (G/V) e massa de 100 grãos (M100), concentração interna de CO₂ (CI), e condutância estomática (GS) apresentaram interação entre os elementos da pesquisa.

Tabela 1. Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis índice relativo de clorofila (CLOR), altura de plantas (AP), número de trifólios (NT), diâmetro do colo (DC), vagens por planta (V/P), grãos por planta (G/P), grãos por vagem (G/V) e massa de 100 grãos (M100), produção por planta (PROD), concentração interna de CO₂ (CI), taxa de transpiração (E), taxa fotossintética líquida (A), vapor de água (W), condutância estomática (GS) e eficiência de carboxilação (EICI). Cassilândia-MS, 2022.

FV	GL	QM resíduo			
		CLOR	AP	NT	DC
VITAMINA	3	10,73 ^{ns}	110,00 ^{**}	5,19 ^{ns}	1,07 [*]
INOCULAÇÃO	1	225,15 ^{**}	2100,68 ^{**}	752,55 ^{**}	4,94 ^{**}
VITAM X INOC	3	9,46 ^{ns}	56,61 ^{**}	10,45 [*]	0,84 ^{ns}
erro	32	3,79	7,07	2,68	0,29
CV (%)		15,41	4,89	9,93	9,49
MG		12,64	54,35	16,51	5,71
FV	GL	QM resíduo			
		V/P	G/P	G/V	M100
VITAMINA	3	201,75 ^{**}	995,43 ^{**}	0,002 ^{ns}	2,56 ^{**}
INOCULAÇÃO	1	3720,26 ^{**}	19477,91 ^{**}	0,00 ^{ns}	11,95 ^{**}
VITAM X INOC	3	45,59 ^{ns}	263,96 ^{ns}	0,03 [*]	1,61 ^{**}
erro	32	33,62	192,48	0,009	0,23
CV (%)		16,80	17,66	4,19	4,41
MG		34,51	78,54	2,27	10,40
FV	GL	QM resíduo			

		PROD	CI	E	A
VITAMINA	3	17,71**	558,39**	0,63**	0,37 ^{ns}
INOCULAÇÃO	1	293,13**	134,75 ^{ns}	2,44**	33,74**
VITAM X INOC	3	2,34 ^{ns}	431,66**	0,02 ^{ns}	1,44 ^{ns}
erro	32	2,12	73,18	0,03	1,20
CV (%)		17,56	2,74	5,88	9,21
MG		8,30	312,15	2,95	11,92
FV	GL	QM resíduo			
		W	EICI	GS	
VITAMINA	3	0,73**	0,00 ^{ns}	0,01**	
INOCULAÇÃO	1	0,25 ^{ns}	0,00**	0,04**	
VITAM X INOC	3	0,21 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,01*	
Erro	32	0,12	0,00	0,003	
CV (%)		8,38	14,12	17,65	
MG		4,15	0,038	0,31	

* significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade, ns = não significativo; CV = coeficiente de variação; MG= média geral; GL= graus de liberdade.

Com relação ao efeito da aplicação das vitaminas, observa-se que para as variáveis de trocas gasosas como taxa fotossintética líquida (A), eficiência de carboxilação (EICI) e clorofila (CLOR) não houve significância (Tabela 2). Houve maior E para as plantas que receberam a aplicação de niacina, em comparação aos demais tratamentos. Maior conteúdo de W ocorreu nos tratamentos controle e T+N, sendo a niacina o tratamento que ocasionou menor fração de água nas plantas, possivelmente relacionada com a maior taxa de transpiração.

Tabela 2. Efeito da aplicação de vitaminas e inoculação com bactérias na cultura da soja para as variáveis clorofila (CLOR), taxa de transpiração (E), taxa fotossintética líquida (A), vapor de água (W), eficiência de carboxilação (EICI), diâmetro do colo (DC), vagens por planta (V/P), grãos por planta (G/P), produção (PROD). Cassilândia-MS, 2022.

VARIÁVEIS ANALISADAS					
Trocas gasosas					
VITAMINA	E	A	W	EICI	CLOR
CONTROLE	2,77 B	11,75 A	4,32 A	0,039 A	11,54 A
T+N	2,77 B	11,75 A	4,39 A	0,036 A	13,86 A
NIACINA (N)	3,36 A	11,96 A	3,72 B	0,039 A	12,07 A
TIAMINA (T)	2,90 B	12,20 A	4,15 AB	0,038 A	13,09 A
INOCULAÇÃO	E	A	W	EICI	CLOR
COM	3,22 A	12,94 A	4,23 A	0,042 A	15,01 A
SEM	2,67 B	10,89 B	4,06 A	0,034 B	10,27 B
CV (%)	5,88	9,21	8,38	14,12	15,41
MG	2,95	11,90	4,15	0,038	12,64

Crescimento e rendimento				
VITAMINA	DC	V/P	G/P	PROD
CONTROLE	5,76 AB	30,91 B	69,78 B	6,92 C
T+N	5,84 AB	36,58 AB	82,69 AB	8,95 AB
NIACINA (N)	5,24 B	30,68 B	70,98 B	7,51 BC
TIAMINA (T)	5,99 A	39,86 A	90,69 A	9,83 A
INOCULAÇÃO	DC	V/P	G/P	PROD
COM	6,06 A	44,15 A	100,60 A	11,01 A
SEM	5,36 B	24,86 B	56,47 B	5,60 B
CV (%)	9,49	16,80	17,66	17,56
MG	5,71	34,51	78,54	8,30

*Letras iguais maiúsculas na coluna, para cada variável, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Plantas que apresentam maior taxa de transpiração (E) estão sujeitas a perderem maior quantidade de água para o meio (Taiz et al., 2017). A Niacina influenciou maior e, concomitantemente, menor quantidade de vapor de água (W) presente nas folhas, o que não afetou a taxa fotossintética líquida. Esse processo fisiológico explica-se conforme Taiz et al. (2017) pelo fato de a fotossíntese necessitar da absorção de CO₂ que ocorre pela abertura estomática, estrutura que realiza a transpiração. Apesar de serem rotas inversas, enquanto um entra o outro sai das células, são perdidas grande quantidade de água durante o processo fotossintético, como uma maneira de reduzir a temperatura das folhas, denominado resfriamento evaporativo.

Para a influência da inoculação das sementes sobre as variáveis observa-se que apenas para a variável correspondente a W não houve efeito da inoculação, mas a inoculação das sementes favoreceu o desenvolvimento de plantas com maior índice de clorofila, conseqüentemente, plantas com maiores diâmetros, taxa de transpiração fotossintética líquida e eficiência de carboxilação, o que espelhou nas características de rendimento, com maior quantidade de vagens por planta, grãos por planta e produção por planta (Tabela 2). Resultados já esperados, devido a eficiência comprovada da inoculação de bactérias na cultura (Hungria et al., 1997; Zuffo et al., 2021; Torres et al., 2020).

Já para os atributos de crescimento e rendimento por planta, observou-se que todas as variáveis diferiram quanto a aplicação de vitaminas e inoculação (Tabela 2). As plantas que apresentaram maiores DC foram conduzidas com aplicação da tiamina, assim como a tiamina também favoreceu maior produção de V/P, G/P e PROD, associado aos benefícios obtidos com as vitaminas, o emprego do inoculante com *Bradyrhizobium japonicum* também incrementaram nas variáveis produtivas.

Foi observado a eficiência da tiamina nos caracteres produtivos das plantas de soja, Muthukrishnan et al. (2019) relacionam a tiamina como estimulador de crescimento e ativador de defesa da planta, essa ação estimulante favoreceu a produção. Os resultados de maior produção da soja, corroboraram com os obtidos por Vendruscolo et al. (2018) com o feijoeiro, pois em ambos a aplicação de tiamina favoreceu as características produtivas da cultura. O incremento em produtividade conforme Kaya et al. (2015) deve-se a capacidade da vitamina em agir tanto na sintetização de proteínas como no metabolismo de carbono.

Já com inferência a inoculação, diversos estudos com *Bradyrhizobium* sp. foram realizados na cultura da soja, os quais demonstraram eficiência do procedimento, por serem promotoras de crescimento, com destaque pelo fornecimento de nitrogênio, favorecendo maior incremento no crescimento e produção (Bossolani et al., 2018; Zuffo et al., 2020; Zuffo et al., 2021; Toffolo et al., 2022).

A cultura da soja demanda grande quantidade de nitrogênio. Nesse caso, na condição de estudo, apesar de todo fornecimento nutricional à cultura, a inoculação permitiu por meio da simbiose, maior capacidade das plantas em absorver nutrientes, especialmente nitrogênio, que possivelmente incrementou a produção de V/P e G/P (Tabela 2). Além deste efeito, Silva et al. (2022) citam as rizobactérias multifuncionais como a *Bradyrhizobium japonicum* como a mais eficiente em associação com a soja. Os resultados obtidos neste estudo estão associados aos benefícios promovidos por estas bactérias que sintetizam hormônios, como auxina, giberelina e etileno, que podem ter incrementado o crescimento em altura e número de folhas (Tabela 3).

As plantas que receberam a inoculação de sementes apresentaram maior altura na presença de Tiamina e Niacina de forma isolada, na ausência de inoculação as plantas provenientes da aplicação Tiamina+Niacina e tiamina isolada, promoveram maior desenvolvimento em altura às plantas (Tabela 3).

De modo geral, para todas as vitaminas e o tratamento controle, as maiores plantas foram observadas quando inoculadas (Tabela 3), o que ressalta a eficiência da inoculação para a cultura da soja. Conforme Al-Hayani e Al-Jumaili (2019) a tiamina está relacionada com o funcionamento de células meristemáticas do crescimento vegetativo, esta atuação justifica o maior alongamento e crescimento das plantas. Estes resultados ressaltam que o emprego das vitaminas não afeta a capacidade das bactérias de estimular o crescimento da cultura.

Tabela 3. Interação entre aplicação de vitaminas e inoculação da soja para as variáveis altura de plantas e número de trifólios. Cassilândia-MS, 2022.

TRATAMENTO	INOCULAÇÃO			
	COM	SEM	COM	SEM
VITAMINA	ALTURA DE PLANTAS		NÚMERO DE TRIFÓLIOS	
Controle	57,00 Ba	44,00 Bb	20,25 Aa	11,25 Bb
Tiamina+Niacina	58,80 Ba	48,70 Ab	20,25 Aa	12,00 ABb
Niacina	62,25 Aa	44,00 Bb	22,40 Aa	11,20 Bb
Tiamina	65,37 Aa	51,75 Ab	20,50 Aa	14,25 Ab
CV (%)	15,41		9,93	

*Letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas nas linhas, para cada variável, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O maior crescimento em altura na presença de niacina pode ter sido desencadeado pela ação das vitaminas no metabolismo das plantas. De acordo com Oliveira et al. (2019) tanto a tiamina como a niacina pertencem ao complexo B, sendo que a niacina, que são nucleotídeos de nicotinamida na forma de NAD^+ ou NADPH^+ , atuam como coenzimas e favorecem o carreamento de elétrons, o que pode ter favorecido o desenvolvimento vegetativo da planta.

Estes benefícios também foram observados por El-Bassiouny et al. (2014), os quais descrevem que a aplicação exógena de niacina incrementa os atributos morfológicos, metabólicos, nutricionais do vegetal, pelo fato da vitamina induzir a regulação do metabolismo secundário e metabolismo de defesa em plantas. Dawood et al. (2019) também descrevem o efeito positivo da aplicação de niacina sobre os atributos de crescimento, contudo, apesar do maior crescimento das plantas não incrementou na produção de grãos (Tabela 2).

O número de trifólios das plantas que tiveram as sementes inoculadas não teve diferenças quanto a aplicação de vitaminas, mas sem a inoculação as plantas apresentaram maior quantidade de folhas com a pulverização da vitamina Tiamina, que não diferiu da aplicação associada de Tiamina+Niacina, o que pode relacionar ao fato da presença da Tiamina, uma vez que, com a aplicação isolada de niacina o número de trifólios foi semelhante ao tratamento controle (Tabela 3).

Para as variáveis de crescimento vegetativo, como altura de plantas, número de trifólios e diâmetro do colo, houve efeito positivo da aplicação foliar com vitaminas, sendo

que a Tiamina promoveu maior crescimento das plantas. Resultados obtidos por Mohammadi et al. (2019) relacionam que a pulverização foliar de melatonina associada à vitaminas do complexo B, entre estas, niacina e tiamina, promovem alterações morfológicas por aumentar os índices de crescimento e componentes de rendimento da soja. Essas combinações de práticas podem beneficiar o desenvolvimento fisiológico das plantas, assim como observado para as vitaminas com a inoculação.

Resultados positivos também foram observados com a aplicação de ambas as vitaminas no número de folhas, área foliar, massa fresca, massa seca e teor de clorofila em plantas de mostarda obtidos por Vendruscolo et al. (2017). A aplicação exógena de tiamina e niacina, também favoreceram maior crescimento em plantas de arroz de terras altas, conforme estudo de Vendruscolo et al. (2019). Nestes trabalhos os autores associam a capacidade de incremento no desenvolvimento, devido ao aumento das atividades metabólicas, que resultam em maior crescimento. Ao estudar a aplicação de tiamina em *Guazuma ulmifolia* Lam. Vendruscolo et al. (2018) também obtiveram maior altura e número de folhas de mudas.

Constata-se que a inoculação de sementes formou plantas com maior capacidade de crescimento em altura e folhas. A resposta da inoculação, no crescimento vegetal, está diretamente relacionada a capacidade das bactérias *Bradyrhizobium* atuarem sobre a eficiência de carboxilação (EICI), assim como observado por Lima et al. (2022) que a inoculação incrementou em 66,7% a EICI, devido aos benefícios nutricionais e bioquímicos proporcionados pelos microrganismos as plantas.

Com relação a produção de grãos por vagem observou-se que não ocorreram diferenças entre os tratamentos correspondentes a pulverização foliar com as vitaminas, apenas na aplicação da vitamina tiamina+niacina houve maior quantidade de grãos por vagem em plantas que não receberam inoculação (Tabela 4). Possivelmente essa menor quantidade de grãos por vagens nas plantas inoculadas, deve-se ao fato de que as plantas neste tratamento promoveram maior produção de V/P e G/P, devido à grande quantidade de drenos, no caso de vagens, justifica-se a menor quantidade de grãos por vagem nas plantas inoculadas.

Tabela 4. Interação entre aplicação de vitaminas e inoculação da soja para a variável graos por vagem. Cassilândia-MS, 2022.

TRATAMENTO	INOCULAÇÃO	
	COM	SEM
VITAMINA	GRÃOS POR VAGEM	
Controle	2,27 Aa	2,23 Aa
Tiamina+Niacina	2,19 Ab	2,35 Aa
Niacina	2,34 Aa	2,24 Aa
Tiamina	2,29 Aa	2,23 Aa
CV (%)	15,53	

*Letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas nas linhas, para cada variável, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Com relação a massa de 100 grãos, observa-se que independentemente da inoculação, houve efeito das vitaminas. Na ausência de inoculante as plantas resultantes, produziram grãos com maior massa em virtude da pulverização de Tiamina+Niacina. Nas plantas inoculadas maiores massas foram obtidas com a vitamina tiamina que foi semelhante a niacina, isoladas. No comparativo dos tratamentos com e sem inoculação, observou-se maiores massas de grãos produzidos em plantas que receberam inoculação, com exceção da Tiamina+Niacina que não diferiram (Figura 1).

A influência da Tiamina sobre a massa de 100 grãos da soja beneficiou ainda mais o potencial produtivo da cultura, associado a maior quantidade de V/P, G/P, que induziram maior produção, já observado pela presença da simbiose com as bactérias inoculantes. Dessa forma, esse resultado é notoriamente importante para favorecer a produtividade, assim como ressalta Smiderle et al. (2019), pois a produtividade da soja é definida pelo reflexo da produção na quantidade de sementes por vagens, vagens por área associada massa de 100 sementes. Paraizo et al. (2021) relacionam que a aplicação exógena de tiamina, devido a atividade antioxidante tem potencial promissor sobre os atributos fisiológicos de crescimento vegetal.

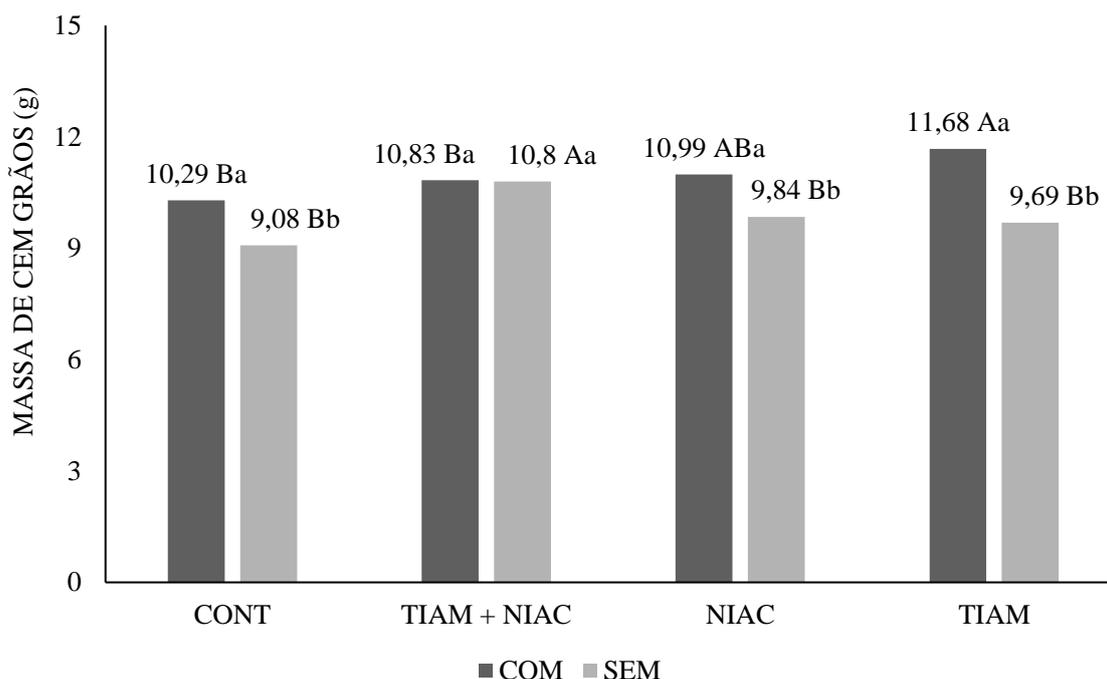


Figura 1. Interação entre aplicação de vitaminas e inoculação da soja sobre a massa de 100 grãos. Cassilândia-MS, 2022. Letras iguais maiúsculas não tem diferença na comparação das vitaminas dentro de cada inoculação e minúscula iguais para comparação da inoculação dentro de cada aplicação de vitamina.

De acordo com Rodrigues et al. (2020) o emprego de moléculas como a tiamina na cultura da soja na fase de enchimento de grãos apresentou resultados positivos, estes descrevem que a tiamina é um cofator de diversas enzimas que são utilizadas nos processos metabólicos de carboidratos e aminoácidos, proporcionando mais energia ao metabolismo vegetal. Essa ação da vitamina no metabolismo, pode ter incrementado maior conversão de fotoassimilados para enchimento dos grãos produzidos e conseqüentemente, promovido maior massa aos grãos (Figura 1).

A niacina também não diferiu da tiamina quanto a massa de 100 grãos em plantas inoculadas, estes resultados benéficos na massa de grãos são respostas da ação da vitamina nos processos fisiológicos, pois conforme Abdelhamid et al. (2013) a niacina promove aumento nos teores de carboidratos, proteína bruta e a concentração de solutos em sementes obtidas de plantas tratadas, como testemunhou em sementes de fava (*Vicia faba L.*), planta leguminosa, assim como a soja. Possivelmente, a aplicação também estimulou maior massa aos grãos de soja, pois segundo estes autores, a vitamina atua no alongamento celular e acúmulo de reservas.

Para as variáveis concentração interna de CO₂ (CI) e condutância estomática (GS), em plantas inoculadas, não foram verificadas diferenças quanto a aplicação de vitaminas, enquanto sem as bactérias na presença de vitaminas ocorreu maior CI e GS apresentaram (Tabela 5). Na CI no tratamento controle, teve-se maior concentração nas plantas com inoculação, na tiamina não houve diferença, já para os tratamentos Tiamina+Niacina e Niacina com inoculante as plantas apresentaram menor concentração de CO₂. Com relação a GS, nos tratamentos controle e tiamina, aconteceu maior condutância em decorrência da inoculação.

Tabela 5. Interação entre aplicação de vitaminas e inoculação da soja para as variáveis concentração interna de CO₂ (CI) e condutância estomática (GS). Cassilândia-MS, 2022.

TRATAMENTO	INOCULAÇÃO			
	COM	SEM	COM	SEM
VITAMINA	CI		GS	
Controle	309,00 Aa	293,33 Bb	0,33 Aa	0,17 Bb
Tiamina+Niacina	315,00 Ab	327,50 Aa	0,39 Aa	0,32 Aa
Tiamina	310,66 Aa	312,66 Aa	0,38 Aa	0,26 ABb
Niacina	305,75 Ab	323,33 Aa	0,31 Aa	0,35 Aa
CV (%)	2,74		17,65	

*Letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas nas linhas, para cada variável, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Como observado, tanto a niacina como a tiamina, promoveram maior CI e GS, Abdelhamid et al. (2013) relacionam que a pulverização foliar de niacina aumenta os pigmentos fotossintéticos, pois atuam nos parâmetros fisiológicos e bioquímicos. Assim como, estes resultados promovidos pela tiamina, pode estar associado também, conforme Kaya et al. (2015) pôr a aplicação de forma exógena interferir na proteção dos tecidos por meio de ação antioxidantes, o que pode ter favorecido maior concentração de CO₂ e condutância estomática, uma vez que esse caráter antioxidante possibilitam a adequada funcionalidade dos processos fotossintéticos, imprescindíveis para obtenção de energia para crescimento vegetativo e reprodutivo (Taiz et al., 2017).

Ao estudar a aplicação exógena de tiamina e niacina na cana-de-açúcar Ramos et al. (2022) também confirmaram efeito positivo da aplicação isolada de tiamina na dose de 100 mg L⁻¹ ou associada a niacina na dose de 50 mg L⁻¹, pois as vitaminas contribuíram

com melhor desenvolvimento do aparelho fotossintético e morfologia estomática. Resultados que juntamente com os obtidos nessa condição de estudo enfatizam a eficácia da aplicação de vitaminas no desenvolvimento vegetal.

Como observado com a aplicação de Niacina menor fração de vapor de água, e menor concentração interna de CO₂ no tratamento inoculado tanto para Niacina, como Tiamina+Niacina em comparação as plantas não inoculadas (Tabela 5). Entende-se que mesmo com menor concentração de CO₂ houve eficiência de carboxilação (EICI) semelhante entre os tratamentos (Tabela 2), o que demonstra que mesmo com menor nível de CO₂, plantas inoculadas com vitaminas foram capazes de apresentar taxa fotossintética semelhante, com boa produção energética.

Assim como, apresentado por Taiz et al (2017) que quando ocorre o fechamento estomático tem-se menor transpiração, diferente do ocorrido com a niacina, esse fechamento auxilia na conservação da água, mas também na acumulação de elevada concentração interna de CO₂, essa maior concentração pode favorecer a carboxilação fotossintética, porém no estudo como houve maior transpiração justifica-se a menor CI.

Neste estudo, essa menor CI nas plantas inoculadas não caracteriza um resultado negativo, até pelo fato de não ter ocorrido diferença quanto a taxa fotossintética, assim como obtido por Bulegon et al. (2016) ao estudar a soja inoculada, que também obtiveram menor CI, relacionando que a fotossíntese não é dependente apenas desta variável, mesmo apesar de menor concentração reduzir a atividade da rubisco, enzima atuante no ciclo de Calvin para fixação de carbono, nos dois estudos não refletiu efeito negativo sobre a fotossíntese.

As variáveis do presente estudo demonstraram de modo geral alta correlação positiva entre os atributos analisados, representadas por linhas espessas de cor verde (Figura 2). Apesar das representações de linhas vermelhas que correspondem a correlação negativa, para as variáveis em questão não houve correlação significativa. Observa-se para vagens por planta (VP), grãos por planta (GP), produção de grãos (PROD) correlação com as trocas gasosas como taxa fotossintética (A), clorofila (CLOR) e eficiência de carboxilação (EICI). Apenas as variáveis concentração interna de CO₂ (CI) e grãos por vagem (GV) não correlacionaram com nenhuma variável (Figura 2).

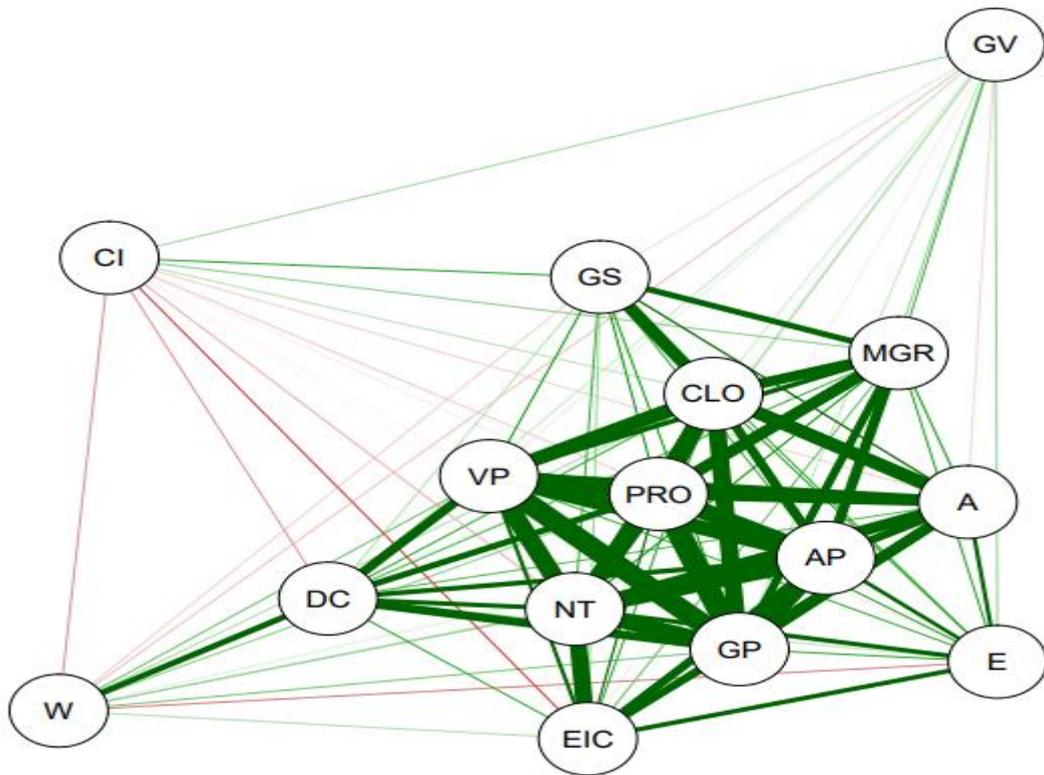


Figura 2. Rede de correlação de Pearson entre as variáveis de crescimento, fotossíntese e produção da cultura da soja em função dos tratamentos com aplicação de vitaminas e inoculação de sementes. Variáveis = clorofila (CLOR), altura de plantas (AP), número de trifólios (NT), diâmetro do colo (DC), vagens por planta (V/P), grãos por planta (G/P), grãos por vagem (G/V) e massa de 100 grãos (M100), produção de grãos (PROD), concentração interna de CO₂ (CI), taxa de transpiração (E), taxa fotossintética líquida (A), Vapor de água (W), condutância estomática (GS) e eficiência de carboxilação (EIC). Correlações positivas foram destacadas pela cor verde, enquanto as correlações negativas com cor vermelha, a determinação da espessura das linhas seguiu o valor de corte de 0,7, correspondendo a 70% de confiabilidade.

Vinculado as análises de crescimento e produção, as variáveis de crescimento altura de plantas e número de trifólios demonstraram que o maior crescimento em altura refletiu em maior quantidade de folhas, o que resultou em maior taxa de transpiração, sendo positivamente correlacionado a eficiência de carboxilação, taxa fotossintética, resultados que inferiram maior produção de vagens por planta (Figura 2).

A interação entre estes fatores exemplifica os resultados obtidos, segundo Lima et al. (2021) o fornecimento de nitrogênio promovido pela simbiose entre planta e microrganismo é utilizado pela rubisco, sendo assim a disponibilidade nutricional pode favorecer a eficiência fotossintética, que neste estudo também foi superior em plantas inoculadas (Tabela 2). O fato de a inoculação beneficiar as trocas gasosas, incrementando a

fotossíntese resulta em maior crescimento das plantas (Khoshru et al., 2020), assim como representado pela correlação.

Os resultados expressam a importância do adequado funcionamento do metabolismo da planta. Nesta pesquisa a taxa fotossintética líquida (A) correlaciona-se com a condutância estomática e transpiração, e estas quando aumentam provocam maior eficiência fotossintética. Em condições normais de desenvolvimento vegetal não há restrição a transpiração, o que ocorreria em situações estressantes, mas com o fechamento dos estômatos reduz consideravelmente a absorção de CO₂, assim, limita a taxa fotossintética e produção de fotoassimilados (Taiz et al., 2017).

Assim como, observado sobre correlação da fotossíntese líquida com a condutância estomática e transpiração. Bulegon et al. (2016) também obtiveram correlação positiva entre estas variáveis. Relatam que, a soja sem restrição hídrica, tem máxima demanda transpiratória, do mesmo modo que neste estudo, com o cultivo da cultura em sistema hidropônico. Neste caso, as plantas inoculadas foram capazes de manter por período prolongado estômatos abertos, tal processo que possibilitou maior entrada de CO₂ e manutenção fotossintética.

Observando a maior massa de grãos atribuída pela associação entre a Tiamina e inoculação, tal fato pode ser justificado pela correlação positiva existente entre a variável massa de 100 grãos com as variáveis clorofila, altura de plantas e a condutância estomática (Figura 2). Em função desta correlação conforme teve-se aumento da altura de planta, consequentemente ocorreu maior condutância estomática e produção de clorofila. Silva et al. (2015) descrevem que a condutância estomática é altamente influente sobre a taxa fotossintética, pois com a abertura dos estômatos e maior condutância, tem-se maior translocação de CO₂ utilizado na fotossíntese. Desse modo, a maior produção de clorofila na condição do presente estudo, resultou em maior conversão de fotoassimilados no enchimento de grãos.

Por meio da análise das variáveis canônicas, é possível aferir a eficiência dos tratamentos associados entre inoculação e vitaminas, sendo assim foi realizada a análise de correlação canônica para determinar a contribuição de cada variável mensurada sobre efeito da presença ou ausência de inoculação, associada as vitaminas. Para todos os tratamentos de vitaminas, controle, niacina, tiamina e niacina+tiamina, houve maior reflexo nas variáveis de produção, crescimento e fotossíntese em combinação com as *bactérias Bradyrhizobium japonicum* (Figura 3).

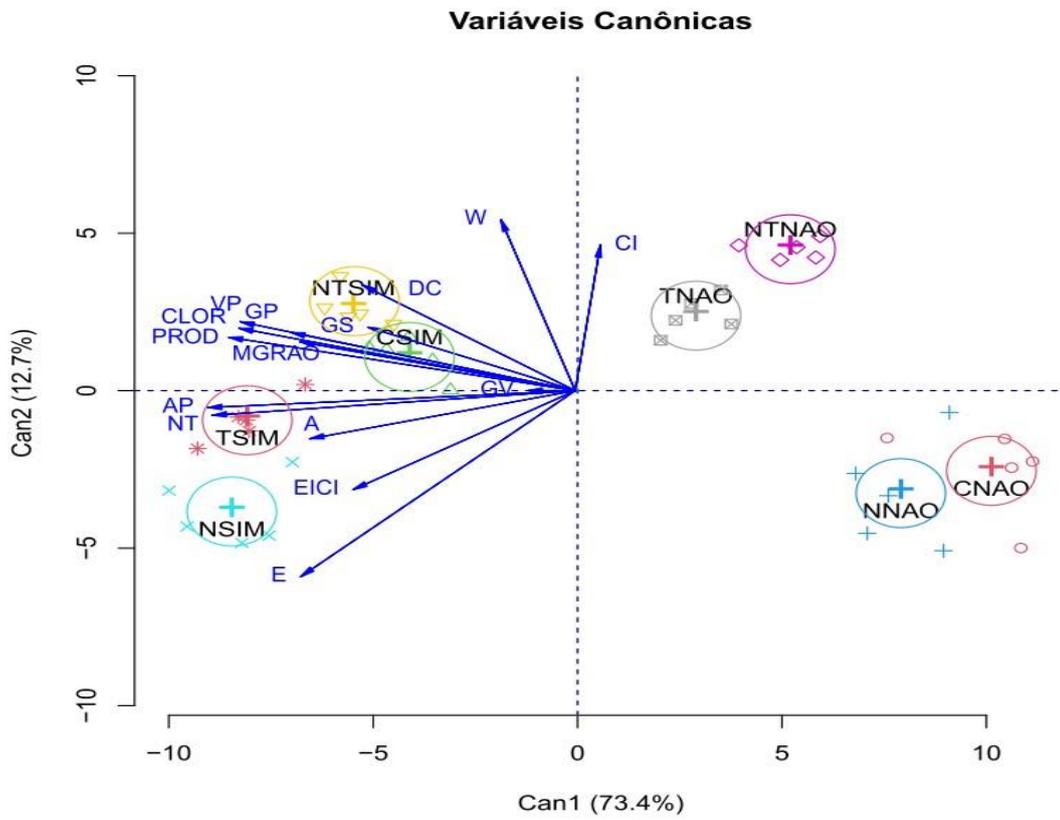


Figura 3. Análise de variáveis canônicas existentes entre as variáveis de crescimento, fotossíntese e produção da cultura da soja em resposta a aplicação de vitaminas e inoculação de sementes. Tratamentos= C (Controle); N (Niacina); T (Tiamina) e NT (Niacina+Tiamina); NÃO (sem inoculação) e SIM (com inoculação). Variáveis = clorofila (CLOR), altura de plantas (AP), número de trifólios (NT), diâmetro do colo (DC), vagens por planta (V/P), grãos por planta (G/P), grãos por vagem (G/V) e massa de 100 grãos (M100), concentração interna de CO₂ (CI), taxa de transpiração (E), taxa fotossintética líquida (A), Vapor de água (W), condutância estomática (GS) e eficiência de carboxilação (EICI).

A aplicação da tiamina conjuntamente com a inoculação proporcionou formação de plantas com maior desenvolvimento foliar e altura, níveis de clorofila, condutância estomática, taxa fotossintética, vagens por planta, grãos por planta, massa de grãos e produção, conforme nota-se pela proximidade dos vetores ao tratamento de plantas tiamina inoculada (TSIM) (Figura 3).

Resultados positivos com aplicação foliar de tiamina também foram apresentados por Al-Hayani e Al-Jumaili (2019) com o feijão mungu (*Vigna radiata* L.), aplicação de 450 mg L⁻¹ promoveu maior desenvolvimento de área foliar, produção de vagens por planta e produtividade, estes associam estes resultados pôr a tiamina desempenhar atividade em

células meristemáticas do crescimento vegetativo e cofator no ciclo de Krebs, assim pode ativar e regular o crescimento vegetal.

A aplicação conjunta, Tiamina+Niacina com inoculação, favoreceu a produção de grãos e vagens, massa de grãos produzidos, plantas com maiores espessuras de diâmetro e condutância estomática (Figura 3). Neste contexto, observa-se que a inoculação associada a prática de aplicação de vitaminas pode beneficiar a cultura da soja, nos processos fisiológicos que refletirão nos seus componentes agronômicos.

A inoculação em combinação com aplicação de niacina isolada apresentou maior efeito sobre as variáveis de altura de plantas, maior taxa de transpiração (E), taxa fotossintética líquida (A) e eficiência de carboxilação (EICI), não sendo o tratamento mais efetivo nas características de rendimento da soja (Figura 3).

Conforme exposto por todos os resultados obtidos, assim como compreendido por meio das variáveis canônicas (Figura 3), a inoculação demonstra elevada eficiência para crescimento, desenvolvimento e produção para a cultura da soja, inclusive neste levantamento em sistema de cultivo hidropônico inundado. Esse fato, relaciona-se a eficiência da atuação da simbiose promovida pelas bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (Zuffo et al., 2022), as quais foram eficientes em promover maior crescimento, adequadas trocas gasosas refletindo de modo positivo na produção (Figura 3).

O emprego da tiamina e em alguns casos a associação entre tiamina+niacina, talvez neste último os efeitos benéficos sejam promovidos pela tiamina, favoreceram o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da soja. A pulverização foliar com a vitamina pode ser recomendada como prática a ser adotada em áreas com a inoculação das sementes, pois não há indícios que o seu uso possa restringir a atuação das bactérias, sendo complementar a prática. Posto isso, sugere-se novos estudos e levantamentos sobre o uso da vitamina em diferentes formas e épocas de aplicação.

4. CONCLUSÃO

O emprego de vitaminas na cultura da soja, promovem aumento nos atributos fisiológicos de crescimento e desenvolvimento, não restringindo a ação das bactérias presente no inoculante empregado na cultura. A pulverização foliar de Tiamina em plantas inoculadas incrementam a produção, por favorecer as características agronômicas de crescimento e massa de grãos.

5. REFERÊNCIAS

- ABDELHAMID, M. A.; SADAK MERVAT, S. H., SCHMIDHALTER, U., EL-SAADY, A. M. Interactive effects of salinity stress and nicotinamide on physiological and biochemical parameters of faba bean plant. **Acta Biológica Colombiana**, Bogotá, v. 18, p. 499-510, 2013.
- AL-HAYANI, M. S. B.; AL-JUMAILI, I. A. S. Resposta do crescimento e produtividade do feijão mungo (*Vigna radiata* L.) à aplicação foliar de vitamina B1 (tiamina e boro). **Arquivos de Plantas**, v. 19, p. 4470-4476, 2019.
- BIANCHI, M.L.P., SILVA, C.R., TIRAPEGUI, J. **Vitaminas**. In: TIRAPEGUI, J. Nutrição - Fundamentos e aspectos atuais. São Paulo: Atheneu, 2000. 284p.
- BOSSOLANI, J. W., POLONI, N. M., LAZARINI, E., BETTIOL, J. V., FISCHER FILHO, J. A., NEGRISOLI, M. M. Desenvolvimento da soja RR em função de doses de glifosato e da inoculação com *Bradyrhizobium*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, p. 854-858, 2018.
- BULEGON, L. G.; GUIMARÃES, V. F.; EGEWARTH, V. A.; SANTOS, M. G.; HELING, A. L.; FERREIRA, S. D.; WENGRAT, A. P. G. S.; BATTISTUS, A. G. Crescimento e trocas gasosas no período vegetativo da soja inoculada com bactérias diazotróficas. **Nativa**, v. 4, p. 277-286, 2016.
- BUSCH, A.; MOURA SERAFIM, G.; CABREIRA CARRARO, J.; NAGAMINE, R. R. V. K.; FREITAS, M. R.; VENDRUSCOLO, E. P. Utilization of vitamins in the production of cucumber seedlings under saline stress. **Colloquium Agrariae**, v. 17, p. 83-88, 2021.
- CAMPOS, B. C.; HUNGRIA, M.; TEDESCO, V. Eficiência da fixação biológica de N₂ por estirpes de *Bradyrhizobium* na soja em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 583-592, 2001. n
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos** – v. 9, n. 10 (2022) – Brasília: Conab, 2022. 88 p.
- DAWOOD, M. G.; ABDEL-BAKY, Y. R.; EL-AWADI, M. E. S.; BAKHOUM, G. S. Melhoria da qualidade e quantidade de plantas de fava cultivadas em solo arenoso pela aplicação de nicotinamida e/ou ácido húmico. **Boletim do Centro Nacional de Pesquisa**, v. 43, p. 1-8, 2019.
- EL-BASSIOUNY, H. S. M.; BAKRY, B. A.; ATTIA, A. A. E. M.; ALLAH, M. M. A.; Physiological role of humic acid and nicotinamide on improving plant growth, yield, and mineral nutrient of wheat (*Triticum durum*) grown under newly reclaimed sandy soil. **Agricultural Sciences**, v. 5, p. 687-700, 2014.
- FAOSTAT. Food and Agriculture's Organization of the United Nations. **Crops and livestock products: Soybeans**. 2022. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>>.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista brasileira de biometria**, v. 37, p. 529- 535, 2019.

GOYER, A. **Thiamine in plants**: Aspects of its metabolism and functions. *Phytochemistry* 71, 1615–1624. 2010.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T.; CAMPO, R. **A inoculação da soja**. Londrina, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997b. 28p. (EMBRAPA-CNPSO. Circular Técnica, 17; EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 34).

KAYA, C.; ASHRAF, M.; SONMEZ, O.; TUNA, A. L.; POLAT, T.; AYDEMIR, A. Exogenous application of thiamin promotes growth and antioxidative defense system at an initial phase of development in salt-stressed plants of two maize cultivars differing in salinity tolerance. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, p.1-12, 2015.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro-RJ: Guanabara Koogan, 2013. 431p.

KHOSHROU, B.; MITRA, D.; KHOSHMANZAR, E.; MYO, E. M.; UNİYAL, N.; MAHAKUR, B. Current scenario and future prospects of plant growth-promoting rhizobacteria: an economic valuable resource for the agriculture. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, p. 3062-3092, 2020.

LIMA, A. F. D. S., DA LUZ, L. N., DOS SANTOS, M. F., DA SILVA FILHO, F. V., DE LIMA GOUVEIA, F. A., OLIVEIRA CASIMIRO, J. A. Eficiência fisiológica e desempenho do amendoim sob estresse salino e inoculado com *Bradyrhizobium*. **Water Resources and Irrigation Management-WRIM.**, v. 11, p. 22-35, 2022.

LIMA, A. F. S.; SANTOS, M. F.; OLIVEIRA, M. L.; SOUSA, G. G.; MENDES FILHO, P. F.; LUZ, L. N. Physiological responses of inoculated and uninoculated peanuts under saline stress. **Revista Ambiente & Água**, v. 16, p. 1-10, 2021.

MANTELI, C., ROSA, G. M., CARNEIRO, L. V., POSSENTI, J. C., STEFENI, A. R., SCHNEIDER, F. L. Inoculação e coinoculação de sementes no desenvolvimento e produtividade da cultura da soja. **Revista Cultivando o Saber**, v. 12, p. 1-11, 2019.

MOHAMMADI, Y.; BARADARAN FIROZABADI, M.; GHOLAMI, A.; MAKARIAN, H. Efeito da aplicação foliar de vitaminas do grupo B e melatonina nos índices de crescimento da soja, senescência foliar e componentes de rendimento. **Journal of Crop Production**, v. 12, p. 173-190, 2019

MUTHUKRISHNAN, S.; MURUGAN, I.; SELVARAJ, M. Chitosan nanoparticles loaded with thiamine stimulate growth and enhances protection against wilt disease in Chickpea. **Carbohydrate polymers**, v. 212, p. 169-177, 2019.

OLIVEIRA, N. A. C., MAGALHÃES, L. A., MATOS, M. R. T., ARAGÃO, G. F., BACHUR, T. P. R. A deficiência de tiamina e niacina como fator de risco para doenças neurológicas. **Infarma ciências farmacêuticas**, v. 13, p. 80-85, 2019.

PARAIZO, E. A., SOUZA DAVID, A. M. S., REIS SOUZA, E., CONCEIÇÃO, R. R. P. D. S., DA SILVA, C. D., APARECIDA, D., NOBRE, C. Tiamina como atenuador do estresse salino em sementes de arroz. **Agronomic Crop Journal**, v. 30, p. 123-135, 2021.

R CORE TEAM (2022). R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

RAMOS, E. B.; RAMOS, S. B.; RAMOS, S. B.; FIGUEIREDO, P. A. M.; VIANA, R. S.; VENDRUSCOLO, E. P.; LIMA, S. F. Does Exogenous Vitamins Improve the Morphophysiological Condition of Sugarcane Subjected to Water Deficit? **Sugar Tech**, v. 24, p. 1-6, 2022.

RODRIGUES, E. C. J.; LISBOA, L. A. M.; RECCO, C. R. S. B.; TAKAYUKI, F. N.; FERRARI, S. Aplicação de fitoreguladores em plantas de soja para obtenção de sementes. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 40296-40309, 2020.

RUBERT, A.; ENGEL, B.; ROHLFES, A. L. B.; MARQUARDT, L.; BACCAR, N. M. Vitaminas do complexo B: uma breve revisão. **Revista Jovens Pesquisadores**, v. 7, p. 30-45. 2017

SILVA, F. G. D., DUTRA, W. F., DUTRA, A. F., OLIVEIRA, I. M. D., FILGUEIRAS, L., & MELO, A. S. D. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 19, p. 946-952, 2015.

SILVA, M. A., NASCENTE, A. S., REZENDE, C. C., DE MELLO FRASCA, L. L., DE FILIPPI, M. C. C., LANNA, A. C., FERREIRA, E. P. B.; CRUZ, D. R. C.; LACERDA, M. C.; FERREIRA, E. A. S. Rizobactérias multifuncionais: utilização na agricultura. **Research, Society and Development**, v. 11, p. e3111426971-e3111426971, 2022.

SMIDERLE, O. J., SOUZA, A. D. G., GIANLUPPI, V., GIANLUPPI, D., COSTA, K. N. A., GOMES, H. D. S. Correlação entre componentes de produção de soja BRS Tracajá e diferentes densidades de plantas no cerrado Roraima. **Embrapa Roraima-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre - RS: Artmed, 2017. 888p.

TOFFOLO, A., TOCHETTO, T. D., RÜDELL, E. C., TONELLO, G., OLIVEIRA, V. A. Aplicação de nitrogênio e inoculação de *bradyrhizobium* sp. Na cultura da soja (*glycine max* L.) Na região norte do rio grande do sul. **Revista Ciência Agrícola**, v. 20, p. 19-24, 2022.

TORRES, J. L. R.; DE PAIVA KÉRSUL, P. A.; JÚNIOR, V. O.; SILVEIRA, B. S.; MELO, G. A.; VIEIRA, D. M. S. Inoculação e coinoculação da semente com bactérias diazotróficas e o desempenho agrônômico da soja. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 1, 2020.

VENDRUSCOLO, E. P., CAMPOS, L. F. C., RODRIGUES, A. H. A., BRANDÃO, D. C., SELEGUINI, A. Produção de mudas de *Guazuma ulmifolia* sob aplicação de tiamina. **Advances in Forestry Science**, v. 5, p. 411-415, 2018.

VENDRUSCOLO, E. P., RODRIGUES, A. H. A., MARTINS, A. P. B., CAMPOS, L. F. C., SELEGUINI, A. Tratamento de sementes com niacina ou tiamina promove o desenvolvimento e a produtividade do feijoeiro. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, p. 83-90, 2018.

VENDRUSCOLO, E. P., RODRIGUES, A. H. A., OLIVEIRA, P. R., LEITÃO, R. A., CAMPOS, L. F. C., SELEGUINI, A., LIMA, S. F. Aplicação exógena de tiamina em arroz de terras altas submetido ao déficit hídrico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 19, p. 48-53, 2020.

VENDRUSCOLO, E. P.; CAMPOS, L. F. C.; NASCIMENTO, L. M.; SELEGUINI, A. Qualidade de mudas de melão rendilhado tratadas com tiamina em pré-semeadura e suplementação nutricional. **Revista scientia agraria**, v. 19, p. 164-171, 2018.

VENDRUSCOLO, E. P.; OLIVEIRA, P. R.; SELEGUINI, A. Aplicação de niacina ou tiamina promovem incremento no desenvolvimento de mostarda. **Revista Cultura Agronômica**, v. 26, p. 433-442, 2017.

VENDRUSCOLO, E. P.; RODRIGUES, A. H.A.; OLIVEIRA, P. R.; LEITÃO, R.A.; CAMPOS, L. F.C.; SELEGUINI, A.; LIMA, S. F. Exogenous application of vitamins in upland rice. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 6, p. 1-6, 2019.

VENDRUSCOLO, E. P.; RODRIGUES, A. H. A. ; CORREIA, S. R. ; OLIVEIRA, P. R. ; CAMPOS, L. F. C. ; SELEGUINI, A.; LIMA, S. F. ; NASCIMENTO, L. M. ; PIATI, G. L. . **Clorofila e produção de *urochloa decumbens* tratada com bactérias diazotróficas e tiamina no cerrado brasileiro**. In: MATOS, R. R. S. S.; MACHADO, N. A. F. M.; CORDEIRO, K. V. (Org.). Sistemas de produção nas ciências agrárias 2. 1ed. Ponta Grossa: Atena, 2021, cap. 7, p. 70-78.

ZUFFO, A. M., RATKE, R. F., AGUILERA, J. G., DE MORAIS, K. A. D., DA SILVA, J. X., TRENTO, A. C. S. Adubação nitrogenada associada à inoculação de *Bradyrhizobium japonicum* como estratégia para amenizar os efeitos da desfolha na soja. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, p. 1-12, 2021.

ZUFFO, A. M., RATKE, R. F., AGUILERA, J. G., DOS SANTOS FILHO, F. N., YOKOTA, L. A., MORAIS, D. B. (2020). Adubação nitrogenada associada à inoculação de *Bradyrhizobium japonicum* pode aumentar a produtividade e o teor de proteínas de grãos de soja?. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, p. 1391-1407, 2020.

ZUFFO, A. M., RATKE, R. F., STEINER, F., AGUILERA, J. G. Características agronômicas de cultivares de soja com aplicação tardia de nitrogênio em suplementação à inoculação de *Bradyrhizobium* spp. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 46, 2022.