



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

JORGE JOÃO DELFIM

**ADUBAÇÃO FOLIAR COM N, NI, CO E MO E USO DE ÁCIDO
SALICÍLICO NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DOS GRÃOS DE
SOJA**

Londrina
2023

JORGE JOÃO DELFIM

**ADUBAÇÃO FOLIAR COM N, NI, CO E MO E USO DE ÁCIDO
SALICÍLICO NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DOS GRÃOS DE
SOJA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Adônis Moreira

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

D349a Delfim, Jorge João.

Adubação foliar com N, Ni, Co e Mo e uso de ácido salicílico na produtividade e qualidade do grão de soja / Jorge João Delfim. - Londrina, 2023. 133 f. : il.

Orientador: Adônis Moreira. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2023. Inclui bibliografia.

1. Adubação foliar - Tese. 2. Macronutriente, micronutrientes e elemento benéfico - Tese. 3. Ácido salicílico - Tese. 4. Soja - Tese. I. Moreira, Adônis. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 63

JORGE JOÃO DELFIM

**ADUBAÇÃO FOLIAR COM N, NI, CO E MO E USO DE ÁCIDO
SALICÍLICO NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DOS GRÃOS DE
SOJA**

Tese apresentado ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Professor Dr. Adônis Moreira
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -
EMBRAPA

Professora Dra. Carolina dos Santos Batista Bonini
Universidade Estadual de Paulista – UNESP/Dracena

Professor Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Universidade Estadual Paulista – UNESP/Ilha Solteira

Professor Dr. Thadeu Rodrigues de Melo
Fundação Chapadão do Sul

Professor Dr. Cristóvão Gomes Plácido Junior
Instituto Federal do Amazonas - IFAM

Londrina, 16 de Março de 2023.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida.

Aos meus pais Inácio João Muondo e Victória Delfim Calombe (*In memoriam*).

Ao Programa de Estudante Convênio de Pós-Graduação (PEC-PG) da CAPES pela bolsa de estudos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, por me aceitarem em sua casa de estudos.

Ao Prof. Dr. Adônis Moreira, meu orientador e amigo de todas as horas, que acompanhou desde a minha chegada ao Brasil até a presente data. E pela sua maneira aberta de orientar os seus orientados, por sua amizade, seus ensinamentos, e pelas nossas conversas informais, o meu muito obrigado por tudo.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, que contribuíram de forma direta e indireta na minha formação e pela partilha de conhecimento.

A Dra. Larissa Alexandra Cardoso Moraes (Pesquisadora da Embrapa Soja), pela amizade e contribuição durante todo o processo doutoral, em especial durante a pesquisa para a elaboração da tese, manuscritos e outros projetos que executamos juntos.

A EMBRAPA Soja, por me permitir executar a pesquisa da tese nas suas instalações, e aos seus funcionários e colaboradores.

A equipe dos campos experimentais de Fertilidade e Microbiologia do solo, na pessoa do (Ademar, Fernandes, Fabio, Edison, Sérgio e o Mauro) por me terem acolhido, pela amizade e pelo apoio técnico e acompanhamento dos experimentos de campo, em especial pela amizade.

Ao Rodrigo da Embrapa Soja pela ajuda na realização das análises de proteína e óleo nos grãos.

Ao Márcio e o João, técnicos do Laboratório de Solos da Universidade Estadual de Londrina, pela amizade e pelos ensinamentos e ajuda na realização das análises de solos e tecidos vegetais.

Ao Prof. Dr. Marcos Antônio e a Prof^a. Dra. Mariângela Hungria, por me terem permitido utilizar o laboratório para análise de nitrogênio.

As Dra. Vanessa, Dra. Paula e demais colegas e colaboradores do laboratório de biotecnologia de solos da Embrapa Solo, pelo apoio durante as análises de nitrogênio.

Aos meus irmãos (Elizeth, Manuel, Madalena, David, Paulo, Hermenegildo, Lucas, Isabel, Monica e João (*In memoriam*)).

Aos meus irmãos da vida, e amigos.

A minha noiva Natália de Paula Leandro pelo seu apoio durante este processo.

RESUMO

DELFIM, Jorge João. **Adubação foliar com N, Ni, Co e Mo e uso de ácido salicílico na produtividade e qualidade do grão de soja**. 2023. 133. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

A soja faz parte das culturas mais produzidas a nível mundial, principalmente pelo seu alto teor de óleo e proteína nos grãos. No entanto, com o incremento na produtividade, nas últimas décadas tem se observado uma redução no teor de proteína que está ligado ao nitrogênio (N), ou seja, com aquisição e maior eficiência de utilização de N pelas plantas pode-se obter aumento no teor de proteína. O objetivo deste pesquisa foi: *i*) Quantificar o efeito da aplicação foliar de N e níquel (Ni) nos componentes de rendimento e nos teores de óleo e proteína nos grãos de soja; *ii*) Avaliar se aplicação foliar de molibdênio (Mo) e cobalto (Co) no aumento da produtividade, componentes de rendimento, teores foliares de N e de proteína e óleo nos grãos de soja; *iii*) Verificar se adubação foliar com Ni incrementa a produtividade, componentes de rendimento, teores de N e proteína e óleo dos grãos em duas cultivares de soja; *iv*) Avaliar se a adubação foliar com N e N + Ni incrementa a produtividade, componentes de rendimento, teores de N e proteína e óleo dos grãos em duas cultivares de soja. *v*) Verificar se à aplicação foliar do ácido salicílico (AS) incrementa a produtividade de grãos, componentes de rendimento, acúmulo de nutrientes, e teores de óleo e proteína nos grãos da soja. O experimento (A) foi realizado em condições de casa de vegetação, com seis tratamentos [(1- controle, 2- ureia 3 - sulfato de amônio, 4 – Ni (NiCl₂), 5- sulfato de amônio + Ni, e 6- ureia + Ni)] e quatro repetições, as aplicações foliares foram feitas em estádio vegetativo V5, enquanto, os experimentos B, C, D e E foram conduzidos em condições de campo em duas safras agrícolas, em delineamento experimental em blocos completos casualizados, sendo o experimento B) com dois tratamentos (Controle e Co+Mo), duas cultivares de soja e oito repetições, os experimentos C e D com três tratamentos [(controle, 60 e 120 g ha⁻¹ de Ni (NiCl₂))] e (controle, N e N+Ni), duas cultivares de soja e oito repetições cada, e o E) com quatro tratamentos (0, 50, 100 e 200 mg ha⁻¹ de AS) e seis repetições. No experimento

A: a aplicação foliar com ureia incrementou em 46% a produção de grãos (PG), enquanto a aplicação de Ni ou combinado com ureia ou SA reduziu a PG, massa seca da parte aérea (MSPA), peso de vagens por vaso, volume de raízes e o tamanho dos grãos. Experimento B: adubação foliar de Co+Mo incrementou 9,8 e 15,4% a produção de grãos, no 1º ano na cultivar BRS 399 RR e no 2º ano, para BRS 284, respectivamente. Observou-se também incremento no teor de N foliar e na produtividade de proteína da soja. Experimento C: a pulverização com Ni nos estádios R1 e R5 proporcionaram efeito positivo na PG de soja da cultivar BRS 399 RR somente no primeiro ano, enquanto no segundo não houve efeito. Na BRS 284, independentemente dos tratamentos, não houve efeito na PG nas duas safras. Experimento D: A suplementação foliar de N (ureia), e a combinação de Ni + N nos estádios R1 e R5 na BRS 399 RR acarretou em incremento da PG na primeira safra, resultado não observado na BRS 284, apesar do aumento significativo no teor de N nas folhas. Experimento E: Aplicação de AS nos estádios reprodutivos (R1 e R5) incrementou a PG e a produtividade de proteína com efeito linear nos componentes de rendimento e também promoveu maiores teores de P, K, S e Cu nos grãos na primeira safra e redução nos teores de Ca, Fe, Mn, Zn possivelmente devido as condições ambientais durante a fase reprodutiva das plantas. Os diferentes tratamentos aplicados apresentaram efeitos positivos, nulos e negativos nas variáveis avaliadas.

Palavras-chave: *Glycine max*; óleo e proteína; macro e micronutrientes; elementos benéficos; fitohormônio.

ABSTRACT

DELFIM, Jorge João. **Foliar fertilization with N, Ni, Co and Mo and salicylic acid use in soybean yield and quality**. 2023. 133. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

Soybean is one of the most produced crops in the world, mainly for its high content of oil and protein in grains. However, with the increase in productivity, in recent decades it has been observed a reduction in protein content that is linked to nitrogen (N), that is, with acquisition and greater efficiency of N use by plants can obtain an increase in protein content. The objective of this work was: i) to quantify the effect of foliar application of N and nickel (Ni) in the yield components and the oil and protein content in the soybean grains; ii) to evaluate if the foliar application of molybdenum (Mo) and cobalt (Co) in the yield components, leaf N and protein and oil contents in soybean grains; iii) To verify whether foliar fertilization with Ni increases yield, yield components, N and protein and oil contents of the grains in two soybean cultivars; iv) To evaluate whether foliar fertilization with N and N + Ni increases productivity, yield components, N and protein and oil contents of the grains in two soybean cultivars. v) To verify if the foliar application of salicylic acid (SA) increases grain yield, yield components, nutrient accumulation, and oil and protein contents in soybeans. Experiment (A) was carried out under greenhouse conditions, with six treatments [(1- control, 2- urea 3 - ammonium sulfate, 4 - Ni, 5- ammonium sulfate + Ni, and 6- urea + Ni)] and four replications, foliar applications were made in vegetative stage V5, while the experiments B, C, D and E were conducted under field conditions in two agricultural harvests, in a randomized complete block design, being the experiment B) with two treatments (Controle and Co+Mo), two soybean cultivars and eight replications, experiments with three treatments [(control, 60 and 120 g ha⁻¹ of Ni (NiCl₂) and (control, N and N+Ni)], two soybean cultivars and eight replications each, and E) with four treatments (0, 50, 100 and 200 mg ha⁻¹ of AS) and six repetitions. In experiment A: the foliar application with urea increased by 46% the grain yield (PG), while the application of Ni or combined with urea or SA reduced the PG, shoot dry mass (MSPA), pod weight per pot, root volume and grain size. Experiment B: foliar fertilization of Co+Mo increased 9.8 and 15.4% grain yield in the 1st year in cultivar BRS 399 RR and in the 2nd year for BRS 284, respectively. There was also an increase in leaf N content

and soybean protein yield. Experiment C: spraying with Ni in stages R1 and R5 had a positive effect on soybean PG of cultivar BRS 399 RR only in the first year, while in the second year there was no effect. In BRS 284, regardless of treatments, there was no effect on PG in both harvests. Experiment D: The foliar supplementation of N (urea) and the combination of Ni + N in stages R1 and R5 in BRS 399 RR resulted in increased PG in the first harvest, result not observed in BRS 284, despite the significant increase in N content in the leaves. Experiment E: Application of SA in the reproductive stages (R1 and R5) increased PG and protein yield with linear effect on yield components and also promoted higher concentration of P, K, S and Cu in the grains in the first harvest and reduction in Ca, Fe, Mn, Zn possibly due to the weather conditions during the reproductive phase of plants. The different treatments applied presents positive, null and negative effects on the evaluated parameters.

Key-words: *Glycine max*; protein and oil content; macro and micronutrients; beneficial elements; phytohormone.

LISTA DE FIGURAS

Artigo A

- Figura 1** – Efeito da aplicação foliar de (ureia, sulfato de amônio, e níquel) na produtividade do grão de soja. 34
- Figura 2** – Efeito da aplicação foliar de N (ureia, sulfato de amônio) e Ni no teor de óleo e proteína nos grãos de soja. 36

Artigo B

- Figura 3** – Temperatura máxima, mínima e balanço hídrico climatológico decenal durante a condução do experimento (2019-2020 e 2020-2021), na Embrapa Soja - Londrina, Estado do Paraná. 45
- Figura 4** – Produtividade de duas cultivares de soja, depois da adubação foliar com Co + Mo em estádios V3 e V5. 49
- Figura 5** – Nitrogênio na folha e grãos de duas cultivares de soja depois da aplicação foliar com Co+Mo em estádios V3 e V5. 52
- Figura 6** – Teor de proteína e óleo nos grãos e produtividade de proteína de duas cultivares de soja, depois da aplicação foliar com Co+Mo em estádios V3 e V5. 53

Artigo C

- Figura 7** – Temperatura máxima, mínima e balanço hídrico climatológico decenal durante a condução do experimento (2019-2020 e 2020-2021), na Embrapa Soja - Londrina, Estado do Paraná. 60
- Figura 8** – Produtividade de duas cultivares de soja, depois da adubação foliar com Ni em estádios R1 e R5. 63
- Figura 9** – Nitrogênio na folha e grãos de duas cultivares de soja depois da aplicação foliar com Ni em estádios R1 e R5. 67
- Figura 10** – Teor de proteína e óleo nos grãos e produtividade de proteína de duas cultivares de soja, depois da aplicação foliar com Ni em estádios R1 e R5. 68

Artigo D

- Figura 11** –Temperatura máxima, mínima e balanço hídrico climatológico decendial durante a condução do experimento (2019-2020 e 2020-2021), na Embrapa Soja - Londrina, Estado do Paraná. 75
- Figura 12** –Produtividade de duas cultivares de soja, depois da adubação foliar com N, e N + Ni em estádios R1 e R5. 79
- Figura 13** –Nitrogênio na folha e grãos de duas cultivares de soja depois da aplicação foliar com N, e N + Ni em estádios R1 e R5. 82
- Figura 14** –Teor de proteína e óleo nos grãos e produtividade de proteína de duas cultivares de soja, depois da aplicação foliar com N, e N + Ni em estádios R1 e R5. 83

Artigo E

- Figura 15** –Temperatura máxima, mínima e balanço hídrico climatológico decendial durante a condução do experimento (2019-2020 e 2020-2021), na Embrapa Soja - Londrina, Estado do Paraná. 90
- Figura 16** –Efeito das doses de ácido salicílico aplicadas via foliar em R1 e R5 na produtividade da soja, nas safras 2020-2021 e 2021-2022. 93
- Figura 17** –Efeito das doses de ácido salicílico aplicadas via foliar em R1 e R5 no número de vagens e grãos por planta e massa de 100 graos de soja, nas safras 2020-2021 e 2021-2022. 94
- Figura 18** –Efeito das doses de ácido salicílico aplicadas via foliar em R1 e R5 no tamanho das sementes de soja, nas safras 2020-2021 e 2021-2022. 95
- Figura 19** –Efeito das doses de ácido salicílico aplicadas via foliar em R1 e R5 na altura e número de ramos da soja, nas safras 2020-2021 e 2021-2022. 95
- Figura 20** –Efeito das doses de ácido salicílico aplicadas via foliar em R1 e R5 no teor de N, P, K, Ca, Mg e S nos grãos de soja, nas safras 2020-2021 e 2021-2022. 96
- Figura 21** –Efeito das doses de ácido salicílico aplicadas via foliar em R1 e R5 no teor de Fe, Mn, Cu, e Zn nos grãos de soja, nas safras 2020-2021 e 2021-2022. 97

Figura 22 –Efeito das doses de ácido salicílico aplicadas via foliar em R1 e R5 no teor de proteína e óleo nos grãos e produtividade de proteína de soja, nas safras 2020-2021 e 2021-2022.

LISTA DE TABELAS

Artigo A

- Tabela 1** – Atributos químicos do solo antes da implantação do experimento 31
- Tabela 2** – Efeito da aplicação foliar de N (ureia, sulfato de amônio) e Ni na massa seca da parte aérea (MSPA), produção de grãos (PG), peso de vagem por vaso (PVV), relação MSPA/PG e índice de colheita (IC) da soja 35
- Tabela 3** – Efeito da aplicação foliar de N (ureia, sulfato de amônio) e Ni no número de vagem por vaso (NVV), número de grãos por vaso (NGV), relação grãos/vagens e no peso de 100 grãos da soja 35
- Tabela 4** – Efeito da aplicação foliar de N (ureia e sulfato de amônio) e Ni no volume de raízes (VR), relação massa seca da parte aérea (MSPA)/MSR, tamanho dos grãos (peneiras) na soja 36

Artigo B

- Tabela 5** – Atributos químicos do solo antes da implantação do experimento 46
- Tabela 6** – Número de vagens (NV), número de vagens do terço superior (NVTs), número de grão por planta (NGP), número de grão do terço superior (NGTS), e massa de 100 grãos de duas cultivares de soja, depois da adubação foliar com Co+Mo em estádios V3 e V5. 50
- Tabela 7** – Altura de planta e número de hastes de duas cultivares de soja depois da adubação foliar com Co+Mo em estádios V3 e V5. 50
- Tabela 8** – Tamanho de grãos de duas cultivares de soja depois da adubação foliar com Co+Mo em estádios V3 e V5. 51

Artigo C

- Tabela 9** – Atributos químicos do solo antes da implantação do experimento 60
- Tabela 10** – Número de vagens (NV), número de vagens do terço superior (NVTs), número de grão por planta (NGP), número de grão do terço superior (NGTS), e massa de 100 grãos de duas cultivares de soja, depois da adubação foliar com Ni em estádios R1 e R5. 64
- Tabela 11** – Altura de planta e número de ramos de duas cultivares de soja depois da adubação foliar com Ni em estádios R1 e R5. 65
- Tabela 12** – Tamanho de grãos de duas cultivares de soja depois da adubação foliar

com Ni em estádios R1 e R5.

66

Artigo D

Tabela 13 –Atributos químicos do solo antes da implantação do experimento 75

Tabela 14 – Número de vagens (NV), número de vagens do terço superior (NVTs), número de grão por planta (NGP), número de grão do terço superior (NGTS), e massa de 100 grãos de duas cultivares de soja, depois da adubação foliar com N, N + Ni em estádios R1 e R5. 80

Tabela 15 – Altura de planta e número de ramos de duas cultivares de soja depois da adubação foliar com N, e N + Ni em estádios R1 e R5. 80

Tabela 16 – Tamanho de grãos de duas cultivares de soja depois da adubação foliar com N, e N + Ni em estádios R1 e R5. 81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária
FAO	Organização para Alimentação e agricultura
FBN	Fixação Biológica de Nitrogênio
PG	Produtividade de Grãos
TPS	Tecnologias de Produção de Soja
UEL	Universidade Estadual de Londrina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	DESENVOLVIMENTO	16
2.1	A cultura da Soja no Brasil	16
2.2	Teor de Proteína e Óleo no Grão de Soja	17
2.3	Nitrogênio na Cultura da Soja	19
2.4	Molibdênio na Cultura da Soja	21
2.5	Cobalto na Cultura da Soja	22
2.6	Níquel na Cultura da Soja	24
2.7	Ácido Salicílico	26
3	ARTIGO A: APLICAÇÃO FOLIAR DE NITROGÊNIO E NÍQUEL NOS COMPONENTES DE RENDIMENTO E QUALIDADE DO GRÃO DE SOJA	28
3.1	RESUMO	28
3.2	ABSTRACT	28
3.3	INTRODUÇÃO	29
3.4	MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.4.1	Local e Caracterização do Solo	31
3.4.2	Delineamento Experimental, Adubação e Semeadura	31
3.4.3	Colheita e Análises de Laboratório	32
3.4.4	Análise Estatística	33
3.5	RESULTADOS	33
3.5.1	Produtividade de Grão	33
3.5.2	Componentes de Rendimento	34
3.5.3	Teor de Proteína e Óleo do Grão	36
3.6	DISCUSSÃO	37
3.7	CONCLUSÃO	41
4	ARTIGO B: ADUBAÇÃO FOLIAR COM MOLIBDÊNIO E COBALTO NA PRODUTIVIDADE, COMPONENTES DE PRODUÇÃO E QUALIDADE	

	DOS GRÃOS DE SOJA	42
4.1	RESUMO	42
4.2	ABSTRACT	42
4.3	INTRODUÇÃO	43
4.4	MATERIAIS E MÉTODOS	44
4.4.1	Local de Estudo e Caracterização do Solo	44
4.4.2	Delineamento Experimental, Adubação e Semeadura	46
4.4.3	Leitura SPAD, Amostragem de Folhas, Plantas e colheita	47
4.4.4	Determinação do Teor de N na Folha Diagnóstico e nos Grãos	47
4.4.5	Determinação de Óleo e Proteína nos Grãos	48
4.4.6	Análise Estatística	48
4.5	RESULTADOS	48
4.5.1	Produtividade de Grão e Componentes de Rendimento	48
4.5.2	Altura de Planta, Número de Ramos e Tamanho de Grãos	50
4.5.3	Nitrogênio na Folha e Grãos e Teor de Clorofila	51
4.5.2	Proteína, Óleo e Produtividade de Proteína no Grão	52
4.6	DISCUSSÃO	53
4.7	CONCLUSÃO	56
5	ARTIGO C: APLICAÇÃO FOLIAR COM NÍQUEL NA PRODUTIVIDADE, COMPONENTES DE PRODUÇÃO E QUALIDADE DOS GRÃOS DE SOJA	57
5.1	RESUMO	57
5.2	ABSTRACT	57
5.3	INTRODUÇÃO	58
5.4	MATERIAIS E MÉTODOS	59
5.4.1	Local de Estudo e Caracterização do Solo	59
5.4.2	Delineamento Experimental, Adubação e Semeadura	61
5.4.4	Determinação do Teor de N na Folha Diagnóstico e nos Grãos	62
5.4.5	Determinação de Óleo e Proteína nos Grãos	62
5.4.6	Análise Estatística	62
5.5	RESULTADOS	63

5.5.1	Produtividade de Grão e Componentes de Rendimento	63
5.5.2	Altura de Planta, Número de Ramos e Tamanho de Grãos.	64
5.5.3	Nitrogênio na Folha e Grãos e Teor de Clorofila	66
5.5.2	Proteína, Óleo e Produtividade de Proteína no Grão	67
5.6	DISCUSSÃO.....	69
5.7	CONCLUSÃO.....	71
6	ARTIGO D: APLICAÇÃO FOLIAR DE NITROGÊNIO E NITROGÊNIO+NÍQUEL NA PRODUTIVIDADE, COMPONENTES DE PRODUÇÃO E QUALIDADE DOS GRÃOS DE SOJA	71
6.1	RESUMO	71
6.2	ABSTRACT	72
6.3	INTRODUÇÃO.....	73
6.4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	74
6.4.1	Local de estudo e Caracterização do Solo	74
6.4.2	Delineamento Experimental, Adubação e Semeadura.....	76
6.4.3	Amostragem de Folhas, Plantas e Colheita	77
6.4.4	Determinação do Teor de N na Folha Diagnóstico e nos Grãos.....	77
6.4.5	Determinação de Óleo e Proteína nos Grãos.....	78
6.4.6	Análise Estatística.....	78
6.5	RESULTADOS	78
6.5.1	Produtividade de Grão e Componentes de Rendimento	78
6.5.2	Altura de Planta, Número de Ramos e Tamanho de Grãos.	80
6.5.3	Nitrogênio na Folha e Grãos e Teor de Clorofila	81
6.5.2	Proteína, Óleo e Produtividade de Proteína no Grão	82
6.6	DISCUSSÃO.....	83
6.7	CONCLUSÃO.....	86
7	ARTIGO E: APLICAÇÃO FOLIAR DE ÁCIDO SALICILÍCO NA PRODUTIVIDADE, COMPONENTES DE PRODUÇÃO E QUALIDADE DOS GRÃOS DE SOJA	87
7.1	RESUMO	87
7.2	ABSTRACT.....	87

7.3	INTRODUÇÃO.....	88
7.4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	89
7.4.1	Local de Estudo e Caracterização do Solo.....	89
7.4.2	Delineamento experimental, manejo agronômico, avaliações e colheita ..	91
7.4.3	Macro e Micronutrientes, Óleo e Proteína nos Grãos.....	92
7.4.4	Análise Estatística.....	92
7.5	RESULTADOS.....	92
7.5.1	Produtividade de Grão e Componentes de Rendimento.....	93
7.5.2	Macro e Micronutrientes nos Grãos.....	96
7.5.3	Proteína, Óleo e Produtividade de Proteína no Grão	98
7.6	DISCUSSÃO.....	99
7.7	CONCLUSÃO.....	103
8	CONCLUSÃO	104
	REFERÊNCIAS.....	105
	APÊNDICES	121
	APÊNDICE A – Teor de clorofila de duas cultivares de soja depois da aplicação foliar com Co+Mo em estádios V3 e V5. Valores das médias de 8 repetições e os desvios padrões das duas safras. Tratamentos com a mesma letra, em cada cultivar, não diferem significativamente pelo teste de F ($p \leq 0,05$).....	122
	APÊNDICE B – Teor de clorofila de duas cultivares de soja depois da aplicação foliar com Ni em estádios R1 e R5. Valores das médias de 8 repetições e os desvios padrões das duas safras. Tratamentos com a mesma letra, em cada cultivar, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)	122
	APÊNDICE C – Teor de clorofila de duas cultivares de soja depois da aplicação foliar com N e N + Ni em estádios V3 e V5. Valores das médias de 8 repetições e os desvios padrões das duas safras. Tratamentos com a mesma letra, em cada cultivar, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)	123

1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L) Merrill] é uma das principais culturas cultivadas no mundo, principalmente devido ao seu alto potencial produtivo, associado à sua composição química, valor nutritivo e ao importante papel no setor socioeconômico.

A soja apresenta, na média, elevados teores de proteína e óleo nos grãos em base seca. No entanto, nas últimas décadas verificou-se uma diminuição nos teores de proteína, visto que não é uma situação que afeta somente o Brasil, este problema está sendo observado em diferentes partes do mundo, visto que os programas de melhoramento estão mais focados no incremento da produtividade do que nos teores de proteína e óleo nos grãos.

O nitrogênio (N) é o nutriente absorvido em maior quantidade pela maioria das plantas, incluindo a soja, que demanda quantidades elevadas do nutriente. A alta demanda por N é suprida quase na sua totalidade pela fixação biológica de N (FBN) e estima-se que as taxas de fixação de N_2 na soja possam fornecer quase do total de N que a planta necessita, sendo normalmente o restante proveniente do N mineral do solo.

Portanto, para se maximizar tanto a produtividade quanto os teores de proteína nos grãos é necessário maximizar a aquisição e utilização de N pelas plantas, tanto pelo N-mineral e, principalmente pela FBN. Assim sendo, atenção especial deve ser dada às tecnologias que propiciam a máxima eficiência do processo de FBN como o suprimento de cobalto (Co), molibdênio (Mo) e níquel (Ni). Ademais, outros nutrientes e entre outros fatores que favoreçam a FBN e o crescimento radicular também são necessários.

O Co é um elemento benéfico para as leguminosas, pois é necessário para a FBN pelas bactérias nos nódulos radiculares e influencia a absorção de N. Já o Mo é um micronutriente que faz parte da molécula de nitrogenase, que catalisa a redução do N_2 atmosférico a NH_3 ; enquanto o Ni também tem funções importantes no metabolismo do N, devido ao seu papel estrutural e funcional na urease, a enzima que decompõe a ureia em CO_2 e NH_4^+ , e na reciclagem do H_2 nos bacteroides. A sua deficiência promove um acúmulo de compostos nitrogenados relacionados à ureia, o que resulta em toxicidade e diminuição do crescimento das plantas e ineficiência na FBN.

O ácido salicílico (AS) é um importante regulador de diversos processos fisiológicos, como a fotossíntese, sendo encontrado e distribuído amplamente nas folhas e órgãos reprodutivos. Na planta é sintetizado a partir da fenilalanina ou do cloroplasto. As funções, mais estudada do AS nas plantas está relacionada ao seu papel na ativação do sistema de resistência contra os patógenos e tolerância ao estresse hídrico. Porém, têm sido relatados efeitos do AS no metabolismo de aminoácidos, proteína, e de alguns nutrientes como N.

Conhecendo a importância destes elementos na FBN para a cultura da soja e no metabolismo do N, e a importância do ácido salicílico, a sua utilização nos programas de adubação de forma adequada pode proporcionar maior produtividade e aumento no teor de proteína e óleo no grão da soja.

O objetivo deste trabalho foi: a) Avaliar os efeitos da aplicação foliar de N e Ni nos componentes de rendimento e nos teores de óleo e proteína nos grãos de soja. b) Avaliar se aplicação foliar de Mo e Co aumenta a produtividade, componentes de rendimento, teores foliares de N e de proteína e óleo nos grãos de soja. c) verificar se a adubação foliar com Ni incrementa a produtividade, componentes de rendimento, teores de N e proteína e óleo dos grãos em duas cultivares de soja cultivadas. d) Avaliar se a adubação foliar com N e N + Ni incrementa a produtividade, componentes de rendimento, teores de N e proteína e óleo dos grãos em duas cultivares de soja cultivadas. e) Avaliar se à aplicação foliar do ácido salicílico incrementa a produtividade de grãos, componentes de rendimento, acúmulo de nutrientes, e teores de óleo e proteína nos grãos da soja.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 A CULTURA DA SOJA NO BRASIL

A soja é uma planta pertencente ao reino *Plantae*, divisão *Magnoliophyta*, classe *Magnoliopsida*, ordem *Fabales*, família *Fabaceae* (Leguminosae), subfamília *Faboideae* (*Papilionoideae*) gênero *Glycine*, espécie *Glycine max* e forma cultivada *Glycine max* (L.) Merrill. Originária do nordeste da China, na região da Manchúria (HYMOWITZ, 1970).

Estima-se que a soja tenha chegado no Brasil por volta de 1882, na Bahia. Sendo que, as primeiras cultivares trazidas dos Estados Unidos não tiveram boa aclimação, por esta razão, em 1891, novas cultivares chegaram ao Estado de São Paulo (Campinas), apresentando uma melhor resposta em comparação com as primeiras. As cultivares mais palatáveis para consumo humano chegaram com os imigrantes japoneses. Porém, para a produção de grãos a soja foi introduzida no Estado do Rio Grande do Sul em 1914 na chamada região de Santa Rosa, onde começou as primeiras sementeiras comerciais a partir de 1924 (SEDIYAMA et al., 2009; SEDIYAMA; SILVA; BORÉM, 2015).

A evolução da soja no Estado do Rio Grande do Sul nas décadas seguintes permitiu que em 1942, as estatísticas indicavam cerca de 702 hectares plantados de soja, sendo a maior parte destinada para a alimentação de suínos. Em relação a exportação, a Alemanha foi o primeiro país a importar soja brasileira em 1938 (SEDIYAMA; SILVA; BORÉM, 2015)., sendo que na década de 1950, o cultivo difundiu-se para outras regiões do Brasil (SEDIYAMA et al., 2009).

Muitos fatores contribuíram para que a soja se estabelecesse no Brasil. Entre as principais causas foi a boa aclimação dos cultivares inseridos no Sul do Brasil (EMBRAPA, 2005). Adicionalmente, o aquecimento do mercado internacional na década de 1970 influenciou o mercado interno com incentivos fiscais disponibilizados para a abertura de novas áreas de produção agrícola, assim como para a aquisição de máquinas e a construção de silos e armazéns para o estabelecimento de parque industrial de processamento de soja com a compra de máquinas agrícolas e insumos. Outro fator relevante foi organização em redes de pesquisa dos setores público e privado ocasionado pela ampliação da fronteira agrícola devido a facilidade de mecanização em função da topografia plana da região

do cerrado, introdução de tecnologias em cultivares adaptadas para o cultivo em baixas latitudes (EMBRAPA, 2005; 2020).

A soja tem grande importância econômica para o Brasil, sendo a principal cultura do agronegócio brasileiro no qual é o maior produtor do mundo. Na safra 2021-2022 a produção total foi de 122,43 milhões de toneladas, e crescimento na área semeada de soja de 4,1%, comparando com a safra passada, atingindo os 40.804,9 milhões de hectares (CONAB, 2022).

A soja é também a principal fonte de proteína vegetal para elaboração de rações animais e a uma das maiores fontes de óleo vegetal, e sendo destinada, em menor quantidade, ao consumo humano in natura e matéria prima de produtos alimentícios (USDA, 2019). Convertendo-se, no quarto grão mais produzido no mundo, perdendo apenas para o cultivo de milho (*Zea mays* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) e trigo (*Triticum aestivum* L.) (FAO, 2020).

2.2 TEORES DE PROTEÍNA E ÓLEO NO GRÃO DE SOJA

A soja é uma cultura muito utilizada principalmente por apresentar alto teor de proteína em seus grãos. Sua composição média é de cerca de 40,3% de proteína, 21,0% de óleo, 33,9% de carboidrato e 4,9% de cinzas na base seca (PERKINS, 1995; NATARAJAN, 2014).

Os teores de proteína e óleo podem influenciar o custo comercial da soja. Dentre o principal emprego econômico, tanto no Brasil como no exterior, destaca-se a produção de óleo e farelo. O farelo é rico em proteína e destinado majoritariamente na indústria de rações para os animais. Enquanto o óleo é utilizado como base pela indústria para confecção de óleo refinado, biodiesel e outros produtos (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015; ANP, 2020; BIODIESEL, 2015).

O incremento da produtividade e ampliação do cultivo da soja no Brasil ocorreram por vários fatores, tais como: mercado internacional, existência de áreas adequadas para o cultivo, clima favorável, baixo custo de produção e rusticidade, avanço tecnológico da pesquisa agrícola através do melhoramento genético, fisiologia da planta e da melhoria das práticas agrônomicas. Apesar dos progressos mencionados, os teores de óleo e de proteína dos grãos continuam constantes, sendo que o teor de proteína tem reduzido em muitos casos, visto que, pouco foram feitos de modo a alterar exigências comerciais (PÍPOLO et al., 2015).

Pípolo et al. (2015) observaram um decréscimo no teor de proteína nos grãos de soja, variando entre 31,7 e 57,9% e no de óleo na faixa de 8,0 a 25,4%, com média de 44,3 e 17,9% (base seca), respectivamente. Os mesmos autores relataram que dos 16.472 acessos do 'Banco de Germoplasma da Embrapa Soja', existe grande variabilidade das cultivares com altos teores de proteína e óleo, mas, somente um pequeno número dos acessos apresentam teores de proteína e óleo superiores à média. Todavia, apesar dessa limitação, existem maneiras no manejo da cultura de aumentar os teores de proteína, frequentemente, na faixa de 40,0% na base seca entre as cultivares (NATARAJAN, 2014).

Os teores médios de proteína e óleo no Brasil na safra 2014-2015 foram de 36,0 e 22,0% (PÍPOLO; MANDARINO, 2016). Enquanto na safra 2016-2017, apresentaram teores 37,0 e 22,4% de proteína e óleo (MANDARINO; OLIVEIRA; LEITE, 2018). Essa não é uma situação que preocupa somente o Brasil, a mesma está ocorrendo em diferentes partes do mundo, já que os programas de melhoramento visam mais o aumento da produtividade do que o teor de proteína, características que apresentam uma correlação negativa. Nos Estados Unidos (EUA) tem sido observada redução do teor de proteína em diferentes cultivares de soja lançados de 1923 a 2008 (ROWNTREE et al., 2013; WILSON et al., 2014).

No trabalho de Thakur e Hurburgh (2007), foi observado que a soja Brasileira apresentou maior concentração de proteína no grão (35,5% na base 13% de umidade) quando comparada com a soja dos Estados Unidos da América e da Argentina. Apesar do maior teor na soja brasileira, a busca por alternativas que visam o aumento da produtividade e teor de proteína nos grãos de soja é de grande interesse para a pesquisa.

A variabilidade do teor de proteína é definida essencialmente por aspectos genéticos, mas com forte dependência ambiental, manejo e nutricional, principalmente àqueles ocorridos no período de enchimento de grãos (WILCOX, 1985; BURTON, 1989; ASSEFA et al., 2019). No entanto, Rangel et al. (2004), em estudo realizado em condições edafoclimáticas distintas e com diferentes genótipos, não observaram efeito significativo do ambiente e de genótipos sobre os teores de proteína no grão de soja. Enquanto Assefa et al. (2019), observaram diferenças significativas do genótipo, ambiente, e práticas de manejo nos teores de proteína e óleo no grão de soja.

O problema para aumentar o conteúdo de proteína nas cultivares

comerciais é a relação inversa com a produtividade de grãos (BURTON, 1985; ASSEFA et al., 2019). Por essa razão, para se maximizar tanto a produtividade quanto os teores de proteína nos grãos, é necessário maximizar a aquisição de N e outros nutrientes pelos três principais mecanismos de fornecimento de N (matéria orgânica, N-mineral e FBN).

Devido suas características, atenção especial deve ser dada às estratégias que maximizam a eficiência do processo de FBN, como uso de sementes e inoculantes de boa qualidade, correção da acidez, distribuição de nutrientes no perfil do solo, utilização do sistema plantio direto (SPD) com máxima cobertura para reduzir a temperatura e manter a umidade do solo, suprimento de cobalto (Co), níquel (Ni) e molibdênio (Mo), o que favorece o crescimento radicular e a aumenta e eficiência da FBN (PIPOLO; MANDARINO, 2016; LAVRES; FRANCO; CÂMARA, 2016).

2.3 NITROGÊNIO NA CULTURA DA SOJA

O N, por ser um constituinte dos ácidos nucléicos e das proteínas, moléculas fundamentais para os processos biológicos, é normalmente, o nutriente requerido em maior quantidade pelas plantas (MARSCHNER, 2012). Estima-se que para produzir 1000 kg de grãos de soja sejam necessários 80 kg de N (HUNGRIA et al., 2007). Basicamente, as fontes de N disponíveis para a cultura da soja são: nitrato (N-NO_3^-) e amônio (N-NH_4^+), que são adquiridos principalmente através da decomposição da matéria orgânica do solo (MOS), fertilizantes nitrogenados e fixação do N_2 pela FBN, cuja bactérias fixam em compostos nitrogenados chamados ureídeos. Os ureídeos são metabolizados em aminoácidos (Aas) nos tecidos, tornando o N disponível para o crescimento e desenvolvimento das plantas (HUNGRIA et al., 2007; HUNGRIA; MENDES, 2015; EMBRAPA, 2020). O teor elevado de proteína dos grãos de soja resulta em alta demanda de N, a maioria fornecida pela FBN (HUNGRIA et al., 2006).

A maior taxa de fixação de N tende a ocorrer no final da floração e início do enchimento da vagem (HARPER, 1974; MOREIRA; MORAES, 2018; HUNGRIA; NOGUEIRA, 2019). O N assimilado entre o início do desenvolvimento da vagem (estádio R3) e o início da maturidade (estádio R7) parece ser a fonte predominante de N para o desenvolvimento das sementes (WAREMBOURG; FERNANDEZ, 1985; ZAPATA et al., 1987; TPS, 2020). O crescimento da soja com

base na FBN apresenta vantagens econômicas e contribui para reduzir a liberação, na atmosfera, de milhões de toneladas de CO₂ resultantes da produção de fertilizantes minerais (SÁ et al., 2017).

As plantas no seu metabolismo usam N-NO₃ do solo na fase inicial do desenvolvimento, e a assimilação alcança seu máximo, normalmente no florescimento pleno (estádio R2) e declina em seguida (MOREIRA; MORAES, 2018). As máximas taxas de fixação de N ocorrem no final do florescimento e durante a fase de enchimento a demanda de N é quase exclusivamente para satisfazer as necessidades de formação dos grãos (ZAPATA et al., 1987; HUNGRIA; NOGUEIRA, 2019).

Entre o desenvolvimento das vagens (estádio R3) e o início da maturação (estádio R7), grande parte do N dos grãos é remobilizado das folhas, vagens, ramos e outras partes da planta. A remobilização de N dos órgãos vegetativos começa em torno de 7 a 10 dias depois do estágio R5 e ocorre o enchimento das vagens concomitantemente com o acúmulo de N nos grãos até o começo da maturação fisiológica (WAREMBOURG; FERNANDES, 1985; ZAPATA et al., 1987; SHIBLES; SUNDBERG, 1998; HUNGRIA; NOGUEIRA, 2019).

Como citado anteriormente, o processo de FBN é a principal fonte de N para a cultura da soja. Bactérias do gênero *Bradyrhizobium* quando em contato com as raízes da soja, infectam via pelos radiculares formando os nódulos (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2019). A FBN pode, dependendo de sua eficiência e manejo do solo, fornecer quase todo o N que a soja necessita por meio de bactérias pertencentes às espécies *Bradyrhizobium japonicum* e *B. elkanii* que se associam às raízes formando estruturas específicas (nódulos), conseguindo capturar o N₂ atmosférico e transformá-lo em formas nitrogenadas utilizáveis pelas plantas (HUNGRIA et al., 2007; CIAMPITTI; SALVAGIOTTI, 2019).

Assim sendo, a soja deve ter altas taxas fotossintéticas potencial com área foliar suficiente para alcançar altas produtividades (SHIBLES et al., 1987). No entanto, mais de 50% do N das folhas estão presentes na enzima ribulose 1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (rubisco), existindo uma forte relação entre N por unidade de área foliar e fotossíntese (SINCLAIR, 2004). Dessa forma, a planta deve possuir uma grande capacidade de realizar a fotossíntese, suficiente armazenamento de N nas folhas para manter o aparato fotossintético em condições de converter radiação solar em biomassa e, finalmente, em produção de grãos com alto teor de proteína (CIAMPITTI; SALVAGIOTTI, 2019).

Existem outros fatores que influenciam o processo de FBN na soja, entre os quais a aplicação adequada dos micronutrientes e o Co que participam no processo da FBN e no metabolismo do N. Esses elementos químicos são essenciais não apenas para a interação simbiótica, mas também para a planta hospedeira e seu parceiro microbiano (MARSCHNER, 2012).

2.4 MOLIBDÊNIO NA CULTURA DA SOJA

O Mo é essencial para a FBN (HUNGRIA et al., 2007; EMBRAPA, 2020). O Mo é absorvido majoritariamente como MoO_4^{2-} , em meio com o pH igual 5 ou maior apresenta ligeira mobilidade no floema (MARSCHNER, 2012), sendo exigido principalmente no início do desenvolvimento das leguminosas, onde, cerca de 58% é absorvido nos primeiros 45 dias de desenvolvimento da soja (EMBRAPA, 2010). Dependendo do manejo adotado, a sua disponibilidade pode ser afetada pela acidez e altos teores de SO_4^{2-} no solo (MALAVOLTA, 2006). Por ser aniônico, seu comportamento difere dos demais micronutrientes essenciais ao processo de FBN, e por ser dependente do pH, solos com acidez corrigida tendem a apresentar teores adequados desse nutriente (MARSCHNER, 2012).

O Mo faz parte da molécula da nitrogenase, que catalisa a redução do N_2 atmosférico a NH_3 . A função do Mo na nitrogenase consiste em uma ferro-proteína (Fe-proteína) e MoFe-proteína (MALAVOLTA, 2006). A Fe-proteína serve de doadora de elétrons para a MoFe-proteína, em um processo dependente de hidrólise de magnésio-adenosina trifosfato (MgATP) (TEIXEIRA et al., 1998).

A adubação com Mo no tratamento de sementes e/ou foliar faz parte do sistema de produção de soja no Brasil, e o seu efeito e resposta têm sido variáveis. Em trabalhos realizados em diferentes condições edafoclimáticas não foram observados aumentos no rendimento de grãos ou de matéria seca de soja com a aplicação de Mo (MASCARENHAS et al., 1973; BELINTANI NETO; LAM-SÁNCHEZ, 1974; LAM- SÁNCHEZ; AWAD, 1976; GALRÃO, 1991; GALDINO et al., 2020). Entretanto, outros trabalhos mostraram incrementos significativos na produtividade da soja com aplicação de Mo (VITTI et al., 1984; SFREDO et al., 1997; VOSS; PÖTTKER, 2001; SANTOS; VIEIRA, 2018).

Moraes et al. (2008), avaliando o efeito da aplicação de Co e Mo em diferentes concentrações e estádios de desenvolvimento da soja, não observaram

efeito significativo no teor de proteína nos grãos. Enquanto Oliveira et al. (2017) reportaram que plantas que receberam Mo foliar apresentaram aumento do teor de proteína nos grãos e concluíram que o teor de proteína é 9% maior com a aplicação de Mo.

Gelain et al. (2011) observaram que plantas de soja tratadas com Mo via semente apresentaram melhor desempenho da FBN, o que proporcionou incremento de matéria seca da parte aérea e teor de N foliar. Além disso, houve aumento significativo na produtividade de grãos, na massa de 1.000 grãos e no teor de proteína. Enquanto Galdino et al. (2020), não observaram diferenças significativas em todas as variáveis analisadas, em função da aplicação foliar de diferentes doses de Co e Mo na cultura de soja. Fatores, como os teor dos nutrientes no solo e a matéria orgânica podem ter influenciado estes resultados.

Lantmann et al. (1989) verificaram que o efeito da aplicação de Mo foi relacionado ao pH do solo, sendo as maiores respostas obtidas em solos com os menores valores de pH. VITTI et al. (1984) e Mascarenhas et al. (1990) também observaram que a calagem melhora a absorção de Mo e, conseqüentemente, aumenta a atividade da enzima redutase de nitrato, resultando em maior teor de proteína nos grãos (LANTMANN et al., 1989; MASCARENHAS et al., 1990; SFREDO et al., 1997).

Quaggio et al. (1998) observaram que para melhorar o rendimento de soja na carência de Mo é necessário elevar a saturação por bases do solo para 70%. Contudo, se esse valor for reduzido até próximo de 50% seria necessária a aplicação de 50 g ha⁻¹ de Mo para manter a produtividade de grãos. A calagem ainda é a ação mais eficiente para o aumento da eficiência de utilização de Mo, por torná-lo mais disponível às plantas, em virtude da elevação do pH do solo, que promove liberação de íons molibdato adsorvidos na superfície dos óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al). No manejo do Mo, a aplicação via semente e/ou foliar e a utilização de sementes enriquecidas com Mo vêm sendo utilizadas pelos produtores com alguma frequência (ROSOLEM; CAIRES, 1998; CARDOSO et al., 2020; EMBRAPA, 2020).

2.5 COBALTO NA CULTURA DA SOJA

Os teores de Co no solo variam de 1 a 40 mg kg⁻¹, altos valores podem ocorrer em solos derivados de materiais ricos em minerais como os Fe-magnesianos

(CAMPO; HUNGRIA, 2002). Na litosfera, os teores de Co oscilam entre 10 e 40 mg kg⁻¹ (JACINTHO, 1975). Apenas uma fração do Co total encontra-se disponível no solo, dependendo, principalmente do material de origem, pH e teor de argila (TISDALE; NELSON; BEATON, 1985). O limite para deficiências em leguminosas ocorre na faixa de 0,02 a 0,3 mg kg⁻¹ de Co, sendo que a disponibilidade é menor em pH baixo, havendo maior solubilização e lixiviação (MALAVOLTA, 1994).

O Co é absorvido pelas raízes como Co²⁺, considerado móvel no floema. Entretanto, a aplicação via folha, pode reduzir a sua mobilidade. O Co, assim como o Mo participam da FBN por participar na síntese de cobamida e da leghemoglobina nos nódulos, assim sendo, a escassez de Co pode causar insuficiência de N nas leguminosas devido à baixa FBN (EMBRAPA, 2010).

O Co também influencia a absorção de N por via simbiótica ao fazer parte da estrutura das vitaminas B12, necessárias à síntese de leghemoglobina, que determina a atividade dos nódulos (MENGEL; KIRKBY, 2001). Para a cultura da soja no Estado do Paraná, as indicações técnicas eram para aplicação de 1,0 a 5,0 g ha⁻¹ de Co (EMBRAPA SOJA, 1996) e, atualmente, recomenda-se de 2,0 a 3,0 g ha⁻¹ de Co (EMBRAPA SOJA, 2004; 2020; PAULETTI; MOTTA, 2019) via semente ou foliar.

As principais fontes de Co são cloreto (CoCl₂), sulfato (CoSO₄) e nitrato [Co(NO₃)₂]. Os produtos comerciais geralmente apresentam Mo e Co em concentrações variáveis, quase sempre na relação 10:1 (Mo:Co). Mesmo conhecendo a importância do Co na FBN, existem dúvidas a respeito da necessidade de sua aplicação para se obter elevada produtividade de grãos de soja. Há evidências de respostas positivas da aplicação de cobalto na FBN e na produtividade da soja quando a planta está bem suprida de Mo (CAMPO; HUNGRIA, 2002).

Existem poucos trabalhos realizados visando estudar o efeito isolado do Co na cultura da soja. De forma geral, o fornecimento desse micronutriente é feito por meio de formulações contendo também Mo em sua composição. Camiran et al. (2020) avaliaram a aplicação foliar de Co e Mo na produtividade da cultura de soja e não observaram diferenças significativas. Por outro lado, Dourado Neto et al. (2012) utilizando diferentes formulações de Co e Mo aplicadas via sementes ou foliar no estádio V4, observaram incremento no número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de 1.000 grãos e produtividade de grãos, sendo que a produtividade obtida com o uso de Co e Mo foi 10% superior à das plantas controle. Lana et al. (2009) também reportaram incremento na produtividade de grãos com o

tratamento de sementes de soja com Co.

Enquanto Marcondes e Caires (2005) avaliaram a nodulação da soja, a absorção de N pelas plantas, a concentração de N nas folhas e nos grãos e o rendimento de grãos, considerando a aplicação de Mo e Co nas sementes, concluíram que o Co aplicado nas sementes não alterou a nutrição de N e foi tóxico para a soja em doses acima de $3,4 \text{ g ha}^{-1}$ com redução superior a 5% na produtividade de grãos. Portanto, outros aspectos importantes devem ser considerados para que esse elemento benéfico atue positivamente sobre essas variáveis, entre elas: teor de Co disponível no solo, pH elevado do solo e disponibilidade de P no solo. O Co é encontrado em todas as rochas da crosta terrestre e os teores variam de acordo com o material de origem, o que pode influenciar diretamente o teor deste elemento químico no solo.

2.6 NÍQUEL NA CULTURA DA SOJA

O Ni é o mais recente elemento considerado como nutriente vegetal. Estudos realizados com espécies cultivadas mostraram que ele satisfaz os critérios direto e indireto de essencialidade; 1) direto: a urease é uma metaloenzima contendo Ni como parte estrutural do seu grupo prostético (DIXON et al., 1975); 2) Indireto: Eskew et al. (1983), cultivando soja em solução nutritiva, observaram necrose nas extremidades dos folíolos devido ao acúmulo de ureia em concentrações tóxicas, consequência da menor atividade da enzima urease por deficiência de Ni.

O Ni é absorvido pelas culturas majoritariamente como cátion bivalente (Ni^{2+}), também pode ser absorvido na forma de quelatos com compostos orgânicos e metalóforos. Sua atividade é reduzida com o aumento do pH e a atividade de ligantes orgânicos e inorgânicos, como, ácidos orgânicos, hidróxidos e sulfatos. O Ni geralmente é encontrado na forma inorgânica no solo, formando complexos com óxidos de Fe e Al (UREN, 1992).

O Ni foi inserido na legislação brasileira de fertilizantes na Instrução Normativa N° 05, a qual define que os fertilizantes mistos ou complexos que contenham micronutrientes devem apresentar, no mínimo, 60% do teor total solúvel nos seguintes extratores: solução de ácido cítrico a 2% para boro (B), Co, Fe, Mo, Ni e zinco (Zn); solução de citrato neutro de amônia (CNA) + água (relação 1:1) para cobre (Cu) e manganês (Mn) (BRASIL, 2007).

A escassez de Ni pode ocorrer devido à baixa disponibilidade do solo ou ocasionada, por altos teores de Ca, Mg, Cu e Zn na solução do solo, que inibem a absorção de Ni, menor disponibilidade após o uso de calcário, que elevam o pH acima de 6,5, altas doses de adubos fosfatados ou altos teores de P no solo podem influenciar a disponibilidade de Ni no solo (MALAVOLTA; MORAES, 2007). Sintomas de deficiência de Ni são raramente visualizados nas culturas, porém, a fitotoxicidade de Ni tem sido sempre reportada. Sintomas visuais de toxicidade de Ni pode ser confundido com deficiência de outros nutrientes, tais como as cloroses causadas por Mn e Fe (PAIVA et al., 2003).

Em plantas, após a síntese da molécula de ureia ($\text{CO}[\text{NH}_2]_2$) pela amida arginina sob ação da enzima arginase, a urease decompõe a ureia em duas moléculas de NH_3 e uma de CO_2 . A deficiência de Ni dificulta a ação da urease, resultando em aumento da concentração de ureia nas plantas, o que desencadeia manchas necróticas nas folhas (ESKEW et al., 1983; WOOD et al., 2006; KUTMAN; KUTMAN; ÇAKMAK, 2014). Como consequência da deficiência de Ni, o metabolismo de ureídeos, aminoácidos e de ácidos orgânicos é afetado, visto que os ácidos oxálico e málico também podem acumular no tecido vegetal (BAI et al., 2006), causando distúrbios nutricionais (KUTMAN; KUTMAN; ÇAKMAK, 2014).

O Ni é importante no processo de FBN, pois é constituinte da enzima hidrogenase (SELLSTEDT; SMITH, 1990). No processo de FBN, a enzima nitrogenase realiza a quebra da tripla ligação da molécula do N_2 , através disso, ocorre as formações de NH_3 e hidrogênio (H_2). A formação deste gás, pela nitrogenase, indica ineficiência na FBN, além disso, altas concentrações do H_2 dificultam a atividade da nitrogenase, reduzindo a eficiência da FBN e, conseqüentemente, menor disponibilidade de N para as plantas. A enzima hidrogenase reprocessa parte do H_2 em energia, que por sua vez é realocada para a nitrogenase, ou melhor, acontece recuperação energética, tornado assim o processo da FBN mais eficiente (LÓPEZ et al., 1983; EVANS et al., 1987; KUTMAN; KUTMAN; ÇAKMAK, 2014).

Por isso, o fornecimento adequado de Ni possibilita o aumento da atividade da enzima hidrogenase nos bacterióides potencializando a nodulação, favorecendo a FBN e acarretando em melhor metabolismo do N (BERTRAND; WOLF, 1954; KLUCAS et al., 1983; URETA et al., 2005; LAVRES; FRANCO; CÂMARA, 2016). Isso pode resultar em maior absorção de N pelas plantas e, conseqüentemente, maior teor de proteína nos grãos.

Nas leguminosas como a soja, o transporte do N da FBN é realizado por ureídeos, que são compostos do metabolismo secundário das plantas, os quais catalisam no final do transporte a ureia, no qual necessita da urease para ser metabolizada. A urease desempenha um papel importante no metabolismo da ureia derivada do catabolismo de ureídeos, que é o principal órgão em que a ureia é metabolizada, para posterior remobilização para outras partes da planta, como os grãos, por essa razão os sintomas de acúmulo de ureia se manifestam quando existe deficiência de Ni.

Lavres; Franco; Câmara (2016) demonstraram, que a aplicação de pequenas doses de Ni (45 mg) via semente aumenta a produtividade de grãos em na soja. Adicionalmente, também verificaram que o Ni influencia enzimas que fazem parte do metabolismo do N, melhorando a FBN e incrementando a acumulação de N nas plantas. De acordo com Klucas et al. (1983), a FBN está diretamente relacionada ao Ni, levando-se em consideração que o elemento aumenta a atividade da hidrogenase em bacteroides isolados dos nódulos. Ureta et al. (2005) verificaram que concentrações abaixo de $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ de Ni disponível no solo pode dificultar a atividade da hidrogenase.

Ainda Klucas et al. (1983) verificaram que a inclusão de NiCl_2 na solução nutritiva purificada incrementou 10 vezes a atividade da urease nas folhas de soja cultivadas inoculadas com *Bradyrhizobium* spp., além disso, entre as plantas fertilizadas com Ni, a atividade da urease nas folhas em plantas inoculadas foi maior do que receberam nitrato como fonte de N.

2.7 ÁCIDO SALICÍLICO

Os hormônios de crescimento vegetal são compostos produzidos pelo metabolismo das plantas, entre estes encontramos o ácido salicílico (AS), que vem sendo utilizado largamente na produção de alimentos, sendo um hormônio vegetal sintetizado pela via fenilpropanóide, sendo assim, um composto de origem fenólica, com funções de regulação no metabolismo. O AS atua principalmente na regulação do sistema de defesa das plantas (FERNANDES et al., 2020). Também existem estudos que reportam o papel da AS na tolerância ao estresse hídrico (RAZMI et al., 2017), no processo fotossintético e melhora da absorção e utilização dos nutrientes (FARHANGI-ABRIZ; GHASSEMI-GOLEZAN, 2018).

Segundo Goli et al. (2012), a aplicação de AS aumentou a absorção e utilização de nutrientes pelas plantas de soja e incrementou o teor de proteína nos grãos. Esses e outros efeitos benéficos devido a utilização de AS vêm sendo amplamente observados e difundidos, como relatado por Janda et al. (2014), cujos efeitos do AS em processos fisiológicos como na fotossíntese, FBN e no metabolismo do N são variados, visto que o modo de ação do AS vai depender de vários fatores, como espécie de planta, condições ambientais e as concentrações do hormônio na planta.

Os resultados são controversos, como verificado por Deus et al. (2020), que avaliaram a aplicação de AS via foliar para mitigar o estresse por deficiência de N em plantas de arroz e não observaram diferenças significativas., Enquanto Hayat et al. (2014) verificaram que a aplicação de AS aumentou a eficiências da FBN e assimilação do N com incremento do número de nódulos em 58,0%, com aumento no conteúdo de leghemoglobina nos nódulos, atividade da enzima nitrogenase nos nódulos, teor de nitrato nas raízes, atividade da enzima nitrato redutase nas folhas, teor de N na folha, atividade da glutamina sintetase, glutamato sintase e glutamato desidrogenase nos nódulos das plantas de grão de bico (*Cicer arietinum* L.).

Os efeitos positivos do AS em diferentes culturas é bom indicativo da importância do uso do AS no crescimento e desenvolvimento das plantas. Por tanto, as respostas do AS ao estresse nutricional são baseadas, principalmente, na interação entre hormônios e vias de sinalização da carência de nutrientes pelas plantas e representa uma nova perspectiva altamente relevante para a fisiologia das plantas, visto que o AS aumenta a eficiência de utilização dos nutrientes e incrementa o crescimento e a produção das culturas (SINGH; CHATURVEDI, 2012). Ou seja, a aplicação de AS pode contribuir positivamente na produtividade e componentes de produção da soja, atuando nos processos fisiológicos e a sua ligação com o metabolismo do N e FBN.

3 ARTIGO A: APLICAÇÃO FOLIAR DE NITROGÊNIO E NÍQUEL NOS COMPONENTES DE RENDIMENTO E QUALIDADE DO GRÃO DE SOJA

3.1 RESUMO

A adubação foliar com nitrogênio (N) e níquel (Ni) no final dos estádios vegetativos pode diminuir o abortamento de flores e de vagens das plantas do terço superior das plantas e incrementar a produtividade e o teor de proteína nos grãos da soja. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação foliar de N e Ni nos componentes de rendimento e nos teores de óleo e proteína nos grãos de soja. O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação no delineamento inteiramente casualizado com seis tratamentos [controle, ureia, sulfato de amônio, cloreto de níquel (NiCl_2), sulfato de amônio+ NiCl_2 e ureia+ NiCl_2] e cinco repetições. A aplicação de ureia incrementou em 46% a produção de grãos (PG) da soja, enquanto a aplicação foliar de Ni ou combinado com ureia ou sulfato de amônio reduziu a PG, massa seca da parte aérea (MSPA), peso de vagens por vaso, volume de raízes e o tamanho dos grãos. A aplicação foliar de N e Ni não interferiu no teor de óleo e proteína nos grãos e a aplicação de 60 g ha^{-1} de Ni (132.4 g de NiCl_2) causou efeito tóxico nas plantas e influenciou negativamente a PG e a qualidade dos grãos.

Palavra-chave: *Glycine max*; componentes de rendimento; teor de proteína e óleo.

3.2 ABSTRACT

Foliar fertilization with nitrogen (N) and nickel (Ni) at the end of the vegetative stage can decrease the abortion of flowers and pods of the plants and increase the productivity and protein content of soybean. This study aimed to evaluate the effect of N and Ni foliar application on the yield components and oil and protein content in soybean. The experiment was performed at greenhouse conditions in a completely randomized design with six treatments (control [only inoculation], urea, ammonium sulfate, nickel chloride [NiCl_2], NiCl_2 + ammonium sulfate, and NiCl_2 +urea) and five replicates. Foliar application with urea increased the soybean grain yield (GY) by 46%, whereas the NiCl_2 foliar application or NiCl_2 + urea and NiCl_2 + ammonium sulfate applications decreased the GY, shoot dry weight (SDW), weight of pods per

pot, root volume, and grain size. N (ammonium sulfate and urea) and NiCl₂ foliar applications had no effect on the oil and protein contents in the grains, and application of 60 g ha⁻¹ of Ni (132.4 g of NiCl₂) caused a toxic effect on the plants and negatively influenced the GY and quality of grains.

Key words: Glycine max, yield components, protein content, oil content.

3.3 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* [L.] Merrill) é a principal fonte de proteína vegetal para a cadeia produtiva de carne e os teores nos grãos estão diretamente relacionados à alta demanda das plantas por nitrogênio (N) (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2001; FAGERIA et al., 2011). No entanto, existem relatos de diminuição do teor de proteína nos grãos com o aumento da produtividade da soja, provavelmente em decorrência do efeito de diluição do N nas plantas, assim sendo, é necessário buscar alternativas de manejo para incrementar a produtividade da cultura e ao mesmo tempo elevar o teor de proteína, principalmente devido a importância do farelo de soja como componente da alimentação animal (KAMALI et al., 2017).

O N é um nutriente para o crescimento e desenvolvimento das plantas, e faz parte de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, hormônios e aminoácidos, sendo assim um elemento requerido em maior quantidade pelas culturas (MARSCHNER, 2012). As principais fontes de N na agricultura são o N mineral proveniente de fertilizantes nitrogenados (ureia, sulfato de amônio, nitrato de amônio etc.), matéria orgânica (MO) e no caso das leguminosas, também da fixação biológica de N (FBN).

Mesmo com a utilização cada vez mais eficiente dessas fontes, a introdução de cultivares com alto potencial produtivo vem tornando as culturas cada vez mais exigentes e demandantes em nutrientes (KASCHUK et al., 2016), sendo que no caso da soja, o N tem sido suprido, quase que sua totalidade, pela inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* e *elkanii* (KASCHUK et al., 2016) e substituindo com sucesso o uso de fertilizantes nitrogenados (MENDES; HUNGRIA; VARGAS, 2003).

No entanto, a simbiose e o funcionamento da FBN dependem de muitos fatores, que podem interferir positiva ou negativamente no processo simbiótico, entre eles, a acidez do solo, disponibilidade hídrica, temperatura e suprimento de

cobalto (Co), molibdênio (Mo) e níquel (Ni) (SFREDO; OLIVEIRA, 2010; LEVY et al., 2019).

Dos nutrientes citados, o Ni é um micronutriente que atua no metabolismo do N nas plantas, ao reduzir o acúmulo de ureia nos tecidos através da sua participação na enzima urease (KUTMAN; KUTMAN; ÇAKMAK, 2014; MACEDO et al., 2016). Além disso, o Ni pode diminuir a concentração de nitrato (NO_3^-) nas plantas pelo aumento da atividade da enzima nitrato redutase (MORAES et al., 2009; MALAVOLTA, 2006; ALIBAKHSHI; KHOSHGOFTARMANESH, 2015). Na FBN, o Ni é componente essencial da enzima hidrogenase (Ni-Fe), que recicla o H_2 (GONZÁLEZ-GUERRERO et al., 2014), tornando assim o processo de FBN muito mais eficiente.

A aplicação de N antes do plantio ou nos primeiros estágios de crescimento pode suprimir o processo de fixação de N_2 (MENDES; HUNGRIA; VARGAS, 2003; MCCOY et al., 2018), comprometendo assim, o fornecimento de N e a produtividade da soja. A presença de altas quantidades de N mineral nas camadas de solo pode interferir na infecção do *Bradyrhizobium* e na nodulação, influenciando negativamente a capacidade da FBN da soja (KASCHUK et al., 2016; MCCOY et al., 2018). Uma alternativa para que a planta tenha um uso eficiente de N durante todo ciclo é fazer uma inoculação adequada e no início da senescência das plantas fazer aplicação foliar de N mineral no início dos estádios reprodutivo das plantas (MOREIRA; MORAES, 2018).

O suprimento foliar de N durante a fase vegetativa ou reprodutiva da soja pode aumentar a capacidade e a duração do período de utilização de N equilibrando a necessidade das plantas ocorrendo um equilíbrio entre fonte e dreno com o N proveniente da fixação de N_2 (BARKER; SAWYER, 2005) e pequenas quantidades mineral (MOREIRA et al., 2017). No entanto, para que esse tipo de adubação seja efetiva, é necessário seguir vários procedimentos (FAGERIA et al., 1999), para uma maior eficiência de aplicação.

A aplicação de N e Ni, ou os dois combinados via foliar pode ser uma alternativa para aumentar a produtividade de grãos da soja e o teor de proteína nos grãos. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação foliar por diferentes fontes de N (ureia e sulfato de amônio) e Ni (NiCl_2) na produtividade, componentes de rendimento, tamanho dos grãos e nos teores de óleo e proteína nos grãos de soja.

3.4 MATERIAIS E MÉTODOS

3.4.1 Local e Caracterização do Solo

O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação na Embrapa Soja, Londrina, Estado do Paraná, Brasil (23°11'39"S e 51°10'40"W). O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho Distrófico (Tabela 1) com os seguintes atributos químicos e físicos na camada de 0-20 cm de profundidade (TEIXEIRA et al., 2017).

Tabela 1. Atributos do solo antes da instalação do experimento.

Propriedades	Unidade	Teor
pH (CaCl ₂)	-	4,2
MOS	g kg ⁻¹	38,1
P (Mehlich 1)	mg kg ⁻¹	7,1
P (Mehlich 3)	mg kg ⁻¹	5,6
K ⁺	cmol _c kg ⁻¹	0,3
Ca ²⁺	cmol _c kg ⁻¹	2,8
Mg ²⁺	cmol _c kg ⁻¹	1,2
Al ³⁺	cmol _c kg ⁻¹	0,9
H+Al	cmol _c kg ⁻¹	8,3
CTC	cmol _c kg ⁻¹	12,7
S-SO ₄ ²⁻	mg kg ⁻¹	4,0
B	mg kg ⁻¹	0,3
Cu (Mehlich 1)	mg kg ⁻¹	1,4
Fe (Mehlich 1)	mg kg ⁻¹	221,6
Mn (Mehlich 1)	mg kg ⁻¹	29,2
Zn (Mehlich 1)	mg kg ⁻¹	1,1
Ni (total)	mg kg ⁻¹	8,9
Ni (disponível)	mg kg ⁻¹	0,2
P remanescente	mg kg ⁻¹	7,4
Argila	g kg ⁻¹	510,0
Areia	g kg ⁻¹	38,0
Silte	g kg ⁻¹	452,0

* MOS = matéria orgânica do solo, CTC = Capacidade de troca catiônica.

3.4.2 Delineamento Experimental, Adubação e Semeadura

O delineamento experimental foi o completamente casualizado, com seis tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos; 1) controle, 2) 5,0 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia (45% de N), 3) 5,0 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio (20% de N), 4) 60,0 g ha⁻¹ de Ni na forma de cloreto de níquel (NiCl₂,

25% de Ni), 5) 5,0 kg ha⁻¹ de N (sulfato de amônio) + 60,0 g ha⁻¹ de Ni e 6) 5,0 kg ha⁻¹ de N (ureia) + 60,0 g ha⁻¹ de Ni, aplicados via foliar no estágio de crescimento vegetativo V5 (FEHR et al. 1971) com aplicação por meio de pulverizador de CO₂ com vazão contínua de 160 L ha⁻¹.

Foram utilizados vasos com 3,0 dm³ de solo passado em peneirado em malha de 2,0 mm. Trinta dias antes do plantio da soja foi aplicado calcário dolomítico (MgO > 12% e PRNT = 98%) para elevar a saturação por bases (V) a 60% (MOREIRA et al. 2019). As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium elkanii* + *Bradyrhizobium japonicum*, a adubação foi feita com P, K, S, B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, e Zn foram feitas de acordo com Moreira; Fageria; Garcia y Garcia, (2011) para experimentos conduzidos em casa de vegetação [(150 mg kg⁻¹ de P – fosfato monoamônio, 50 mg kg⁻¹ de S - sulfato de cálcio ou fosfogesso (CaSO₄), 0.5 mg B kg⁻¹ - ácido bórico (H₃BO₃), 1.5 mg kg⁻¹ – sulfato de cobre (CuSO₄ 7H₂O). 0.1 mg Mo kg⁻¹ – molibdato de sódio (Na₂Mo₄ 2H₂O), 2.5 mg Fe kg⁻¹- sulfato de ferro (FeSO₄ 2H₂O), 0.01 mg Co kg⁻¹ – cloreto de cobalto (CoCl₂), 5.0 mg Mn kg⁻¹ – sulfato de manganês (MnSO₄ 3H₂O), e 5.0 mg Zn kg⁻¹ – sulfato de zinco (ZnSO₄ 7H₂O)].

Nos estádios de crescimento vegetativo V2 e V4 (FEHR et al., 1971) foi feita a adubação de cobertura aplicando 223 mg kg⁻¹ de sulfato de potássio (K₂SO₄), totalizando 100 mg kg⁻¹ de K e 71,4 mg kg⁻¹ de S em todo ciclo. As irrigações foram feitas diariamente para manter os vasos próximos à capacidade de campo (70% do volume total de poros). Foram semeadas seis sementes da cultivar M5947 IPRO, que tem hábito de crescimento indeterminado e depois da germinação foi realizado o desbaste, deixando duas plantas uniformes por vaso.

3.4.3 Colheita e Análises de Laboratório

Após a maturação fisiológica (estádio reprodutivo R8, Fehr et al., 1971) foram colhidas as plantas e determinou-se a massa seca da parte aérea (MSPA), volume de raízes (VR), produção de grãos (PG), peso de vagens por vaso (PVV), número de vagens por vaso (NVV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 sementes, tamanho de sementes (peneiras, >4,76 mm × 19,05 mm, 4,76 mm × 19,05 mm e <4,76 mm × 19,05 mm), calculou-se o índice de colheita e as relações MSPA/PG, NVV/NGP e da MSPA/raízes.

Os teores de óleo e proteína nos grãos foram determinados usando a

técnica de espectroscopia de infravermelho próximo (FT-NIR, Antaris II, Thermo, Thermo Scientific, Califórnia – USA), dotado de esfera de integração e leitura na faixa de 1100 e 2500 nanômetros. O teor de umidade também foi determinado para expressar os resultados dos teores percentuais de óleo e proteína em base seca (13% de umidade).

3.4.4 Análise Estatística

Os resultados dos dados foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade de variância, quando cumpriram estes pressupostos realizou-se a análise de variância (ANOVA), teste F a 5% de significância e a separação de médias pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância, com o software R.

3.5 RESULTADOS

3.5.1 Produtividade de Grãos

Adubação foliar com ureia incrementou em 46,0% a PG, enquanto a aplicação foliar somente de Ni houve redução de 35,6% quando comparado com o controle (Figura 1). Também não foi verificada uma interação do N e Ni, visto que quando aplicados simultaneamente, o efeito negativo do Ni se manteve e os tratamentos com Ni + sulfato de amônio e Ni + ureia apresentaram redução na PG em 45,0 e 15,1%, respectivamente (Figura 1).

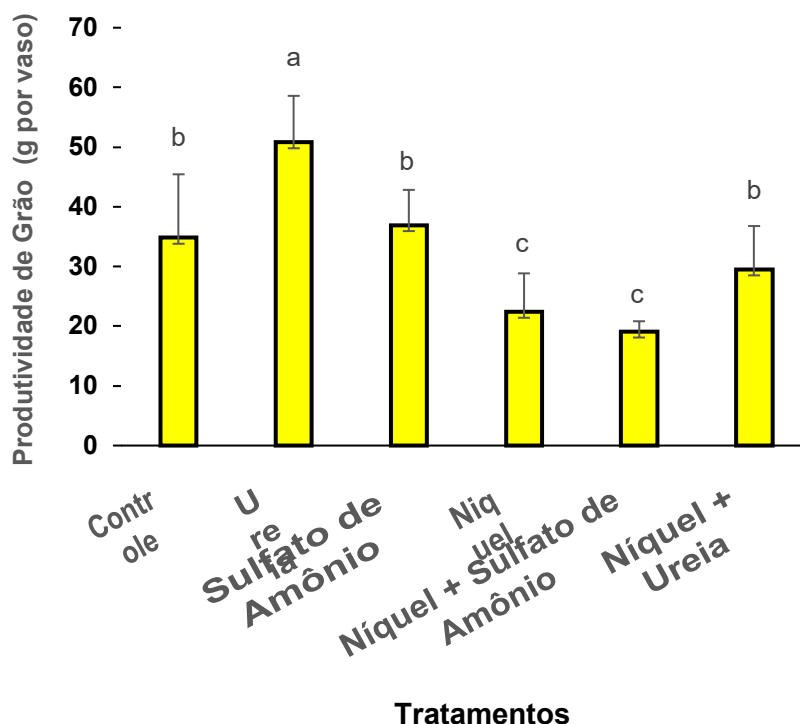


Figura 1 – Efeito da aplicação foliar de (ureia, sulfato de amônio, e níquel) na produtividade do grão de soja. Desvio padrão de cinco repetições. Colunas com letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Snott e Knott para $p \leq 0,05$.

3.5.2 Componentes de Rendimento

Em relação ao PVV, os tratamentos sulfato de amônio, ureia e o controle foram semelhantes e superiores ao Ni + sulfato de amônio e Ni + ureia (Tabela 2). A MSPA teve resultados semelhantes aos da PG, ou seja, a aplicação foliar de Ni ou Ni associado com sulfato de amônio ou ureia reduziram significativamente a MSPA das plantas de soja. O PVV reduziu significativamente nostratamentos com a presença de Ni, enquanto a relação de MSPA/PG diminuiu no tratamento com aplicação somente de sulfato de amônio, por outro lado, o índice de colheita (IC) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2 - Efeito da aplicação foliar de N (ureia, sulfato de amônio) e Ni na massa seca da parte aérea (MSPA), produção de grãos (PG), peso de vagem de vaso (PVV), relação MSPA/PG e índice de colheita (IC) da soja.

Tratamentos	MSPA	PVV	MSPA/PG	IC
	(g por vaso)	(g por vaso)	-	-
Controle	75,0 b	55,9 b	2,2 a	0,6 a
Ureia	89,5 a	68,5 a	1,8 a	0,7 a
Sulfato de amônio	62,0 b	48,2 b	1,7 a	0,8 a
Níquel	45,7 c	30,0 c	2,0 a	0,8 a
Ni + Sulfato de amônio	41,3 c	26,4 c	2,2 a	0,8 a
Ni + Ureia	53,7 c	39,5 c	1,8 a	0,8 a
Média	61,2	44,8	2,0	0,8
CV (%)	16,30	11,36	14,17	2,7

Médias com letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Snott e Knott para $p \leq 0,05$. Ni = níquel.

O NVV reduziu significativamente com aplicação de Ni+sulfato de amônio, enquanto nos outros tratamentos não houve diferenças significativas, o NGV reduziu com a utilização de Ni e Ni+ sulfato de amônio, a mesma redução ocorreu com o PVV, independentemente do tratamento com aplicação de Ni (Tabela 3). A massa de 100 grãos e a relação NVV/NGP não foram influenciados pelos tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3 - Efeito da aplicação foliar de N (ureia, sulfato de amônio) e Ni no número de vagem por vaso (NVV), número de grãos por vaso (NGV), relação grãos/vagens ena massa de 100 grãos da soja.

Tratamentos	NVV	NGV	Grãos/Vagens	Massa 100 grãos
	(n)	(n)	-	(g)
Controle	81,6 b	182,8 b	2,3 a	17,1 a
Ureia	117,8 a	270,0 a	2,3 a	17,6 a
Sulfato de amônio	98,4 a	250,0 a	2,6 a	15,3 a
Níquel	74,0 b	150,0 b	2,1 a	15,0 a
Ni+Sulfato de amônio	62,0 b	139,0 b	2,3 a	14,0 a
Ni + Ureia	84,4 b	186,4 b	2,2 a	15,9 a
Média	83,4	196,4	2,3	15,8
CV %	17,33	15,17	13,18	11,44

Médias com letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott e Knott para $p \leq 0,05$. Ni= níquel.

A aplicação de Ni com ou sem N reduziu significativamente o VR, e o tamanho de grãos que ficaram retidos na peneira $>4,76 \text{ mm} \times 19,05 \text{ mm}$ e incrementou quantidades de grãos retidos nas peneiras de $4,76 \text{ mm} \times 19,05 \text{ mm}$ e

<4,76 mm × 19,05 mm (Tabela 4).

Tabela 4 - Efeito da aplicação foliar de N (ureia e sulfato de amônio) e Ni no volume de raízes (VR), relação massa seca da parte aérea (MSPA)/MSR, tamanho dos grãos (peneiras) na soja.

Tratamentos	VR (cm ³)	MSPA/VR	Peneiras (mm)		
			>4,76×19,05 (mm)	4,76×19,05 (mm)	<4,76×19,05 (mm)
Controle	41,0 a	1,8 a	90,8 a	8,6 c	0,5 c
Ureia	40,0 a	2,3 a	95,1 a	4,4 c	0,5 c
Sulfato de amônio	44,2 a	1,5 a	84,0 a	15,0 c	1,0 c
Níquel	24,0 b	2,1 a	49,3 c	42,5 a	8,2 a
Ni + Sulfato de amônio	21,0 b	2,1 a	38,7 c	49,1 a	12,2 a
Ni + Ureia	30,0 b	1,8 a	61,4 b	33,5 b	5,0 b
Média	33,4	1,9	69,9	25,5	4,6
CV %	23,35	18,18	17,34	19,15	21,41

Médias com letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott e Knott para $p \leq 0,05$. Ni = níquel.

3.5.3 Teores de Proteína e Óleo no Grão

Os teores de óleo e proteína nos grãos não foram influenciados pela aplicação foliar de ureia, Ni, Sulfato de amônio, Ni + Ureia e Ni + Sulfato de amônio (Figura 2).

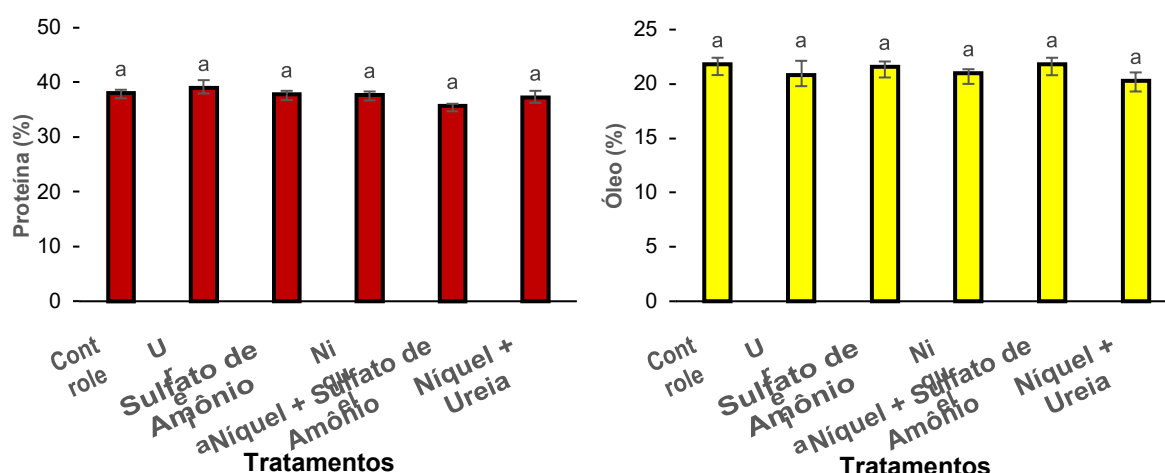


Figura 2 - Efeito da aplicação foliar de N (ureia, sulfato de amônio) e Ni no teor de óleo e proteína nos grãos de soja. Desvio padrão de cinco repetições. Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Snott e Knott para $p \leq 0,05$. Ni = níquel.

3.6 DISCUSSÃO

Corroborando com Moreira et al. (2017), a adubação foliar com N mostrou ser uma alternativa para o fornecimento do nutriente para as plantas no final dos estádios vegetativos, permitindo também a correção de possíveis deficiências nutricionais, como verificado com a suplementação foliar de N com ureia e sulfato de amônio no estágio vegetativo V5 da soja (Figura 1 e Tabelas 2, 3 e 4).

O incremento da PG de soja com aplicação foliar de N na forma de ureia corrobora os resultados de Moreira et al. (2017) obtidos com cinco fontes de N e demonstraram efeito positivo da aplicação foliar de 5,0 kg de N ha⁻¹ nos estádios de crescimento da planta. Esse efeito pode ser explicado pela importância em suprir com N o final do ciclo da cultura para que não ocorra o abortamento das flores e vagens do terço superior das plantas (MOREIRA; MORAES, 2018). Visto que é necessário manter as funções metabólicas que o N desempenha na planta, ou seja, a maior translocação de N nos estádios finais pode ter ocorrido em resposta da aplicação do nutriente e concorda com os resultados reportados por Kutman; Kutman; Cakmak (2014) e Barcelos et al. (2017), cuja aplicação foliar de ureia aumentou significativamente os teores de clorofila da planta e resultou em maior produtividade de grãos.

A cultura da soja demanda elevadas quantidades de N para o seu crescimento e desenvolvimento (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2001), a aplicação foliar de ureia pode ser uma alternativa para suprir essa demanda do elemento quando necessário, mesmo sabendo que a FBN pode suprir quase que a totalidade de N da soja (KASCHUK et al., 2016). No entanto para altas produtividades (> 4,2 Mg ha⁻¹), a adubação foliar com N ou com aminoácidos pode ser uma ferramenta adequada e interessante para suprir as exigências nutricionais de final de ciclo da cultura (MOREIRA; MORAES, 2018).

As aplicações foliares tiveram efeitos na produção de MSPA, VR e demais variáveis analisadas, no entanto, não houve diferença da aplicação de sulfato de amônio com o controle (Tabelas 2, 3 e 4), o que está de acordo com os resultados de Prochnow et al. (2017) que não observaram respostas significativas na produtividade e nos componentes de rendimento da cultura da soja com aplicação foliar de N (sulfato de amônio) nos estádios R4 e R5 e concluíram que nas condições edafoclimáticas estudadas a FBN foi capaz de suprir as necessidades de N para as

plantas. No caso da ureia, o efeito positivo também foi descrito por Kutman; Kutman; Cakmak (2014), que observaram incrementos significativo na produção de matéria seca aérea e radicular com aplicação foliar de ureia (2,0 % w/v) nas plantas de soja.

Como muitos fatores estão envolvidos na eficiência da adubação foliar (FAGERIA et al., 2009), existem resultados conflitantes, como os de Buratto et al. (2018) que não observaram efeito positivo da aplicação foliar de N (ureia), na massa de grãos, PG, NVP e NGV e MSPA da soja. Ou seja, a resposta da aplicação foliar de N na soja tem sido variável, e os efeitos positivos ou negativos dependem de diversos fatores, incluindo o manejo da cultura, teor de matéria orgânica do solo (MOS) e presença da FBN em suprir grande parte das necessidades de N para as plantas. O melhor efeito observado com a aplicação de N na forma de ureia em comparação com sulfato de amônio pode ser devido a alta solubilidade e a rápida absorção da ureia pela folhagem das plantas (TRIVELIN et al., 1988).

As menores PG, NVV, NGV, PVV e MSPA nos tratamentos com a aplicação foliar de Ni podem ser atribuídas à toxidez causada pela maior sensibilidade da soja, visto que as plantas que receberam este tratamento apresentaram sintomas de amarelecimento (clorose) e manchas necróticas nas folhas das plantas. E isso pode ter sido provocado por distúrbios fisiológicos, como redução da capacidade fotossintética das plantas. Alovisi et al. (2011) também não observaram incremento na PG com aplicação foliar de Ni na soja, e a dose acima de 44,0 g ha⁻¹ de Ni nas plantas cultivadas em Argissolo e 88,0 g ha⁻¹ de Ni em Latossolo pode ter ocasionado queda da produtividade, apesar de não terem observados sintomas visuais de toxicidade. Barcelos et al. (2017) reportaram que aplicação de 60 g ha⁻¹ de Ni via foliar não teve efeito na PG, número de vagens por planta (NVP) e NGV da soja. No entanto, Carlim et al. (2019) relataram incremento na produtividade da soja com a aplicação foliar de 23,2 g ha⁻¹ de Ni no estágio vegetativo V3. Esse incremento na PG com aplicação de baixas quantidades de Ni demonstra a necessidade de mais estudos para definir a dose foliar adequada de Ni para a cultura da soja.

Em relação aos componentes de produção, Levy et al. (2019) reportaram efeitos negativos na produção de MSPA nas plantas de soja suplementadas com Ni. Enquanto Rodak (2014) não observou diferenças na produção de MSPA, N total, PG e NVP. No presente estudo, como relatado anteriormente, a aplicação foliar de 60 g ha⁻¹ de Ni ou associado com as duas de fontes de N (ureia e sulfato de amônio), teve efeito negativo sobre os componentes de rendimento

(Tabelas 2 e 3), incluído o tamanho dos grãos (Tabela 4), o que leva a inferir que a toxicidade causada pelo Ni acarreta grãos menores e deformados (Tabela 4). Esses efeitos podem estar ligados ao estresse causado pelo sintoma visual de toxidez de Ni nas plantas, e isso, pode influenciar o aparato fotossintético e outros importantes processos fisiológicos, devido ao amarelecimento (clorose), necroses e manchas nos tecidos foliares verificados no presente estudo. Rodak (2014) também notou que altas doses acarretam sintomas de toxidez de Ni, como menor desenvolvimento e enrugamento nos grãos de soja. Cabe destacar que além da adubação foliar, a resposta da soja a aplicação de Ni também pode ser influenciada pelo teor de Ni presente na semente e disponível no solo (RODAK 2014; KUTMAN; KUTMAN; CAKMAK 2014; LEVY et al., 2019).

A PG também não foi influenciada pela aplicação de Ni, estes resultados estão de acordo com resultados obtidos por Alovisei et al. (2011), Kutman; Kutman; Cakmak (2014), Rodak (2014), Lavres; Franco; Câmara (2016), Levy et al. (2019), que não encontraram diferenças significativas com as aplicações de Ni via foliar, na semente ou no solo na produtividade da soja. A interação positiva da PG vs VR ($\hat{y} = 14,326 + 0,607x$, $r = 0,68$, $p \leq 0,05$) demonstra a importância do sistema radicular no incremento da produtividade das culturas (FAGERIA; MOREIRA 2011).

Os teores de óleo e proteína nos grãos também não propiciaram efeitos positivos com a aplicação de Ni, N e N+Ni, o mesmo foi observado no teor de óleo nos grãos (Figura 2), O incremento na PG com aplicação foliar de N pode ser atribuído a boa eficiência da FBN suprindo grande parte da demanda de N para as plantas, com posterior translocação de N dos tecidos para os grãos, além disso, a cultivar M5947 IPRO é de ciclo indeterminado com grãos formados em diferentes estádios da planta, como foi avaliada a PG na planta inteira pode ter diluído o efeito da aplicação foliar do nutriente.

Mesmo com esta hipótese apresentada sobre a ausência de efeito dos tratamentos, os resultados são semelhantes aos reportados por Buratto et al. (2018), que não observaram diferenças significativas no teor de proteína nos grãos com aplicação foliar de 30 kg ha⁻¹ de ureia nos estádios R1, R3, R5.1 e R5.3 da soja e por Marcon et al. (2017) também não verificaram efeitos positivos no teor de proteína com a aplicação de N via foliar nos estádios reprodutivos R1 e R3.

Apesar de o Ni ter papel importante no metabolismo da ureia e de aminoácidos (MALAVOLTA, 2006; KUTMAN; KUTMAN; CAKMAK 2014), a aplicação

de Ni no presente estudo não teve efeito positivo nos teores de proteína e óleo nos grãos, isso deve-se principalmente ao efeito tóxico verificado pela aplicação de Ni nas plantas que esteve diretamente relacionada a dose de Ni aplicada (ALOVISI et al. 2011; RODAK 2014; LEVY et al., 2019).

Carlim et al. (2019) observaram aumento no teor de N e proteína nos grãos da soja com aplicação foliar de 23,2 g ha⁻¹ de Ni. Enquanto Lopes et al. (2014) verificaram incrementos linear nos teores de N e proteína nas sementes do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) com a aplicação foliar de até 60 g ha⁻¹ de Ni, e atribuíram o aumento do teor a maior atividade da enzima uréase, proporcionada pela aplicação de Ni. Ademais, o Ni faz parte do complexo enzimático da hidrogenase (MARSCHNER, 2012), assim a suplementação adequada deste elemento aumenta a eficiência da FBN em leguminosas, como a soja (KLUCAS et al. 1983), o que o pode resultar em maior acúmulo de N nas plantas e no teor de proteína nos grãos.

Lavres; Franco; Câmara (2016) constataram efeitos positivos no teor de N da parte aérea e incrementos de acúmulo de N nos grãos de soja de 35% com o tratamento de 45 mg kg⁻¹ de Ni via semente e 16% com o aumento das doses de Ni de 45 para 130 mg kg⁻¹, enquanto as doses mais altas resultaram em redução de 5% do N total acumulado nos grãos comparado com o controle. Por outro lado, Barcelos et al. (2017) reportaram incremento linear na concentração de N nas folhas de soja em resposta da aplicação de Ni via foliar.

Os efeitos positivos e negativos observados com a aplicação de Ni nas plantas tem sido demonstrado em diferentes trabalhos (RODAK 2014; LAVRES; FRANCO; CÂMARA, 2016; BARCELOS et al., 2017), e de modo geral o intervalo entre a deficiência e a toxicidade pode ser pequena dependendo da cultura, do nutriente e de outros aspectos já mencionados e discutidos anteriormente, outros detalhes como; o estágio de desenvolvimento, condições de cultivo, concentração e o tempo de exposição, que podem interferir no seu efeito na planta. Por outro lado, doses menores de Ni podem melhorar a FBN e aumentar a assimilação de N na planta, e conseqüentemente, resultar em aumentos de produção e proteína no grão. Ademais, os efeitos do Ni podem variar entre as cultivares de soja e nas propriedades específicas do fenótipo (SIQUEIRA FREITAS et al., 2018), e a aplicação foliar conjunta de Ni e N pode diminuir e prejudicar a absorção de N (BRUNO et al., 2019).

3.7 CONCLUSÃO

A aplicação foliar com $5,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de ureia no estágio V5 incrementou 46,0% a produtividade da soja, enquanto, a aplicação de 60 g ha^{-1} de Ni associado ou não com as fontes de N (ureia e sulfato de amônio) teve efeito tóxico para o crescimento e desenvolvimento das plantas, causando amarelecimento (necrose) e manchas necróticas nos bordos das folhas. A presença do Ni também reduziu 35,5% a produtividade de grãos, com efeito também negativo sobre os componentes de rendimento e tamanho dos grãos, com predominância de grãos com menor diâmetro e deformados. A aplicação isolada de Ni, ureia, sulfato de amônio e as Ni + ureia e Ni + sulfato de amônio não influenciaram os teores de proteína e óleo nos grãos de soja.

4 ARTIGO B: ADUBAÇÃO FOLIAR COM MOLIBDÊNIO E COBALTO NA PRODUTIVIDADE, COMPONENTES DE PRODUÇÃO E QUALIDADE DOS GRÃOS DE SOJA

4.1 RESUMO

Os altos teores de proteína nos grãos de soja exigem a maximização não apenas da capacidade de absorção de N, mas também do processo de fixação biológica do N (FBN). O objetivo deste trabalho foi avaliar se aplicação foliar de molibdênio (Mo) e cobalto (Co) aumenta a produtividade, componentes de rendimento, teores foliares de N e de proteína e óleo nos grãos de soja. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial (2×2×2) com dois tratamentos e oito repetições. Aplicação foliar de Co+Mo foram realizados no estágio vegetativo V3 e V5. A adubação foliar com Co+Mo incrementaram 9,8 e 15,4% a produtividade de grãos, respectivamente na cultivar BRS 399 RR no primeiro ano (2019-2020) e na BRS 284 no segundo ano (2020-2021). Os teores de N nas folhas, produtividade de proteína e o teor de óleo também foram influenciados pela aplicação de Co+Mo na BRS 399 RR no primeiro, enquanto, para a BRS 284 somente o teor de N nas folhas houve incremento no primeiro ano e a produtividade de proteína no segundo ano de cultivo. Enquanto o teor de proteína e N nos grãos não foram influenciados significativamente pela aplicação de Co+Mo quando comparado com o tratamento controle, nas duas cultivares e safras. Adubação foliar de Co+Mo nos estádios V3 e V5, teve efeito positivo e nulo na produtividade de grãos, produtividade de proteína e teor de N foliar, dependendo das condições de tempo de cada safra e cultivar de soja utilizada.

Palavra-chave: *Glycine max*, micronutriente, microelemento, nitrogênio, proteína, óleo.

4.2 ABSTRACT

The high protein content in soybeans requires the maximization not only of the N absorption capacity but also of the biological N fixation process (BNF). The objective of this study was to evaluate whether leaf application of molybdenum

(Mo) and cobalt (Co) increases productivity, yield components, leaf N and protein and oil contents in soybeans. The experimental design was randomized blocks in a factorial scheme (2x2x2) with two treatments and eight replications. Foliar application of Co+Mo was performed in the vegetative stage V3 and V5. Foliar fertilization with Co+Mo increased grain yield by 9.8 and 15.4%, respectively in the cultivar BRS 399 RR in the first year (2019-2020) and in BRS 284 in the second year (2020-2021). The contents of N in the leaves, protein productivity and oil content were also influenced by the application of Co+Mo in BRS 399 RR in the first one, for BRS 284 only the N content in the leaves increased in the first year and the protein yield in the second year of cultivation. The protein and N content in the grains were not significantly influenced by the application of Co+Mo when compared to the control treatment, in both cultivars and season. Leaf fertilization of Co+Mo in stages V3 and V5, had a positive and null effect on grain yield, protein yield and leaf N concentration, depending on the weather conditions of each crop season and soybean cultivar used.

Key words: *Glycine max*, micronutrient, microelement, nitrogen, protein, oil.

4.3 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a principal fonte de proteína vegetal, e está entre as leguminosas mais produzidas no mundo, atualmente o Brasil é o maior produtor de soja a nível mundial (USDA, 2022), a soja brasileira é produzida majoritariamente sem adição de N, devido ao sucesso da tecnologia de fixação biológica de nitrogênio (FBN), o que gera uma economia de cerca de 15 bilhões de dólares (HUNGRIA; MENDES, 2015), que seriam utilizados para compra de fertilizantes nitrogenados, para suprir a demanda de produção da soja. Sendo, a soja uma planta exigente em N, e a FBN é a principal fonte de N para esta cultura, e entre os fatores que potencializam a FBN está a nutrição adequada de molibdênio (Mo) e cobalto (Co) (TPS, 2020). Em decorrência das funções metabólicas do Co e Mo na planta para a FBN e o uso eficiente de N na cultura da soja.

Mo é um micronutriente para o adequado crescimento e desenvolvimento das plantas, enquanto o Co é considerado como elemento benéfico para algumas culturas como as leguminosas, por ser essencial para o processo de FBN (RENGEL; CAKMAK; WHITE, 2022). Entre os fatores que favorecem a

maximização do processo de FBN está a suplementação adequada de Mo e Co (SFREDO; OLIVEIRA, 2010). Esses elementos atuam como componentes de enzimas (MENGEL; KIRKBY, 2001; TAIZ et al., 2015), visto que o Mo está presente na enzima nitrogenase, o Co na síntese de cobalamina e leghemoglobina nos nódulos, e torna a FBN mais eficiente (URETA et al., 2005; RENGEL; CAKMAK; WHITE, 2022).

A aplicação de Mo e Co na soja para o aumento da eficiência da FBN tem sido amplamente utilizada via solo, semente ou foliar (SFREDO; OLIVEIRA, 2010, CARDOSO et al., 2021). Por outro lado, a disponibilidade desses elementos no solo é fortemente dependente do pH, no caso do Mo a sua disponibilidade na solução do solo aumenta com o aumento do pH, sendo que o inverso ocorre com o Co, tornando o manejo desses elementos difícil, principalmente em regiões tropicais como o Brasil onde cerca de 58% dos solos são ácidos (EMBRAPA, 2011), principalmente quando se faz aplicação via solo ou semente, por esta razão é recomendável a suplementação via foliar, com destaque para a cultura da soja, onde estes elementos podem ser tóxicos para o *Bradyrhizobium* quando aplicados em conjunto via tratamento de semente (TSP, 2020). Por outro lado, a disponibilidade desses elementos no solo não é avaliada, tanto para as análises química de solo como na planta, sendo somente utilizada as recomendações técnicas de 2 a 3 g ha⁻¹ para o Co e 12 a 25 g ha⁻¹ de Mo em cada ciclo de cultivo da soja (SFREDO; OLIVEIRA 2010; TSP, 2020).

O objetivo deste trabalho foi avaliar se a adubação foliar com Mo+Co incrementa a produtividade, componentes de rendimento, teores de N e proteína e óleo dos grãos em duas cultivares de soja (BRS 284 e BRS 399 RR) cultivadas em sistema plantio direto (SPD).

4.4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.4.1 Local de Estudo e Caracterização do Solo

O experimento foi realizado em condições de campo sem irrigação sob o SPD consolidado nas safras de 2019-2020 e 2020-2021 na Embrapa Soja, Londrina, Estado do Paraná, localizado nas coordenadas 23°1139' LS e 51°1040' LW e 560 m de altitude. O clima da região é descrito como clima subtropical úmido (Cfa), com temperatura do ar média do mês mais frio inferior a 18°C e temperatura do ar média no mês mais quente acima de 22 °C. As temperaturas máximas e mínimas

mensais (Figuras 3A e 3B), e os balanços hídricos no período de condução do experimento (2019-2020 e 2020-2021) foi feito conforme metodologia descrita por Thornthwaite; Mather (1955), considerando a capacidade de água disponível (CAD) de 75 mm (Figuras 3C e 3D). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico (LVE), com os seguintes atributos químicos antes da aplicação dos tratamentos (Tabela 5).

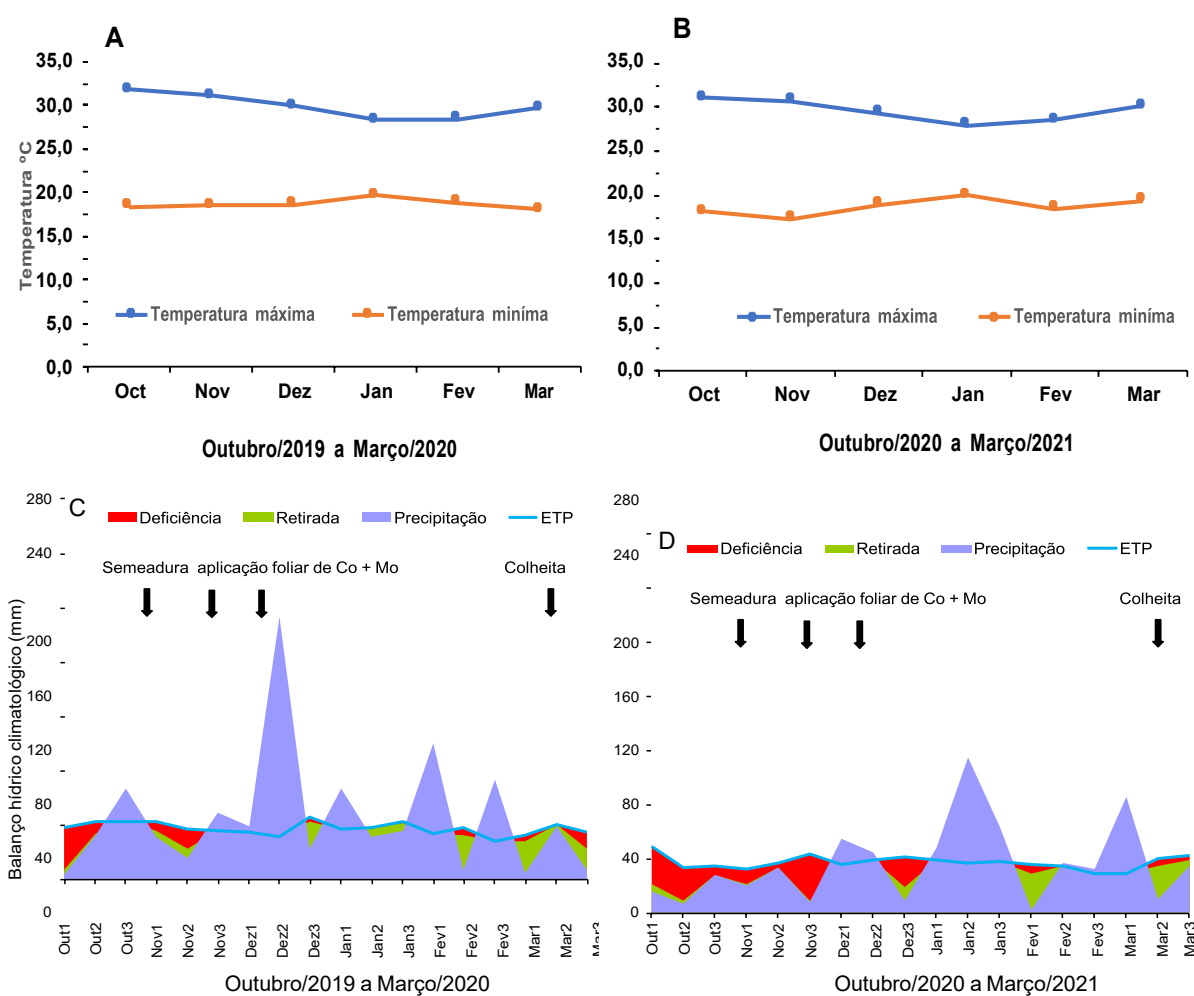


Figura 3- Médias de Temperatura máxima e mínima, e balanço hídrico climatológico decenal durante a condução do experimento (2019-2020 e 2020-2021), na Embrapa Soja - Londrina, Estado do Paraná.

Tabela 5- Atributos químicos do solo antes da implantação do experimento.

Propriedades	Unidades	Profundidade		
		cm		
		0 -10	11-20	21-40
pH CaCl ₂	-	5,1	4,9	4,8
*COT	g dm ³	17,9	14,4	10,0
P-Mehlich	mg dm ³	26,7	13,6	5,9
*P _{-remanescente}	mg L ⁻¹	14,2	11,2	7,62
Al ³⁺	cmol _c dm ³	0,0	0,1	0,1
Ca ²⁺	cmol _c dm ³	3,7	3,4	3,29
Mg ²⁺	cmol _c dm ³	1,8	1,7	1,5
K ⁺	cmol _c dm ³	0,9	0,6	0,4
Soma de base	cmol _c dm ³	6,4	5,7	5,2
CTC	cmol _c dm ³	11,4	11,3	10,0
V	%	56,3	50,8	52,0
S-SO ₄ ²⁻	mg dm ³	11,5	19,5	47,9
B	mg dm ³	0,3	0,2	0,2
Cu	mg dm ³	20,3	20,3	21,5
Fe	mg dm ³	40,4	37,3	53,4
Mn	mg dm ³	153,2	108,4	87,4
Zn	mg dm ³	3,1	2,4	1,5

COT, carbono orgânico total; P-rem, fósforo remanescente; CTC, capacidade de troca catiônica, V, saturação por bases. Análises realizadas de acordo com (TEIXEIRA et al., 2017).

4.4.2 Delineamento Experimental, Adubação e Semeadura

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com esquema fatorial (2×2×2) com oito repetições. Os tratamentos foram constituídos pela aplicação de Co+Mo (Controle e Co+Mo aplicado via foliar na proporção de Co = 2,5 g e Mo = 25 g ha⁻¹, nos estádios vegetativos V3 e V5), duas cultivares de soja (BRS 284 e BRS 399 RR) e duas épocas de plantio.

Trinta dias antes do plantio foi aplicado a lanço o calcário dolomítico (MgO > 13%) para elevar a saturação por bases (V) a 70%. Em todos os tratamentos, as sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium elkanii* (SEMIA 587 e SEMIA 5019) na concentração de 1,2 × 10⁶ células por semente. Foi realizado a adubação de base com 300 kg ha⁻¹ do formulado 0-20-20 (N-P₂O₅-K₂O), e sessenta dias após a emergência foi aplicado em cobertura 40 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de KCl (60% de K₂O). Produto comercial CoMoBiol® (15,0% de Mo e 1,0% de Co) foi utilizado como fonte de Co e Mo. As aplicações foram feitas com pulverizador com pressão de CO₂ constante e vazão contínua de 160 L ha⁻¹. Todo o manejo cultural foi realizado de

acordo com as recomendações de Tecnologias de Produção de Soja (TPS, 2020).

As cultivares de soja utilizadas foram a [(BRS 284, convencional, hábito de crescimento indeterminado e grupo de maturação 6.3) e a BRS 399 RR, transgênica, hábito de crescimento indeterminado e grupo de maturação 6.0, de acordo com Melo et al. (2016) e Abdelnoor (2019)]. A semeadura foi realizada com espaçamento entre linhas de 50 cm e densidade de plantio de 250.000 plantas por hectare. Cada parcela foi constituída de 5 × 2 m e para as avaliações considerou-se as duas linhas centrais de cada parcela como área útil. Durante a realização desse trabalho a cultura de aveia foi utilizada como planta de cobertura.

4.4.3 Leitura SPAD, Amostragem de Folhas, Plantas e Colheita

No estágio R6 foi realizado a leitura SPAD nas folhas diagnósticos (3^a e 4^o trifólios a contar do ápice), realizado com o aparelho SPAD-502 (MINOLTA CAMERA COMPANY) e convertidas em teor de clorofila (mg cm^{-2}) com a equação $\hat{y} = 16.033 + (7.5774 \times \text{SPAD})$ (FRITSCHI; RAY, 2007). Posteriormente foram colhidas ao acaso 15 folhas sem pecíolo do terceiro trifólio do terço superior para determinação do teor foliar de N. Após a maturação fisiológica de cada repetição (FEHR et al., 1971) foram colhidas cinco plantas em cada parcela e determinou-se altura de plantas (AP), número de hastes (NH), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 sementes, tamanho de sementes ($>4,76 \text{ mm} \times 19,05 \text{ mm}$, $4,76 \text{ mm} \times 19,05 \text{ mm}$ e $<4,76 \text{ mm} \times 19,05 \text{ mm}$).

Para o cálculo da produtividade de grãos, colheu-se cada parcela para determinação da massa e umidade dos grãos, posteriormente, corrigiu-se a massa dos grãos considerando-os com 13% de umidade.

4.4.4 Análise do Nitrogênio na Folha e Grãos

Antes da determinação do N total, as amostras foram secas em estufa com ventilação forçada a 65 °C por 72 horas até massa seca constante, posteriormente foi moído em moinho tipo Wesley com malha de 1,0 mm. Foi feita a digestão do material (folhas e grãos) com ácido sulfúrico concentrado em bloco digestor com temperatura de até 350 °C, e, posteriormente foram realizadas as determinações de N nas folhas e grãos por colorimetria (SEARLE, 1984).

4.4.5 Determinação de Óleo e Proteína nos Grãos

Os teores de óleo e proteína nos grãos foram determinados com a técnica de espectroscopia de infravermelho próximo (FT-NIR, Antaris II, Thermo, Thermo Scientific, Califórnia – USA) dotado de esfera de integração e leitura na faixa de 1100 e 2500 nm.

4.4.6 Análise Estatística

Os resultados das variáveis avaliadas foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade de variância, e realizou-se a análise de variância (ANOVA), teste F a 5% de significância, usando software SPSS (IBM CORP. RELEASED, 2017).

4.5 RESULTADOS

4.5.1 Produtividade de Grãos e Componentes de Rendimento

A adubação foliar com Co+Mo incrementou a produtividade de grãos (PG) de soja 9,8% na cultivar BRS 399 RR somente na safra 2019-2020 comparada com o controle (Figura 4A), enquanto para a BRS 284, a adubação foliar na mesma safra não influenciou a produtividade de grãos. No entanto, na safra 2020-2021, ocorreu o inverso com incremento em 15,4% com a aplicação foliar de Co+Mo na cultivar BRS 284 (Figura 4B).

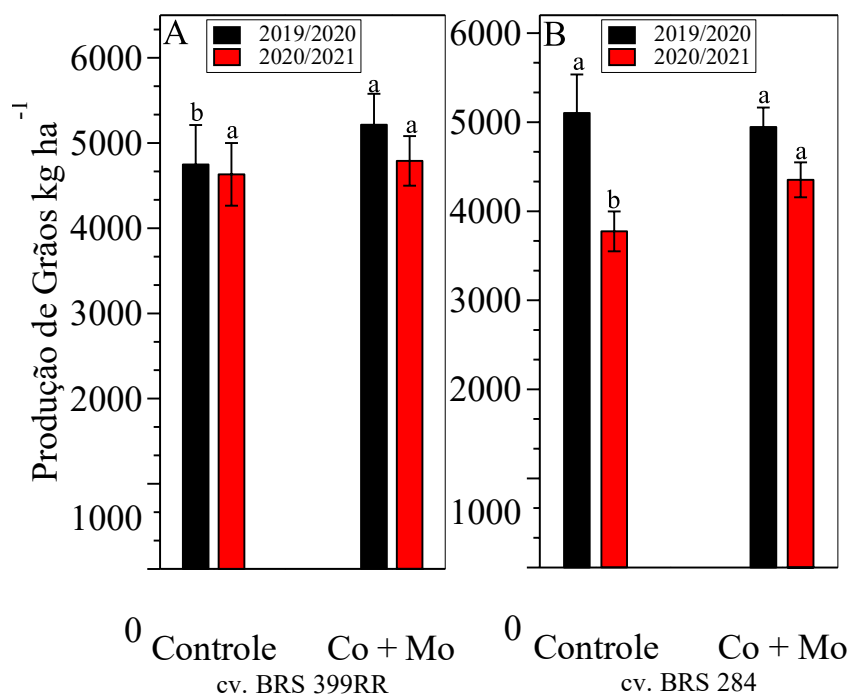


Figura 4 - Produtividade das duas cultivares de soja depois da adubação foliar com Co+Mo nos estádios V3 e V5. Valores das médias de oito repetições e os desvios padrões. Tratamentos com a mesma letra, no mesmo ano e cultivar, não diferem significativamente pelo teste de F ($p \leq 0,05$).

Em relação ao NV e NGP, a aplicação foliar de Co+Mo reduziu significativamente em 15,2 e 10,3% na BRS 399 RR (2020-2021), enquanto na BRS 284 houve incremento significativo de 13% no NV com aplicação de Co+Mo na mesma safra (Tabela 6). Com relação ao NVTS, NGTS e massa de 100 grãos, não houve diferenças significativas entre os tratamentos nas duas safras e cultivares avaliadas (Tabela 6).

Tabela 6 – Número de vagens (NV), número de vagens do terço superior (NVTS), número de grão por planta (NGP), número de grão do terço superior (NGTS), e massa de 100 grãos de duas cultivares de soja, depois da adubação foliar com Co+Mo em estádios V3 e V5.

Tratamentos	NV		NVTS		NGP		NGTS		Massa 100 grãos	
	(n)	(n)	(n)	(n)	(n)	(n)	(n)	(n)	(g)	(g)
Cultivar BRS 399 RR										
	2019/20	2020/21	2019/20	2020/21	2019/20	2020/21	2019/20	2020/21	2019/20	2020/21
Controle	37,6 a	86,3 a	13,1 a	7,9 a	75,7 a	191,8 a	29,3 a	19,0 a	15,1 a	12,1 a
Co+Mo	40,0 a	73,2 b	14,2 a	7,7 a	83,1 a	172,1 b	32,5 a	18,0 a	15,4 a	12,5 a
Média	38,8	79,7	13,7	7,8	79,4	181,9	30,9	18,5	15,3	12,3
CV (%)	20,5	6,4	10,4	13,6	19,9	4,4	14,9	11,8	4,8	4,3
Cultivar BRS 284										
	2019/20	2020/21	2019/20	2020/21	2019/20	2020/21	2019/20	2020/21	2019/20	2020/21
Controle	43,9 a	48,6 b	8,1 a	6,7 a	112,5 a	122,0 a	20,3 a	15,1 a	16,8 a	15,7 a
Co+Mo	41,7 a	54,9 a	7,6 a	5,7 a	109,7 a	131,7 a	19,9 a	14,6 a	17,1 a	15,7 a
Média	42,8	51,8	7,9	6,2	111,1	126,9	20,1	14,8	16,9	15,7
CV (%)	6,4	7,5	13,6	16,8	4,4	10,8	11,8	10,4	4,3	2,3

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna, e cultivar, não diferem entre si pelo teste F ($p \leq 0,05$).

4.5.2 Altura de Planta, Número de Ramos e Tamanho de Grãos

A adubação foliar influenciou significativamente o número de ramos da cultivar BRS 284 na safra de 2020-2021, já para altura de plantas não se observou diferenças significativas nas duas safras avaliadas (Tabela 7).

Tabela 7 – Altura de planta e número de hastes de duas cultivares de soja depois da adubação foliar com Co+Mo em estádios V3 e V5.

Tratamentos	Altura		Ramos	
	(cm)		(n)	
Cultivar BRS 399 RR				
	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021
Controle	65,6 a	91,8 a	1,7 a	3,0 a
Co+Mo	65,7 a	91,4 a	1,7 a	3,0 a
Média	65,7	91,6	1,7	3,0
CV (%)	8,0	12,2	35,5	22,3
Cultivar BRS 284				
	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021
Controle	105,5 a	111,5 a	0,4 a	1,9 b
Co+Mo	106,7 a	109,9 a	0,3 a	2,4 a
Média	106,1	110,7	0,3	2,1
CV (%)	12,1	4,8	22,5	19,6

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, e cultivar, não diferem entre si pelo teste F ($p \leq 0,05$).

À aplicação foliar de Co+Mo, também não teve efeito significativo no tamanho de grãos retidos nas peneiras >4,76 mm × 19,05 mm, 4,76 mm × 19,05 mm e <4,76 mm × 19,05 mm na BRS 399 RR e BRS 284 nos dois anos de estudo (Tabela 8).

Tabela 8 – Tamanho de grãos de duas cultivares de soja depois da adubação foliar com Co+Mo em estádios V3 e V5.

Tratamentos	Tamanho de grãos					
	>4,76 mm × 19,05 mm		4,76 mm × 19,05 mm		<4,76 mm × 19,05 mm	
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
	Cultivar BRS 399 RR					
	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021
Controle	62,4 a	67,0 a	24,1 a	17,9 a	8,7 a	15,1 a
Co+Mo	65,1 a	66,8 a	23,6 a	18,2 a	7,5 a	15,0 a
Média	53,7	67,0	23,8	18,0	8,1	15,1
CV (%)	4,7	4,2	9,5	16,2	19,2	11,7
	Cultivar BRS 284					
Controle	64,4 a	31,1 a	22,1 a	35,6 a	9,5 a	33,3 a
Co+Mo	67,1 a	35,7 a	20,0 a	34,7 a	7,8 a	29,6 a
Média	65,8	33,4	21,1	35,1	8,7	31,5
CV (%)	4,2	15,6	16,4	8,4	11,0	11,4

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna e cultivar, não diferem entre si pelo teste de F ($p \leq 0,05$).

4.5.3 Nitrogênio na Folha Diagnóstico e Grãos e Teor de Clorofila

À aplicação foliar de Co+Mo incrementou em 25,5 e 6,9% o teor de N nas folhas nas duas cultivares na safra 2019-2020 (Figuras 5A e 5B), enquanto, para a safra de 2020-2021 não se observou diferenças significativas quando comparado com o controle nas duas cultivares (Figuras 5A e 5B). Os teores de N nos grãos também não tiveram influência da aplicação de Co+Mo, independentemente das cultivares e safras (Figuras 5C e 5D), o mesmo foi observado para o teor foliar de clorofila (Anexo A).

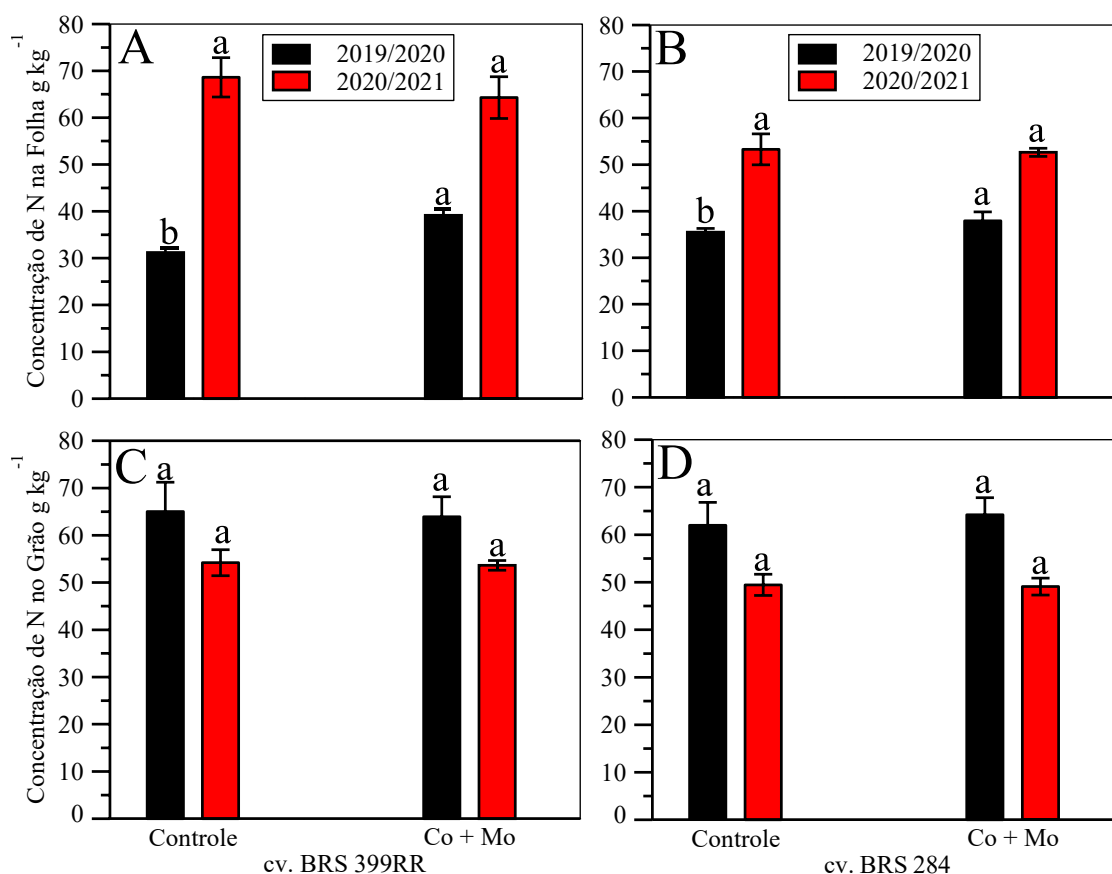


Figura 5. Teor de nitrogênio na folha de duas cultivares de soja depois da aplicação foliar com Co+Mo em estádios V3 e V5. Valores das médias de oito repetições e os desvios padrões. Tratamentos com a mesma letra, em cada ano e cultivar, não diferem significativamente pelo teste de F ($p \leq 0,05$). Amostras de folhas colhidas em estágio R6.

4.5.4 Proteína, Óleo e Produtividade de Proteína dos Grãos

O teor de proteína nos grãos não foi influenciado com aplicação foliar de Co+Mo nas duas safras 2019-2020 e 2020-2021, independentemente da cultivar de soja (Figuras 6A e 6B). Enquanto o teor de óleo reduziu significativamente em 2,4% na cultivar BRS 399RR safra de 2019-2020 (Figura 6C) e no caso da cultivar BRS 284 não foram observadas diferenças significativas (Figura 6D).

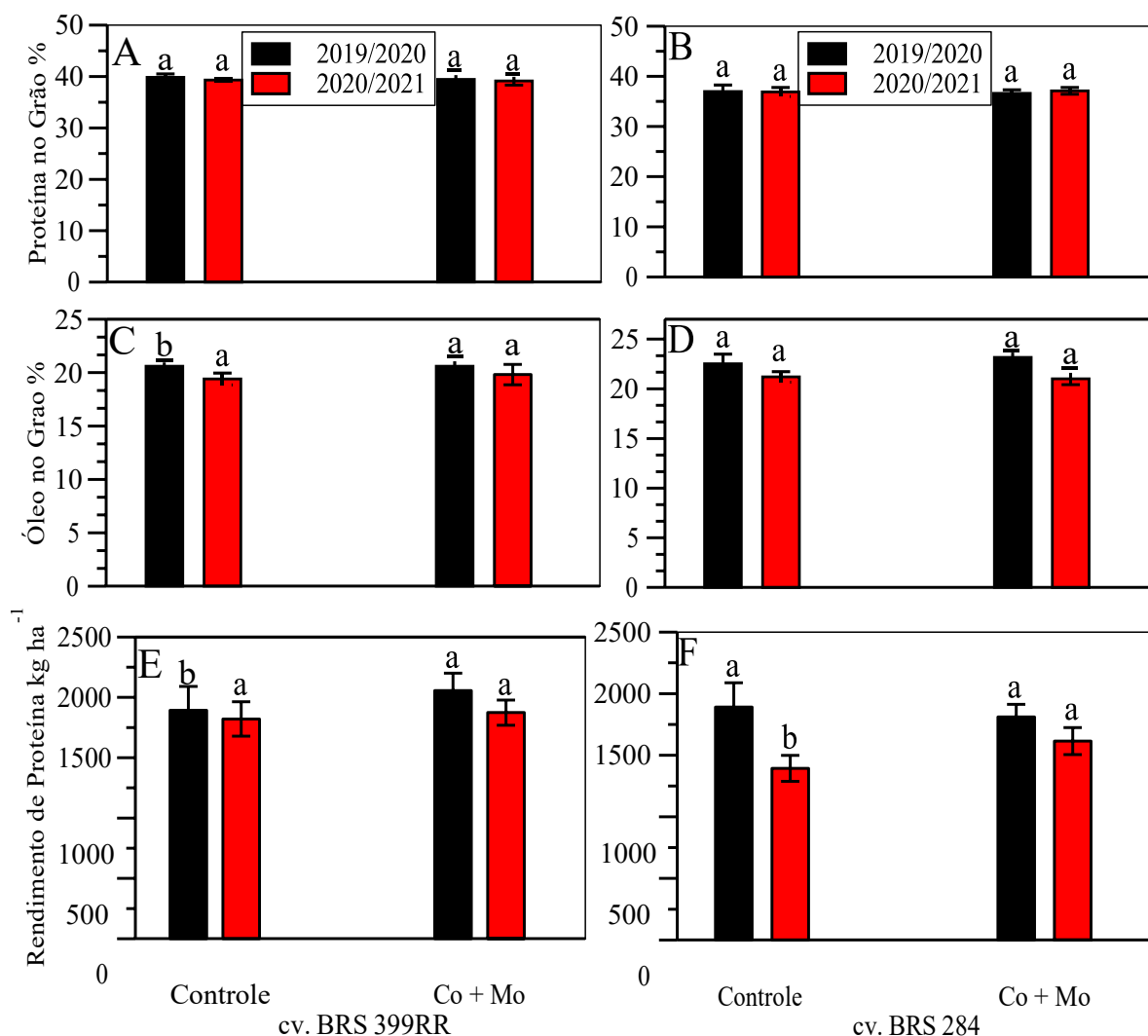


Figura 6 - Teor de proteína, óleo e rendimento de proteína nos grãos de duas cultivares de soja, depois da aplicação foliar com Co+Mo em estádios V3 e V5. Valores das médias de 8 repetições e os desvios padrões. Tratamentos com a mesma letra, em cada ano e cultivar, não diferem significativamente pelo teste F ($p \leq 0,05$).

Com relação a produtividade de proteína (PP), observou-se que adubação foliar de Co+Mo incrementou em 8,6% a PP na safra 2019-2020 na BRS 399 RR (Figura 6E e 6F). Para a BRS 284, houve incremento de 15,8% na PP na safra 2020-2021 (Figuras 6E e 6F), indicando efeito das condições climáticas sobre esta variável analisada.

4.6 DISCUSSÃO

Nas condições dos trópicos, a suplementação de Co+Mo na cultura

da soja é uma prática indicada para o sucesso da FBN com conseqüente incremento da produtividade de grãos (PG) em plantas inoculadas. A adubação com Co e Mo na cultura da soja é essencial pois esses elementos participam de vários processos da FBN e com isso, aumentam o aproveitamento de N pelas plantas e por conseqüência, altas produtividades de grãos (Figura 4). Por outro lado, por ser a FBN a principal fonte de N para as plantas de soja, o incremento na PG pode acarretar a diminuição do teor de proteína devido ao efeito de diluição.

Os resultados demonstram que mesmo com a variabilidade nas duas safras e entre cultivares, a adubação foliar com Co+Mo influencia positivamente na produtividade de grãos, teor foliar de N e produtividade de proteína da soja (Figuras 4 e 5). Esse efeito positivo reafirma que independentemente da cultivar ser transgênica ou não, a importância do Co e Mo tanto no processo da FBN como no metabolismo do N nos estádios de crescimento das plantas; e corroboram os resultados de Sfredo; Oliveira (2010) e TPS (2020), cuja suplementação foliar adequada com Co e Mo nos estádios V3 e V5 se faz necessária para obtenção da máxima eficiência da utilização de N na cultura da soja.

A adubação complementar com Co+Mo se mostrou necessária visto que a intensificação do cultivo de soja com a exportação de grandes quantidades de nutrientes com os grãos sem a reposição adequada pode estar acarretando redução da disponibilidade de nutrientes em diversas áreas do Brasil, apesar da recomendação de aplicação de Co+Mo ser indicada em cada ciclo de cultivo da soja, independentemente dos seus teores no solo e nas sementes (TPS, 2020). Essas respostas positivas com a aplicação foliar de Co e Mo na produtividade da soja foram observados por Aparecido et al. (2018), Campo; Araújo; Hungria (2009), Mengarda; Tiritan; Sato (2007) e Sfredo; Oliveira (2010). No entanto, em certas condições em que o solo apresenta altos teores de matéria orgânica (MO) não têm sido observados efeitos significativos no incremento da produtividade de grãos (CARDOSO et al., 2020; MARCONDES; CAIRES, 2005; SILVA et al., 2011), principalmente quando estes elementos são aplicados via semente ou solo, mesmo assim, a aplicação se faz necessária de modo preventivo.

A variação nas respostas em função da aplicação de Co+Mo depende de alguns fatores que podem interferir no crescimento e desenvolvimento da cultura, como as condições de tempo, teores adequados de Co e Mo no solo e/ou na semente (CAMPO; ARAUJO; HUNGRIA, 2009) e o excesso ou falta de aplicação de

calcário ou excesso de gesso (MARCONDES; CAIRES, 2005).

Os efeitos positivos da aplicação de Co e Mo na produtividade, número de vagens, massa de grãos e altura de planta foram descritos por Agnes et al. (2018) com a aplicação foliar no estágio V5 e por Campo; Araújo; Hungria (2009), ao verificarem que a aplicação foliar de Mo nos estádios R3 e R5 incrementa a PG e o teor de proteína nos grãos em diferentes cultivares de soja e regiões do Brasil.

No entanto, Marcondes; Caires (2005) reportaram que em solos com elevado teor de MO não houve efeito da aplicação de Mo e Co na PG e componentes de rendimento da soja, além disso, verificaram que nas condições edafoclimáticas estudadas, doses de Co a partir de 3,4 g ha⁻¹ foram tóxicos para as plantas. Cortese et al. (2019) em SPD, também não observaram incremento na produtividade, massa de 100 sementes e germinação com aplicação foliar de Co e Mo nos estádios R3, R5.1 e R5.4. Entretanto, esses autores observaram incrementos nos teores de Mo e Co, no enriquecimento de Co e Mo nas sementes de soja (CARDOSO et al., 2021). Com citado anteriormente, as respostas distintas à aplicação de Co e Mo ocorrem por outros fatores climáticos, como o estresse causado pela déficit hídrico associado a temperaturas elevadas (MENGARDA; TIRITAN; SATO, 2007), eficiência de uso de nutrientes por cultivares de soja (BARBARO et al., 2015), o pH do solo e teor de MOS (MARCONDES; CAIRES, 2005), quando aplicado via solo ou semente.

Na safra 2019-2020 as condições hídricas foram mais adequadas para o cultivo da soja, se comparado com a 2020-2021 (Figuras 3C e 3D), cujos valores médios dos teores foliares de N variaram de 35,2 e 36,7 g kg⁻¹ na BRS 399 RR e BRS 284 (Figuras 5A e 5B) e nos grãos de 64,5 e 63,1 g kg⁻¹ na BRS 399 RR e BRS 284, respectivamente. Na safra 2020-2021, com maior restrição hídrica, os teores médios de N nas folhas foram mais elevados, independentemente da cultivar (66,4 e 53,0 g kg⁻¹, para BRS 399 RR e BRS 284, respectivamente) e menores nos grãos (53,9 e 49,1 g kg⁻¹, para BRS 399 RRR e BRS 284, respectivamente (Figuras 5C e 5D), indicando, apesar da sua alta mobilidade nos vasos do xilema (MALAVOLTA, 2006), houve menor taxa de remobilização do nutriente. Cabe destacar, que os teores de N nas folhas foram considerados baixos na safra 2019- 2020 e adequados na safra 2020-2021 (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA 1997; TPS, 2020), indicando maior translocação de N das folhas para os grãos quando existe maior disponibilidade hídrica durante todo o ciclo da cultura.

4.7 CONCLUSÃO

A adubação foliar com Co+Mo incrementa 9,8 e 15,4% a produtividade de grãos, no 1º ano de cultivo na cultivar BRS 399RR e no 2º ano de cultivo para BRS 284, indicando a influência das condições climáticas, eficiência de uso dos nutrientes diferenciada entre as cultivares e interação entre ambos no processo de absorção de Co e Mo. A aplicação foliar de Co e Mo também incrementa o teor de N foliar e a produtividade de proteína da soja. Nas condições edafoclimáticas estudadas, as aplicações foliares de Co e Mo nos estádios V3 e V5 não influenciaram os teores de proteína nos grãos de soja.

5 ARTIGO C: ADUBAÇÃO FOLIAR COM NÍQUEL NA PRODUTIVIDADE, COMPONENTES DE PRODUÇÃO E QUALIDADE DOS GRÃOS DE SOJA

5.1 RESUMO

A soja está entre as principais *comodities* mundiais do agronegócio, e o níquel (Ni) é um elemento essencial no metabolismo do nitrogênio (N). O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adubação foliar com Ni no incremento da produtividade de grãos, componentes de rendimento, teores de N e proteína e óleo dos grãos em duas cultivares de soja cultivadas em sistema plantio direto. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com esquema fatorial (3 x 2 x 2) com oito repetições. Aplicação foliar de Ni foi realizado no estágio reprodutivo R1 e R5. A adubação foliar com Ni incrementaram 5,8 e 9,1% a produtividade de grãos, na cultivar BRS 399RR no primeiro ano (2019-2020) e na BRS 284 não foram observadas diferenças significativas nas duas safras. Os teores de N nas folhas foram influenciados pela aplicação de Ni na BRS 284 nas duas safras avaliadas, enquanto, para a BRS 399 RR, o teor foliar de N incrementou somente no primeiro ano, o mesmo ocorreu com a produtividade de proteína nos grãos, sendo que para o teor de proteína e óleo nos grãos não houve efeito da aplicação de Ni nas duas safras e cultivares quando comparado com o controle.

Palavra-chave: *Glycine max*, micronutriente, cultivares de soja, teor de proteína e teor de óleo.

5.2 ABSTRACT

Soybeans are among the world's leading agribusiness commodities, and nickel (Ni) is an essential element in nitrogen (N) metabolism. The objective of this study was to evaluate the effect of foliar fertilization with Ni in the increase of grain yield, yield components, N content and grain protein and oil in two soybean cultivars grown in a no-tillage system. The experimental design was randomized blocks in a factorial scheme (3 x 2 x 2) with eight replications. Foliar application of Ni was performed in the reproductive stage R1 and R5. Foliar fertilization with Ni increased grain yield by 5.8 and 9.1%, in the cultivar BRS 399RR in the first year (2019-2020)

and in BRS 284 no significant differences were observed in the two harvests. The levels of N in the leaves were influenced by the application of Ni in BRS 284 in the two harvests evaluated, while for BRS 399 RR, the leaf content of N increased only in the first year, the same occurred with the productivity of for the protein and oil content in the grains there was no effect of the application of Ni in the two harvests and cultivars when compared with the control.

Key words: *Glycine max*, micronutrient, soybeans cultivars, protein and oil content.

5.3 INTRODUÇÃO

O níquel (Ni) é um micronutriente para as plantas (BROWN et al., 1987) e faz parte de duas metaloenzimas (urease e a hidrogenase), que estão diretamente ligadas no metabolismo do nitrogênio (N), a urease é responsável pela hidrólise da ureia em amônia e dióxido de carbono (WITTE, 2011; POLACCO et al., 2013), já a hidrogenase catalisa a oxidação de hidrogênio nos nódulos das leguminosas, que é o resultado da simbiose com bactérias fixadoras de N₂, os nódulos presentes nas raízes, onde ocorre o processo de fixação biológica de N (FBN) nos quais a hidrogenase é importante em tornar o processo mais eficiente (SHAFAT et al., 2013; BAGYINKA, 2014; BRAZZOLOTTO et al., 2016).

A urease e a hidrogenase têm grande importância nas leguminosas, principalmente nos cultivos de soja onde a FBN é a principal fonte de N, porque a maior parte do N fixado nos nódulos, como amônia (NH₃) é convertida em ureídeos que são as principais formas de N levados para as partes aéreas das plantas (COLLIER; TEGEDER, 2012). Nas folhas, os ureídeos são convertidos em ureia, sendo então metabolizados pela urease (ZRENNER et al., 2006) enzima que contém Ni. Durante a senescência das folhas também ocorrem a degradação de proteínas e aminoácidos que são convertidos em ureia (WITTE, 2011), sendo necessário a presença de Ni para evitar a toxidez de N nas plantas por acúmulo de ureia.

Aplicação de Ni na soja tem apresentadas respostas variadas, desde aumentos nos teores de N e metabolismo do N, na fotossíntese, atividade da enzima uréase (MACEDO et al., 2016; BARCELOS et al., 2017; FREITAS et al., 2019), até incrementos da produção de grãos e nos teores de proteína (MACEDO et al., 2016; FREITAS 2018). Kumar et al. (2021) reportaram incremento da produtividade de grãos

e nutrientes nos grãos em plantas de cevada, com aplicação foliar de 0.2% de Ni aos 20, 40 e 60 dias após a semeadura. No entanto, outros trabalhos têm demonstrado efeito nulo e/ou negativos, principalmente no rendimento de grãos (BARCELOS et al 2017; LEVY et al., 2019), como verificado por Einhardt et al. (2021) ao verificarem que aplicação foliar de Ni a partir de 120 g ha⁻¹ as plantas de soja apresentaram sintomas visuais de toxidez, promoveu o estresse oxidativo e afetou o aparato fotossintético com baixas teores nas concentrações das clorofilas a e b.

A soja é considerada a principal fonte de proteína e óleo e o papel do Ni na hidrólise da ureia e na biossíntese da enzima hidrogenase é fundamental neste processo bioquímico (URETA et al., 2005; MARSCHNER, 2012). Tendo a hipótese que as aplicações de Ni na fase reprodutiva da soja (floração e enchimento do grão), podem incrementar assimilação de N na planta e resultar em incremento na produtividade e na qualidade do grão, o objetivo deste trabalho foi avaliar se a adubação foliar com Ni incrementa a produtividade, componentes de rendimento, teores de N e proteína e óleo dos grãos em duas cultivares de soja cultivadas em sistema plantio direto (SPD).

5.4 MATERIAIS E MÉTODOS

5.4.1 *Local de Estudo e Caracterização do Solo*

O experimento foi realizado em condições de campo não irrigado sob o SPD consolidado nas safras de 2019-2020 e 2020-2021 na Embrapa Soja, Londrina, Estado do Paraná, Brasil localizada nas coordenadas 23°1139' LS e 51°1040' LW e 560 m de altitude. O clima da região é descrito como clima subtropical úmido (Cfa), com temperatura do ar média do mês mais frio inferior a 18°C e temperatura do ar média no mês mais quente acima de 22°C. As temperaturas máximas e mínimas mensais (Figuras 7A e 7B), e os balanços hídricos no período de condução do experimento (2019-2020 e 2020-2021) foi feito conforme metodologia descrita por Thornthwaite; Mather (1955), considerando a capacidade de água disponível (CAD) de 75 mm, estão na (Figuras 7C e 7D). E o solo foi classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico com os seguintes atributos químicos antes da aplicação dos tratamentos (Tabela 9).

Figura 7- Temperatura máxima e mínima, e balanço hídrico climatológico decendial durante a condução do experimento (2019-2020 e 2020-2021), na Embrapa Soja - Londrina, Estado do Paraná.

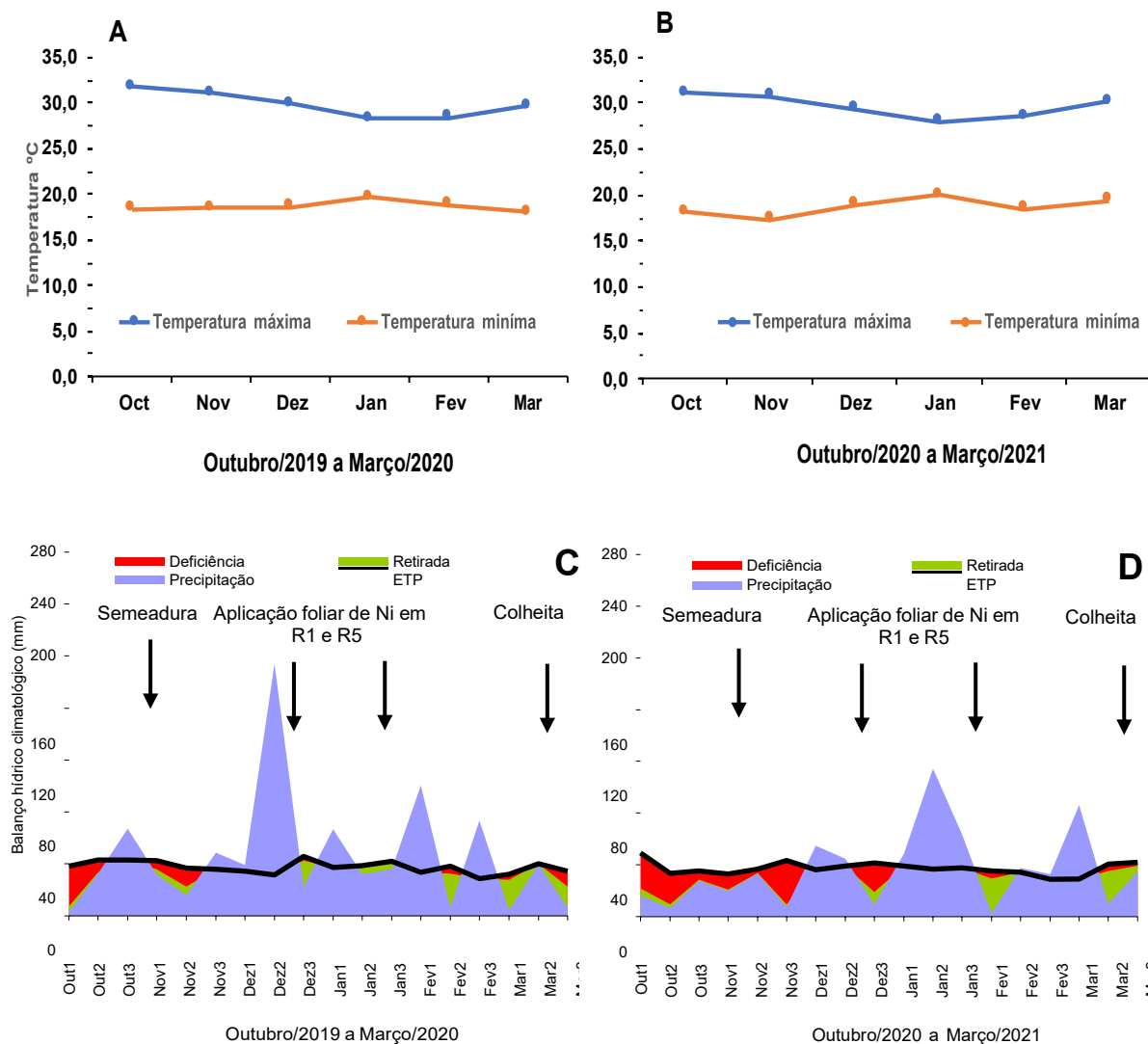


Tabela 9- Atributos químicos do solo antes da implantação do experimento.

Propriedades	Unidades	Profundidade		
		Cm		
		0 -10	10-20	20-40
pH CaCl ₂	-	5,1	4,9	4,8
*COT	g dm ³	17,9	14,4	10,0
P-Mehlich	mg dm ³	26,7	13,6	5,9
*P _{-remanescente}	mg L ⁻¹	14,2	11,2	7,62
Al ³⁺	cmol _c dm ³	0,0	0,1	0,1
Ca ²⁺	cmol _c dm ³	3,7	3,4	3,29
Mg ²⁺	cmol _c dm ³	1,8	1,7	1,5
K ⁺	cmol _c dm ³	0,9	0,6	0,4
Soma de base	cmol _c dm ³	6,4	5,7	5,2
CTC	cmol _c dm ³	11,4	11,3	10,0
V	%	56,3	50,8	52,0
S-SO ₄ ²⁻	mg dm ³	11,5	19,5	47,9

B	mg dm ³	0,3	0,2	0,2
Cu	mg dm ³	20,3	20,3	21,5
Fe	mg dm ³	40,4	37,3	53,4
Mn	mg dm ³	153,2	108,4	87,4
Zn	mg dm ³	3,1	2,4	1,5

COT, carbono orgânico total; P-rem, fósforo remanescente; CTC, capacidade de troca catiônica; V, saturação por base. Análises realizadas de acordo com (TEIXEIRA et al., 2017).

5.4.2 Delineamento Experimental, Adubação e Semeadura

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 3x2x2 com oito repetições. Os tratamentos foram constituídos de três doses de Ni [controle (sem aplicação de Ni), 60 g ha⁻¹ de Ni parcelados em 30 g ha⁻¹ nos estádios reprodutivos R1 e R5 e 120 g Ni ha⁻¹ parcelados em 60 g ha⁻¹ de Ni nos estádios reprodutivos R1 e R5), duas cultivares de soja (BRS 284 e BRS 399RR) e dois ciclos de cultivo.

O Ni foi aplicado na forma de cloreto de níquel (NiCl₂, 25% de Ni). As aplicações foram feitas com pulverizador com pressão de CO₂ constante e vazão contínua de 160 L ha⁻¹. Trinta dias antes do plantio foi aplicado o calcário dolomítico (MgO > 12%) para elevar a saturação por bases (V) a 70%. Todos os tratamentos as sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium elkanii* (SEMIA 587 e SEMIA 5019) na concentração de 1,2 × 10⁶ células por semente. Foi realizado a adubação de base com 300 kg ha⁻¹ do formulado 0-20-20 (N-P₂O₅-K₂O), e sessenta dias após a emergência foi aplicado em cobertura 40 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de KCl (60% de K₂O). O manejo cultural foi realizado de acordo com as recomendações de Tecnologias de Produção de Soja (TPS, 2020).

A cultivar [(BRS 284 não é transgênica, com hábito de crescimento indeterminado e grupo de maturação 6.3 e a BRS 399 RR é transgênica, com hábito de crescimento indeterminado e grupo de maturação 6.0, de acordo com Melo et al. (2016) e Abdelnoor (2019)]. A semeadura das duas cultivares foi feita com espaçamento entre linhas de 50 cm e densidade de plantio de 250.000 plantas por hectare. Cada parcela foi constituída de 5 × 2 m, para as avaliações considerou-se as duas linhas centrais de cada parcela como área útil. Durante a realização desse trabalho foi utilizado aveia como planta de cobertura.

5.4.3 Leitura SPAD, Amostragem de Folhas, Plantas e Colheita

No estágio R6 foi realizado a leitura SPAD nas folhas diagnósticos (3º trifólio a contar do ápice da planta), medidas com o aparelho SPAD-502 (MINOLTA CAMERA COMPANY) e convertidas em teor de clorofila (mg cm^{-2}) com a equação; $\hat{y} = 16.033 + (7.5774 \times \text{SPAD})$ (FRITSCHI; RAY, 2007). Posteriormente foram colhidas ao acaso em 15 folhas sem pecíolo do terceiro trifólio do terço superior para determinação do teor foliar de N. Após a maturação fisiológica (FEHR et al., 1971) foram retiradas cinco plantas em cada parcela e determinou-se altura de plantas (AP), número de ramos por planta (NR), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 sementes, tamanho de sementes ($>4,76 \text{ mm} \times 19,05 \text{ mm}$, $4,76 \text{ mm} \times 19,05 \text{ mm}$ e $<4,76 \text{ mm} \times 19,05 \text{ mm}$).

Para o cálculo da produtividade, colheu-se as duas linhas centrais de cada parcela para determinação da massa e umidade dos grãos, posteriormente, corrigiu-se a massa dos grãos considerando-os com 13% de umidade.

5.4.4 Análise do Nitrogênio na Folha Diagnóstico e Grãos

Antes da determinação do N total, as amostras foram secas em estufa com ventilação forçada a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ por 72 horas até o peso constante, posteriormente foi moída em moinho tipo Wesley com malha de 1,0 mm. A digestão dos materiais (folhas e grãos) foi realizada com ácido sulfúrico concentrado em bloco digestor com temperatura de até $350 \text{ }^\circ\text{C}$ e, posteriormente foi realizada as determinações de N na folha e grãos por colorimetria (SEARLE, 1984).

5.4.5 Determinação do Teor de Óleo e Proteína nos Grãos

Os teores de óleo e proteína nos grãos foram determinados com a técnica de espectroscopia de infravermelho próximo (FT-NIR, Antaris II, Thermo, Thermo Scientific, Califórnia – USA) dotado de esfera de integração e leitura na faixa de 1100 e 2500 nm.

5.4.6 Análise Estatística

Os resultados do presente trabalho foram submetidos aos testes de

normalidade e homogeneidade de variância, e realizou-se a análise de variância (ANOVA), teste F a 5% de significância e a separação de médias pelo teste de Tukey a 5% de significância, usando software SPSS (IBM CORP. RELEASED, 2017).

5.5 RESULTADOS

5.5.1 Produtividade de Grãos e Componentes de Rendimento

A adubação foliar com Ni incrementou em 5,8 e 9,1% a produtividade de grãos de soja na BRS 399RR na safra de 2019-2020, enquanto na safra 2020-2021 houve redução no tratamento com 120 g ha⁻¹ de 8,0% comparado ao 60 g ha⁻¹ de Ni (Figura 8A). Na cultivar BRS 284, a adubação foliar com Ni não influenciou a produtividade de grãos nas duas safras avaliadas, independentemente da dose utilizada (Figura 8B).

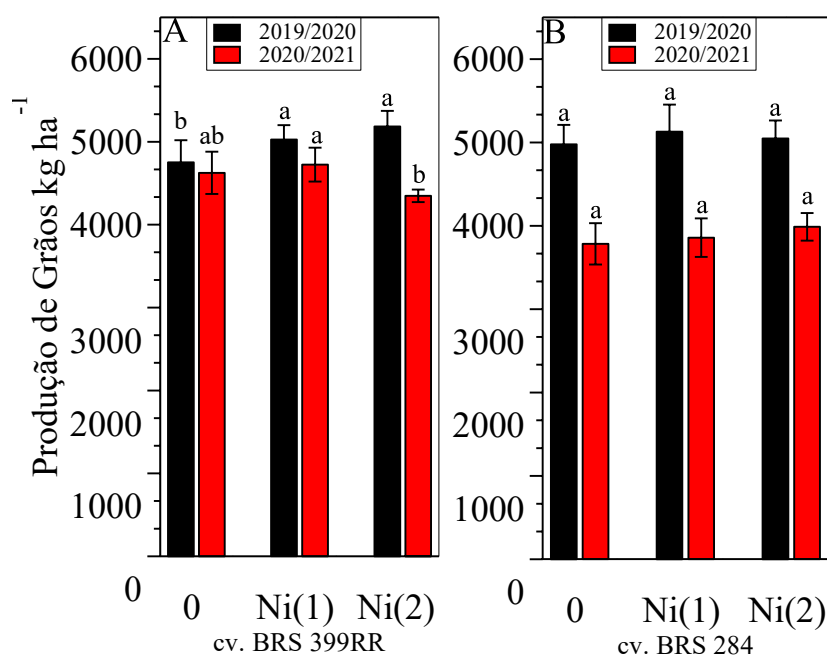


Figura 8 - Produtividade de duas cultivares de soja, depois da adubação foliar com Ni em estádios R1 e R5. Valores das médias de oito repetições e os desvios padrões. Tratamentos com a mesma letra para o mesmo ano e cultivar de soja não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). 0 = controle; Ni (1) = aplicação foliar de 30 g ha⁻¹ de Ni em R1 e 30 g ha⁻¹ de Ni em R5; Ni (2) = aplicação foliar de 60 g ha⁻¹ de Ni em R1 e 60 g ha⁻¹ de Ni em R5.

Em relação ao NV e NGP, a aplicação foliar de 60 g ha⁻¹ de Ni reduziu em 14,0 e 12,0 % na BRS 399 RR, na safra de 2020-2021, quando comparado com o tratamento controle, enquanto na cultivar BRS 284 na mesma safra houve incremento de 12,8% no NV com aplicação de 120 g ha⁻¹ de Ni (Tabela 10). Com relação ao NVTS, NGTS e massa de 100 grãos, não houve diferença entre os tratamentos nas duas cultivares e safras avaliadas (Tabela 10).

Tabela 10 – Número de vagens (NV), número de vagens do terço superior (NVTS), número de grão por planta (NGP), número de grão do terço superior (NGTS), e massa de 100 grãos de duas cultivares de soja, depois da adubação foliar com Ni em estádios R1 e R5.

Tratamentos	NV		NVTS		NGP		NGTS		Massa 100 grãos	
	(n)		(n)		(n)		(n)		(g)	
Cultivar BRS 399 RR										
	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021
Controle	37,6 a	86,3 a	13,1 a	7,9 a	75,7 a	191,8 a	29,3 a	19,0 a	15,1 a	12,1 a
Ni (1)	38,4 a	65,5 b	14,4 a	6,9 a	82,5 a	149,5 b	32,0 a	17,1 a	15,3 a	12,2 a
Ni (2)	46,5 a	79,3 a	13,7 a	7,9 a	95,1 a	194,0 a	31,1 a	20,0 a	15,5 a	12,3 a
Média	40,8	77,0	13,7	7,6	84,4	178,4	30,8	18,7	15,3	12,2
CV (%)	25,7	6,6	15,2	10,4	24,4	5,1	19,0	11,4	2,8	4,4
Cultivar BRS 284										
Controle	43,9 a	50,0 b	8,0 a	6,8 a	112,5 a	123,8 a	20,3 a	15,4 a	16,8 a	15,7 a
Ni (1)	41,4 a	52,3 ab	8,0 a	6,8 a	113,4 a	131,1 a	20,3 a	16,0 a	17,3 a	16,0 a
Ni (2)	44,6 a	56,4 a	8,0 a	6,6 a	112,9 a	144,0 a	20,8 a	17,8 a	17,2 a	15,7 a
Média	44,0	53,1	8,0	6,6	112,9	126,9	20,6	16,4	17,1	15,8
CV (%)	19,8	6,5	18,4	14,5	25,0	11,3	21,5	12,2	3,4	3,1

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas do mesmo ano e cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Ni (1) = aplicação foliar de 30 g ha⁻¹ de Ni em R1 e 30 g ha⁻¹ de Ni R5; Ni (2) = aplicação foliar de 60 g ha⁻¹ de Ni em R1 e 60 g ha⁻¹ de Ni em R5.

5.5.2 Altura de Planta, Número de Ramos e Tamanho de Grãos

A adubação foliar não influenciou a altura das plantas e o número de ramos na BRS 399RR. Mas, para BRS 284, houve incremento significativo do número de ramos com aplicação de Ni na safra 2020-2021 (Tabela 11).

Tabela 11 – Altura de planta e número de ramos de duas cultivares de soja depois da adubação foliar com Ni em estádios R1 e R5.

Tratamentos	Altura		Ramos	
	(cm)		(n)	
	Cultivar BRS 399 RR			
	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021
Controle	65,6 a	91,8 a	1,7 a	3,0 a
Ni (1)	66,6 a	93,2 a	1,4 a	2,7 a
Ni (2)	65,8 a	84,5 a	1,6 a	3,2 a
Média	66,0	89,8	1,6	3,0
CV (%)	9,9	9,6	40,9	23,5
	Cultivar BRS 284			
Controle	105,5 a	111,5 a	0,3 a	2,0 b
Ni (1)	110,5 a	112,4 a	0,2 a	2,1 a
Ni (2)	106,2 a	111,5 a	0,2 a	2,4 a
Média	107,4	112,1	0,3	2,2
CV (%)	5,6	4,9	45,3	14,2

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas do mesmo ano e cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Ni (1) = aplicação foliar de 30 g ha⁻¹ de Ni em R1 e 30 g ha⁻¹ de Ni em R5; Ni (2) = aplicação foliar de 60 g ha⁻¹ de Ni em R1 e 60 g ha⁻¹ de Ni em R5.

O tamanho de grãos retidos na peneira >4,76 mm × 19,05 mm, aumentou com aplicação de 60 e 120 g ha⁻¹ de Ni na BRS 284, e para BRS 399RR na safra de 2019/2020. Enquanto para a quantidade de grãos retidos nas peneiras 4,76 mm × 19,05 mm houve incremento somente na cultivar BRS 284 na safra 2019/2021 (Tabela 12).

Tabela 12 – Médias das duas safras do tamanho de grãos de duas cultivares de soja depois da adubação foliar com Ni em estádios R1 e R5.

Tratamentos	Tamanho de grãos					
	>4,76 mm×19,05 mm		4,76 mm ×19,05 mm		<4,76 mm×19,05 mm	
	(%)		(%)		(%)	
	Cultivar BRS 399 RR					
	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021
Controle	62,4 b	67,0 a	24,1 a	17,9 a	8,7 a	15,1 a
Ni (1)	66,8 a	69,3 a	25,6 a	16,8 a	7,1 a	14,0 a
Ni (2)	69,5 a	66,9 a	22,7 a	17,7 a	6,5 a	15,4 a
Média	66,2	67,7	24,1	17,4	7,4	14,8
CV (%)	6,1	7,0	16,0	12,0	21,2	22,2
	Cultivar BRS 284					
Controle	64,4 b	31,0 b	22,1 a	35,0 a	9,5 a	33,0 a
Ni (1)	66,8 ab	35,5 a	20,4 a	34,1 a	7,9 a	30,5 b
Ni (2)	70,2 a	36,5 a	21,3 a	33,5 a	8,9 a	30,0 b
Média	67,1	34,8	21,3	34,1	8,7	31,1
CV (%)	6,6	9,1	10,6	8,3	24,6	4,9

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna e cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Ni (1) = aplicação foliar de 30 g ha⁻¹ de Ni em R1 e 30 g ha⁻¹ de Ni em R5; Ni (2) = aplicação foliar de 60 g ha⁻¹ de Ni em R1 e 60 g ha⁻¹ de Ni em R5.

5.5.3 Nitrogênio nas Folhas Diagnóstico e Grãos e Teor Foliar de Clorofila

Na cultivar BRS 284, a aplicação de 60 e 120 g ha⁻¹ de Ni incrementou em 7,1 e 7,8 % o teor de N foliar nas safras de 2019-2020, e 18,5 e 14,0% na safra 2020-2021, quando comparado com o controle (Figura 9 B), enquanto na cultivar BRS 399RR houve incremento de 16,5 e 14,5 na safra 2019-2020 quando comparado com o controle (Figura 9 A). Já na safra 2020-2021, a aplicação de 60 e 120 g ha⁻¹ de Ni reduziu 13,1 e 12,9% os teores de N foliar na BRS 399 RR (Figura 9 A).

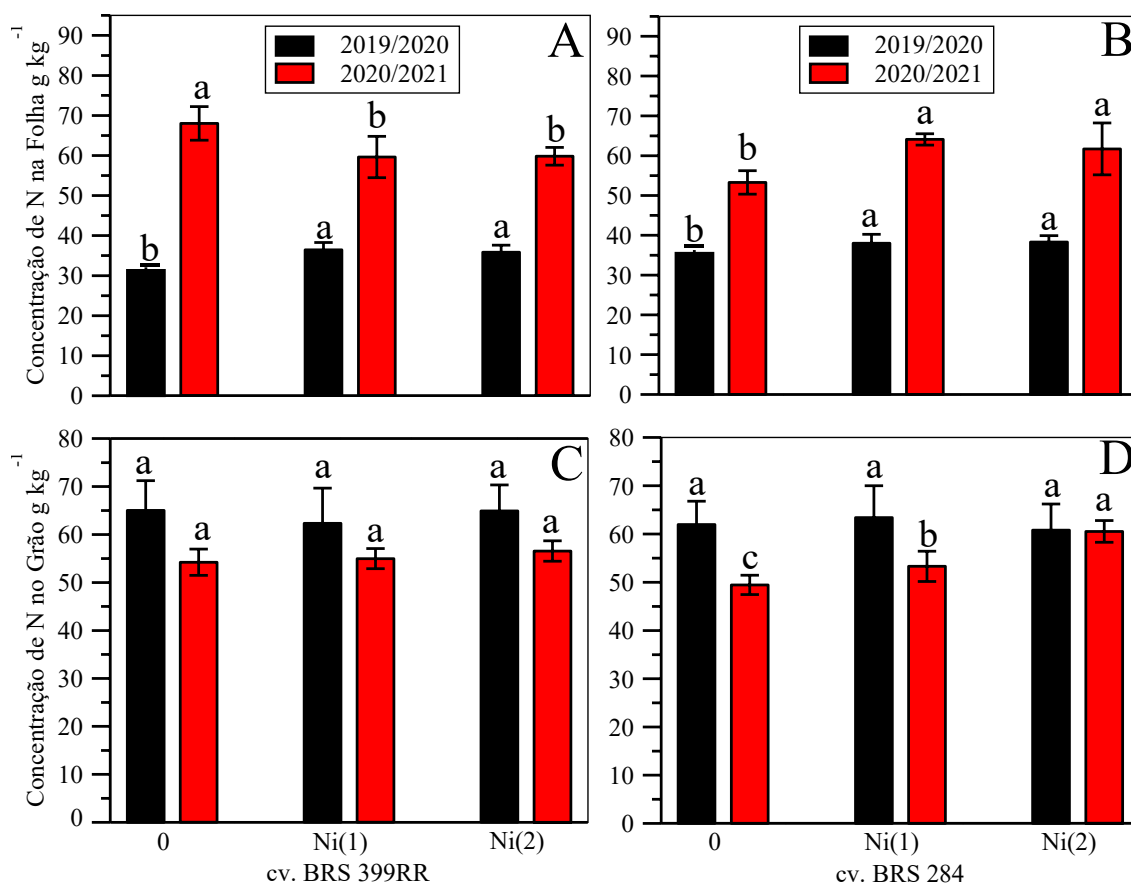


Figura 9. Nitrogênio nas folhas e grãos de duas cultivares de soja depois da aplicação foliar com Ni em estádios R1 e R5. Valores das médias de oito repetições e os desvios padrões. Tratamentos com a mesma letra, em cada ano, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Amostras de folhas colhidas no estágio R6. 0 = Controle; Ni (1) = aplicação foliar de 30 g ha⁻¹ de Ni em R1 e 30 g ha⁻¹ de Ni em R5; Ni (2) = aplicação foliar de 60 g ha⁻¹ de Ni em R1 e 60 g ha⁻¹ de Ni em R5.

A adubação foliar com 60 e 120 g ha⁻¹ de Ni incrementou em 7,9 e 22,4% o acúmulo de N nos grãos, somente na BRS 284 na safra 2020-2021 (Figura 9 D), enquanto na BRS 399RR, não houve diferença com aplicação de Ni nas duas safras (Figura 9 C), o mesmo ocorreu com a teor foliar de clorofila (Anexo B).

5.5.4 Proteína, Óleo e Produtividade de Proteína dos Grãos

Às aplicações foliar de Ni não influenciou significativamente o teor de

proteína e óleo nos grãos nas duas cultivares de soja e safras avaliadas, quando comparados com o controle (Figuras 10A, 10B, 10C e 10D).

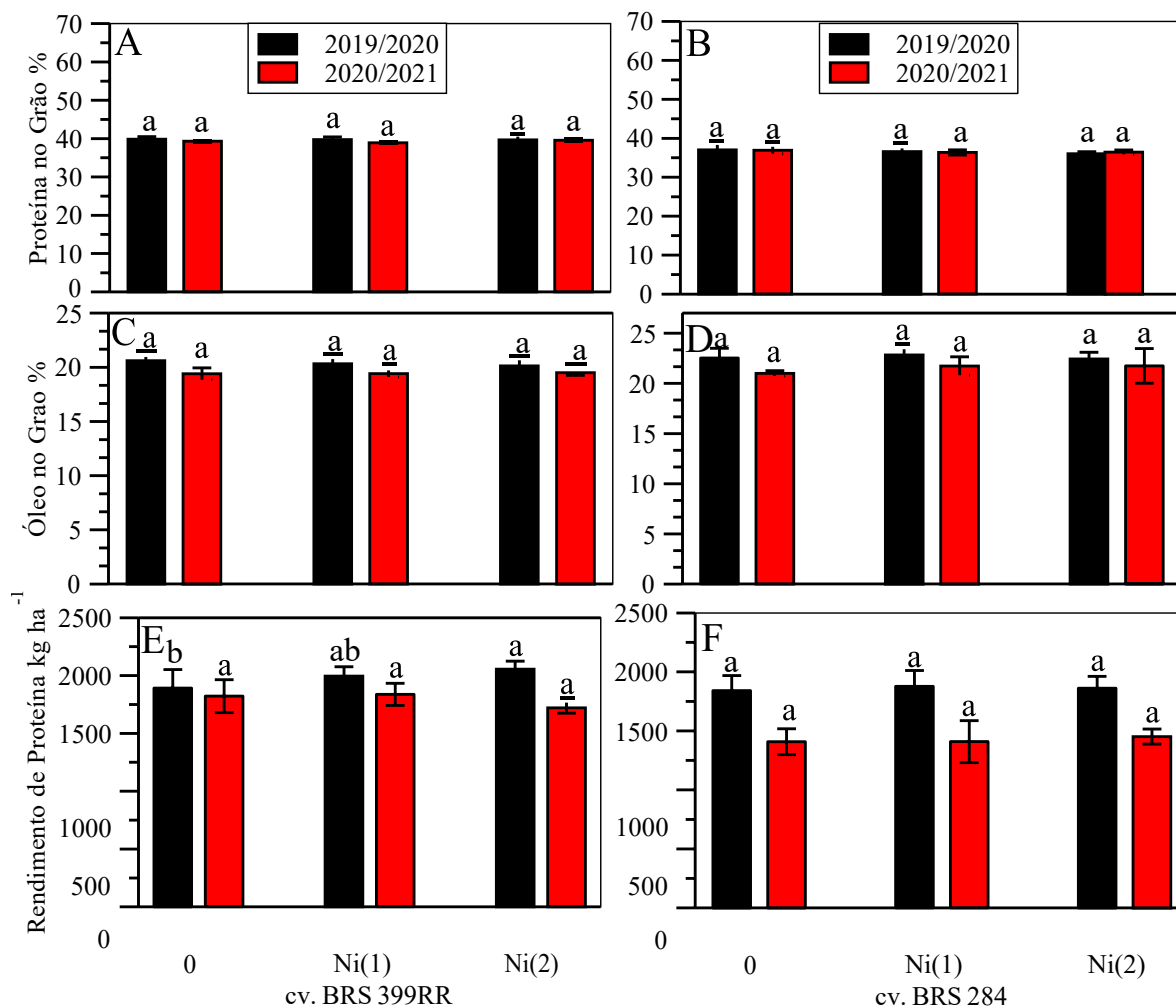


Figura 10 - Teor de proteína e óleo nos grãos e produtividade de proteína das duas cultivares de soja, depois da aplicação foliar de Ni em estádios R1 e R5. Valores das médias de oito repetições e os desvios padrões. Tratamentos com a mesma letra, em cada ano e cultivar, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). 0 = controle; Ni (1) = aplicação foliar de 30 g ha⁻¹ de Ni em R1 e 30 g ha⁻¹ de Ni em R5; Ni (2) = aplicação foliar de 60 g ha⁻¹ de Ni em R1 e 60 g ha⁻¹ de Ni em R5.

A aplicação foliar de 60 e 120 g ha⁻¹ de Ni incrementou a produtividade de proteína em 5,4 e 8,6% na BRS 399RR na safra 2019-2020, enquanto na safra 2020-2021 nas duas cultivares não houve diferenças entre os tratamentos (Figuras 10E e 10F).

5.6 DISCUSSÃO

Na safra 2019-2020 a cultivar BRS 399RR teve incremento de 5,8 e 9,1% na produtividade de grãos (PG) de soja independentemente das doses de Ni (Figura 8 A), possivelmente devido ao incremento do tamanho de grãos (Tabela 12). Na cultivar BRS 284 não foi observada variação na PG (Figura 9 B). Esses efeitos podem ser atribuídos, entre outros fatores, climáticos, como déficit hídrico e temperaturas elevadas observadas durante a fase reprodutiva (Figura 8) ou devido a sensibilidade ao Ni entre as cultivares de soja (FREITAS et al., 2018).

Barcelos et al. (2017) observaram incrementos na PG e número de vagens em plantas de soja com aplicação foliar de Ni no estágio reprodutivo R1. As respostas do Ni na cultura da soja têm sido muito variadas, no entanto, os resultados obtidos estão de acordo com os resultados de Macedo et al. (2016), Levy et al. (2019) e Rodak (2014), visto que a suplementação adequada de Ni pode reduzir o acúmulo de ureia nas folhas e incrementar a atividade da enzima urease, e por sua vez a concentração do teor de amônia (NH_3) nas folhas potencializando a atividade da nitrogenase, concentração de ureídeos, número e peso dos nódulos por planta (LAVRES et al., 2016; FREITAS et al., 2019), o que maximiza a FBN e melhora o metabolismo do N (MACEDO et al., 2016), que pode traduzir-se em incremento na PG como observado na BRS 399RR na safra 2019-2020 (Figura 8 A).

O teor de N nas folhas da cultivar BRS 284 aumentou nas duas safras (Figura 9 B), enquanto o teor de N nos grãos somente incrementou na segunda safra no tratamento com 120 g ha^{-1} de Ni, (Figura 9 D). Esse efeito positivo na concentração de N foliar observado na cultivar BRS 284 indica que houve melhor assimilação de N proporcionado pela aplicação de Ni, possivelmente devido ao aumento de N proveniente da FBN na forma ureídeos que são transportados dos nódulos para a parte aérea da planta e convertidos em aminoácidos, com a participação da enzima uréase onde o Ni é parte integrante (DIXON et al. 1975; FREITAS et al., 2019), e isso, pode aumentar a translocação de N das folhas para os grãos, como observado no tratamento 120 g ha^{-1} de Ni na segunda safra (Figuras 9B e 9D).

Kutman et al. (2013) e Barcelo et al. (2017) também observaram incremento no teor de N nas folhas de soja depois da aplicação de Ni. Durante o processo de remobilização de N das folhas velhas, proteínas e aminoácidos são

degradados na célula, e ocorre a formação de ureia durante este processo (WITTE, 2011; LAVRES et al., 2016), visto que o Ni favorece o aumento da atividade da enzima uréase, conseqüentemente o metabolismo de N e o aumento da remobilização de N a partir das folhas mais velhas para as mais novas (KUTMAN et al., 2013), para os grãos e outros órgãos de reserva da planta (FREITAS et al., 2018). Isso pode explicar o aumento dos teores de N nas folhas (Figura 9 B). Mesmo com o efeito positivo na dinâmica do N, cada cultivar tem resposta distintas e a redução do teor nas folhas na cultivar BRS 399 RR na safra 2020-2021 pode ter sido ocasionada pelo déficit hídrico durante parte do período de reprodutivo da soja, o que afetou a assimilação do Ni pelas plantas.

Apesar do Ni atuar na síntese do N (LAVRES et al., 2016), o teor de proteína e óleo nos grãos não foram alterados com aplicação de Ni dentro das duas safras e cultivares de soja avaliadas (Figuras 10C e 10D). Apesar do preço da soja, não estar atrelado ao teor de proteína, algumas vezes, o valor nutricional do grão é definido pelo balanço de aminoácidos (ASSEFA et al., 2018), o que pode variar em razão de alguns fatores, como o genético e ambiental (CARRERA et al., 2009; PÍPOLO, 2015; ASSEFA et al., 2018), que são difíceis de controlar, e que podem favorecer ou não o acúmulo de proteína nos grãos.

A produtividade de proteína aumentou somente no tratamento 120 g ha⁻¹ de Ni na cultivar BRS 399RR na safra 2019-2020 (Figura 10 E), cujo resultado se deve ao aumento da PG na referida safra (Figura 8 A), visto que ambos apresentam correlação positiva.

As condições climáticas são dos principais fatores que influenciam a produção agrícola, principalmente em cultivo não irrigado de soja, levando a redução da produção de grãos (RAY et al., 2006). O estresse causado pela falta ou excesso de chuvas e alteração de amplitude de temperatura (i.e., temperaturas do ar 20 a 30 °C fora do ideal para a cultura da soja) influenciam o crescimento e desenvolvimento e, conseqüentemente redução do rendimento da soja (TPS, 2020).

O déficit hídrico (Figura 7) associado as temperaturas altas podem reduzir a PG, visto que, nessas condições, as plantas apresentam baixo crescimento, com abortamento de flores e vagens e redução do peso de grãos, e conseqüentemente, redução na qualidade de grãos que podem ficar comprometidos dependendo da intensidade duração e época de incidência solar no estágio de crescimento da planta (TSP, 2020). Além disso, o estresse causado pelo estresse

hídrico durante o estágio de enchimento dos grãos reduz a concentração de ureídeos através da redução da FBN (REIS et al., 2021).

5.7 CONCLUSÃO

A aplicação foliar de Ni em R1 e R5, teve efeito na produção de grãos de soja na cultivar BRS 399RR somente no primeiro ano, enquanto no segundo ano não houve efeito em função das doses de Ni aplicada, este mesmo comportamento foi observado no teor de N nas folhas. Com relação a cultivar BRS 284, a aplicação foliar de Ni não influenciou a produtividade de grãos nas duas safras, apesar de que aplicação foliar de Ni nos estádios R1 e R5 terem incrementado o teor foliar de N. Independentemente da cultivar de soja e das doses, a aplicação foliar de Ni no estágio reprodutivo nas condições edafoclimáticas estudadas, não interferiu no teor de proteína e óleo nos grãos independente da cultivar de soja.

6 ARTIGO D: ADUBAÇÃO FOLIAR COM NITROGÊNIO E NITROGÊNIO+NÍQUEL NA PRODUTIVIDADE, COMPONENTES DE PRODUÇÃO E QUALIDADE DOS GRÃOS DE SOJA

6.1 RESUMO

A soja é a principal fonte de proteína vegetal e os altos teores proteícos estão associados à maior capacidade das plantas em absorver e utilizar o nitrogênio (N) do solo e atmosférica, com isso, o aumento dos teores de proteína nos grãos de soja exige a maximização não apenas da capacidade de absorção além do processo de fixação biológica do N (FBN). O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adubação foliar com N e N+Ni no incremento da produtividade de grãos (PG), componentes de rendimento, teores de N e proteína e óleo em duas cultivares de soja sob sistema de plantio direto (SPD). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial (3×2×2) com oito repetições. Na cultivar BRS 399RR, a adubação foliar com N e N+Ni incrementou em 14.5 e 16.2% a PG na primeira safra, enquanto na BRS 284 não foi influenciada pelos tratamentos. Na média das duas safras, o teor de N nas folhas aumentou em 16,3 e 17,0% com aplicação de N e N+Ni na cultivar BRS 284, enquanto na BRS 399 RR houve incremento de 13.1 e 10.3% somente na safra 2019-2020, para a safra 2020-2021, a aplicação de N e N+Ni reduziu em 10.9 e 15.5% o teor foliar de N. Na primeira safra, o teor de proteína nos grãos diminuiu 1.3% na cultivar BRS 399 RR, apesar disso, devido ao aumento da PG, houve um incremento de 15.1 e 12.5% na produtividade de proteína, fato esse não observado na cultivar não transgênica BRS 284. A eficiência de utilização de N e N+Ni variam entre as cultivares de soja e são influenciados pelas condições de tempo durante a safra.

Palavra-chave: *Glycine max*, macronutrientes e micronutriente, teores de proteína e óleo nos grãos.

6.2 ABSTRACT

Soybean is the main source of vegetable protein and high protein levels are associated with the higher capacity of plants to absorb and use nitrogen (N)

from soil and atmosphere, increase in protein content in soybeans requires the maximization not only of the absorption capacity beyond the biological fixation process of N (BNF). The objective of this study was to evaluate the effect of foliar fertilization with N and N+Ni in the increase of grain yield (PG), yield components, N, and protein and oil contents in two soybean cultivars on a no-tillage system in two soybean cultivars. The experimental design was randomized blocks in a factorial scheme (3x2x2) with eight replications. In the cultivar BRS 399 RR, foliar fertilization with N and N+Ni increased by 14.5 and 16.2% of the PG in the first crop, while BRS 284 was not influenced by the treatments. In the average of the two seasons the N content in the leaves increased by 16.3 and 17.0% with the application of N and N+Ni in the cultivar BRS 284, while in the BRS 399 RR, there was an increase of 13.1 and 10.3% only in 2019-2020 season. While in the 2020-2021, the application of N and N+Ni reduced by 10.9 and 15.5% the leaf content of N. In the first crop season, the protein content in the grains decreased by 1.3% in the cultivar BRS 399 RR, despite this, due to the increase of PG, there was an increase of 15.1 and 12.5% in protein yield, a fact not observed in the non-transgenic cultivar BRS 284. The efficiency of N and N+Ni uses varies among soybean cultivars and is influenced by the conditions of the weather during the seasons.

Key words: *Glycine max*, macronutrient and micronutrient, protein and oil content.

6.3 INTRODUÇÃO

O alto teor de proteína nos grãos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é resultado principalmente da alta demanda de nitrogênio (N) durante todo o ciclo da cultura (BARKER; SAWYER, 2005) e as principais fontes para suprir essa demanda são provenientes principalmente da matéria orgânica do solo (MOS) e da fixação biológica de N (FBN) (HUNGRIA; MENDES, 2015). No entanto, para altos rendimentos é necessário fomentar a aquisição de N no final do estágio reprodutivo das plantas para aumentar a produtividade e os teores de proteína nos grãos (MOREIRA et al., 2017), que pode ser feito com a melhora da qualidade do manejo do solo, diminuição das perdas da eficiência da remobilização do teor de N durante todo o ciclo da cultura (RODRIGUES et al., 2021) e com a adubação foliar (MOREIRA et al., 2017).

Para que ocorra a maximização do processo de FBN é necessário a suplementação adequada de molibdênio (Mo), cobalto (Co) e níquel (Ni) durante todo ciclo das plantas (SFREDO; OLIVEIRA, 2010; LAVRES; FRANCO; CÂMARA, 2016). Esses elementos atuam como componentes de enzimas (MENGEL; KIRKBY, 2001; TAIZ et al., 2015), como por exemplo o Ni, que atua na biossíntese da enzima hidrogenase que recicla o hidrogênio (H) nos bacteroides e torna a FBN mais eficiente (URETA et al., 2005; MARSCHNER, 2012) e também no metabolismo da ureia, em que o Ni é componente da enzima urease.

A aplicação de Ni na soja para o aumento da eficiência de N e da FBN vem sendo incorporado no sistema de manejo (MOREIRA; MORAES, 2018). Com relação à adubação nitrogenada, a aplicação no plantio ou no início da germinação das plântulas não tem apresentado incrementos na produção de soja (HUNGRIA; MENDES, 2015; MOREIRA et al., 2015), enquanto a aplicação foliar nas fases reprodutivas têm apresentado respostas positivas (MOREIRA et al., 2017; RODRIGUES et al., 2021) mostrando ser uma alternativa eficiente para suplementar as plantas com N no final do ciclo e maximizar as funções metabólicas para que não ocorra o abortamento das flores e vagens durante a senescência das plantas (MOREIRA; MORAES, 2018; RODRIGUES et al., 2021).

Em decorrência das funções metabólicas do Ni nas plantas para o uso eficiente de N (Rodrigues et al., 2021) em conjunto com a suplementação de N na forma amídica quando a planta sinaliza o início da senescência pode resultar em aumento na produtividade e no teor de proteína nos grãos da soja (MOREIRA et al., 2017; MOREIRA; MORAES, 2018), principalmente devido aos efeitos negativos do estresse abiótico (déficit hídrico e alta temperatura) na FBN diminuindo o suprimento de N para as plantas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar se a adubação foliar com N e N + Ni incrementa a produtividade, componentes de rendimento, teores de N e proteína e óleo dos grãos em duas cultivares de soja cultivadas em sistema plantio direto (SPD).

6.4 MATERIAIS E MÉTODOS

6.4.1 Local de Estudo e Caracterização do Solo

O experimento foi realizado em condições de campo não irrigado sob

o SPD consolidado nas safras de 2019-2020 e 2020-2021 na Embrapa Soja, Londrina, Estado do Paraná localizada nas coordenadas 23°11'39" LS e 51°10'40" LW e 560 m de altitude. O clima da região é descrito como clima subtropical úmido (Cfa), com temperatura do ar média do mês mais frio inferior a 18°C e temperatura do ar média no mês mais quente acima de 22°C. As temperaturas máximas e mínimas mensais (Figuras 11A e 11B) e os balanços hídricos no período de condução do experimento (2019-2020 e 2020-2021) foi feito conforme metodologia descrita por Thornthwaite; Mather (1955), considerando a capacidade de água disponível (CAD) de 75 mm (Figuras 11C e 11D). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico (LVE), com os seguintes atributos químicos antes da aplicação dos tratamentos (Tabela 13).

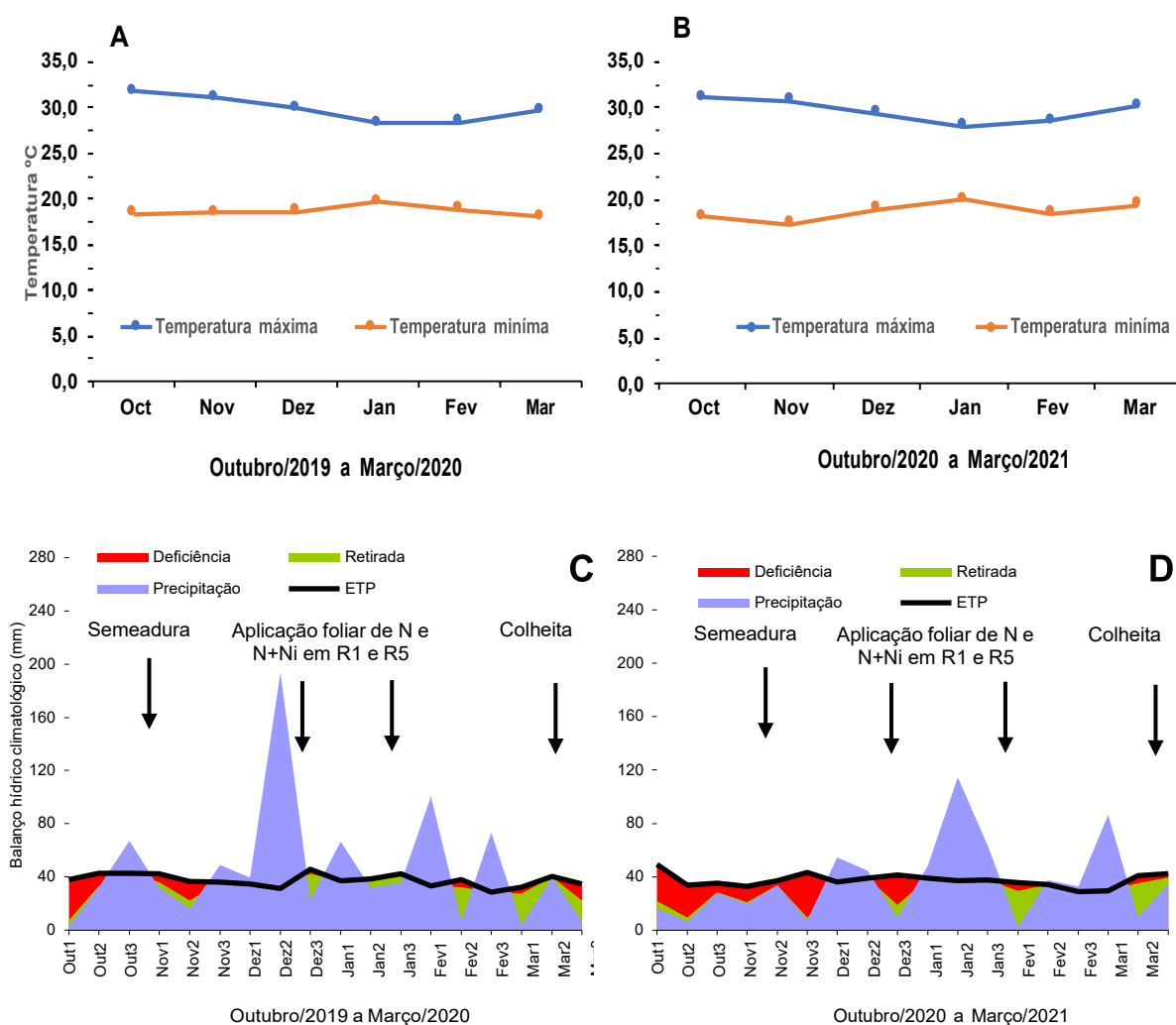


Figura 1- Temperatura máxima e mínima e o balanço hídrico climatológico decendial durante a condução do experimento (2019-2020 e 2020-2021) na Embrapa Soja -

Londrina, Estado do Paraná.

Tabela 13- Atributos químicos do solo antes da implantação do experimento.

Propriedades	Unidades	Profundidade Cm		
		0 -10	10-20	20-40
pH CaCl ₂	-	5,1	4,9	4,8
*COT	g dm ³	17,9	14,4	10,0
P-Mehlich	mg dm ³	26,7	13,6	5,9
*P _{-remanescente}	mg L ⁻¹	14,2	11,2	7,62
Al ³⁺	cmol _c dm ³	0,0	0,1	0,1
Ca ²⁺	cmol _c dm ³	3,7	3,4	3,29
Mg ²⁺	cmol _c dm ³	1,8	1,7	1,5
K ⁺	cmol _c dm ³	0,9	0,6	0,4
Soma de base	cmol _c dm ³	6,4	5,7	5,2
CTC	cmol _c dm ³	11,4	11,3	10,0
V	%	56,3	50,8	52,0
S-SO ₄ ²⁻	mg dm ³	11,5	19,5	47,9
B	mg dm ³	0,3	0,2	0,2
Cu-Mehlich 1	mg dm ³	20,3	20,3	21,5
Fe-Mehlich 1	mg dm ³	40,4	37,3	53,4
Mn-Mehlich 1	mg dm ³	153,2	108,4	87,4
Zn-Mehlich 1	mg dm ³	3,1	2,4	1,5

COT, carbono orgânico total; CTC, capacidade de troca catiônica; V, saturação por bases. Análises realizadas de acordo com (TEIXEIRA et al., 2017).

6.4.2 Delineamento Experimental, Adubação e Semeadura

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 3×2×2 com oito repetições. Os tratamentos foram constituídos pela adubação foliar (Controle (sem aplicação de N), 10 kg ha⁻¹ de N e N+Ni (10 kg ha⁻¹ de N + 120 g ha⁻¹ de Ni), duas cultivares de soja (BRS 284 e BRS 399RR) e duas épocas de colheita (2019-2020 e 2020-2021). A adubação foliar foi parcelada em duas aplicações de 5,0 kg ha⁻¹ de N no estágio R1 e 5,0 kg ha⁻¹ no estágio R5, e no tratamento com Ni foi aplicado com as doses de N, 60 g ha⁻¹ de Ni no estágio R1 e 60 g ha⁻¹ de Ni em R5.

O N foi aplicado na forma de ureia (45% de N) e o Ni a fonte foi o cloreto de níquel (NiCl₂, 25% de Ni). As aplicações foram feitas com pulverizador com pressão de CO₂ constante e com vazão contínua de 160 L ha⁻¹. Trinta dias antes do plantio foi aplicado o calcário dolomítico (MgO > 13%) para elevar a saturação por bases (V) a 70%. Todas as sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium elkanii*

(SEMIA 587 e SEMIA 5019) na concentração de $1,2 \times 10^6$ células por semente. Foi realizado a adubação de base com 300 kg ha^{-1} do formulado 0-20-20 (N-P₂O₅-K₂O), e sessenta dias após a emergência foi aplicado em cobertura 40 kg ha^{-1} de K₂O na forma de KCl (60% de K₂O). Todo o manejo cultural foi realizado de acordo com as recomendações de Tecnologias de Produção de Soja (TPS, 2020).

As cultivares de soja utilizadas foram a BRS 284 [(convencional, hábito de crescimento indeterminado e grupo de maturação 6.3) e a BRS 399 RR (transgênica, hábito de crescimento indeterminado e grupo de maturação 6.0, de acordo com Melo et al. (2016) e Abdelnoor (2019)]. A semeadura foi realizada com espaçamento entre linhas de 50 cm e densidade de plantio de $250.000 \text{ plantas ha}^{-1}$. Cada parcela foi constituída de $5 \times 2 \text{ m}$, para as avaliações considerou-se as duas linhas centrais de cada parcela como área útil. Durante as entre safra de soja a cultura de aveia foi utilizada como planta de cobertura.

6.4.3 Amostragem de Folhas, Plantas e Colheita

No estádio R6 foram colhidas ao acaso 15 folhas sem pecíolo do terceiro trifólio do terço superior, para determinação do teor foliar de N. Após a maturação fisiológica (FEHR et al., 1971) foram colhidas cinco plantas em cada parcela e determinou-se altura de plantas (AP), número de hastes (NH), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 sementes, tamanho de sementes ($>4,76 \text{ mm} \times 19,05 \text{ mm}$, $4,76 \text{ mm} \times 19,05 \text{ mm}$ e $<4,76 \text{ mm} \times 19,05 \text{ mm}$). Para o cálculo da produtividade, colheu-se cada parcela para determinação da massa e umidade dos grãos, posteriormente, corrigiu-se a massa dos grãos considerando-os com 13% de umidade.

6.4.4 Análise do Nitrogênio na Folha Diagnóstico e nos Grãos

Antes da determinação do N total, as amostras foram secas em estufa com ventilação forçada a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ por 72 horas até o peso constante, posteriormente foram moídas em moinho tipo Wesley com malha de 1,0 mm. Foi feita a digestão do material (folhas e grãos) com ácido sulfúrico concentrado em bloco digestor com temperatura de até $350 \text{ }^\circ\text{C}$, e, posteriormente foi realizada as determinações de N nas folhas e nos grãos por colorimetria (SEARLE, 1984).

6.4.5 Determinação de Óleo e Proteína nos Grãos

Os teores de óleo e proteína nos grãos foram determinados com a técnica de espectroscopia de infravermelho próximo (FT-NIR, Antaris II, Thermo, Thermo Scientific, Califórnia – USA) dotado de esfera de integração e leitura na faixa de 1100 e 2500 nm.

6.4.6 Análise Estatística

Os resultados foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade de variância, e realizou-se a análise de variância (ANOVA), teste F a 5% de significância e a separação de médias pelo teste de Tukey a 5% de significância, usando software SPSS (IBM CORP. RELEASED, 2017).

6.5 RESULTADOS

6.5.1 Produtividade de Grãos e Componentes de Rendimento

Na safra 2019-2020, BRS 399 RR a adubação foliar com N e N+Ni incrementou em 14,5 e 16,2% a produtividade de grãos (PG) (Figura 12A), enquanto na cultivar BRS 284, a adubação foliar com N e N+Ni não influenciou a PG nas duas safras (Figura 12B).

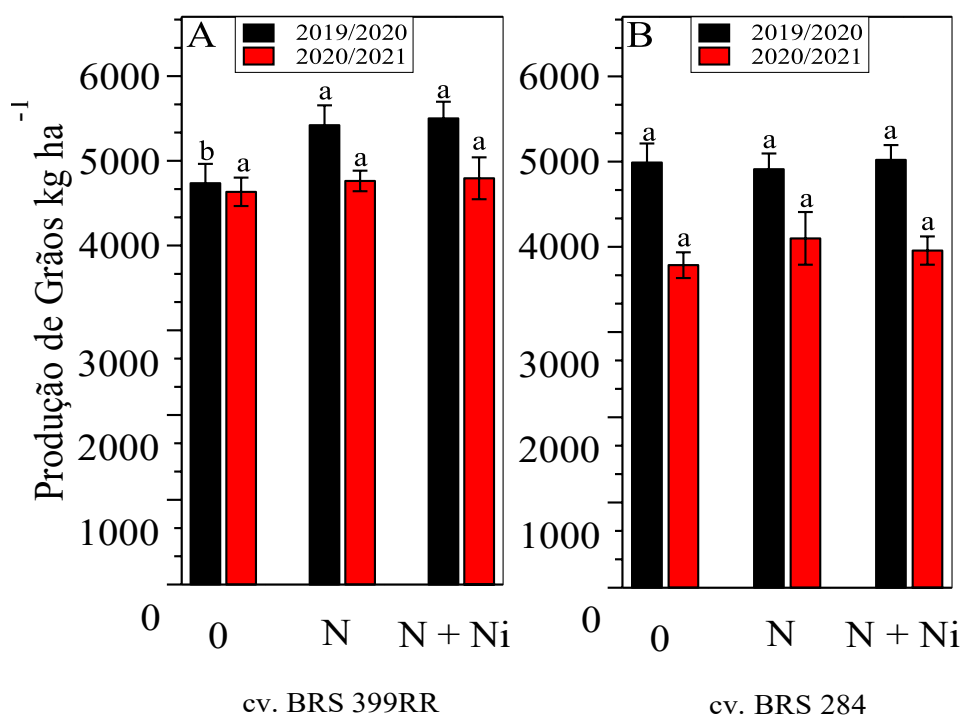


Figura 12 - Produtividade de duas cultivares de soja, depois da adubação foliar com N e N+Ni em estádios R1 e R5. Valores das médias de oito repetições e os desvios padrões. Tratamentos com a mesma letra, em cada ano ou média dos anos estudados não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Na cultivar BRS 399 RR, a aplicação foliar de N+Ni reduziu em 12,9% o NV e a aplicação de N e N+Ni reduziu 7,1 e 7,2% o NGP na safra 2020-2021 (Tabela 14), enquanto na cultivar BRS 284 houve incremento de 25,5% no NV com aplicação de N+Ni (Tabela 3). Com relação ao NVTS, NGTS e massa de 100 grãos, não houve diferenças entre os tratamentos nas duas cultivares e safras avaliadas (Tabela 14).

Tabela 14 – Número de vagens (NV), número de vagens do terço superior (NVTS), número de grão por planta (NGP), número de grão do terço superior (NGTS), e massa de 100 grãos de duas cultivares de soja, depois da adubação foliar com N e N + N.

Tratamentos	NV		NVTS		NGP		NGTS		Massa 100 grãos	
	(n)	(n)	(n)	(n)	(n)	(n)	(n)	(n)	(g)	(g)
Cultivar BRS 399 RR										
	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021
Controle	37,6 a	86,3 a	13,1 a	7,9 a	75,7 a	191,8 a	29,3 a	19,0 a	15,1 a	12,1 a
N (Ureia)	40,0 a	81,9 ab	13,7 a	7,4 a	84,3 a	178,0 b	31,6 a	19,0 a	15,4 a	12,2 a
N+Ni	43,0 a	75,2 b	14,1 a	8,4 a	88,0 a	177,3 b	30,4 a	18,1 a	15,5 a	12,2 a
Média	40,2	81,1	13,6	7,8	82,7	182,4	18,1	18,9	15,3	12,2

CV (%)	24,0	6,8	12,5	12,6	24,1	4,6	11,7	10,8	3,1	4,1
Cultivar BRS 284										
Controle	43,9 a	50,0 b	8,1 a	6,8 a	112,5 a	123,8 b	20,3 a	15,4 a	16,8 a	15,7 a
N (Ureia)	43,7 a	51,5 b	8,8 a	6,7 a	116,6 a	131,6 ab	23,8 a	17,7 a	17,1 a	15,6 a
N+Ni	42,7 a	62,9 a	9,8 a	6,9 a	113,1 a	154,7 a	26,6 a	15,4 a	17,4 a	15,9 a
Média	43,4	55,1	8,9	6,6	114,1	137,5	23,6	16,2	17,1	15,8
CV (%)	17,7	10,6	26,1	13,5	20,3	14,7	28,0	9,5	3,3	2,7

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, e cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

6.5.2 Altura de Planta, Número de Ramos e Tamanho de Grãos

A adubação foliar com N+Ni incrementou significativamente em 40.0% o número de ramos, somente para BRS 399RR na safra 2020/2021 (Tabela 15). Por outro lado, não se observou influenciou para a altura das plantas com a aplicação de N e N + Ni, nas duas cultivares e safras (Tabela 15).

Tabela 15 – Altura de planta e número de hastes de duas cultivares de soja depois da adubação foliar com Co + Mo em estádios V3 e V5, e Ni e N nos estádios R1 e R5. Médias dos dois anos de cultivo

Tratamentos	Altura		Ramos	
	(cm)		(n)	
	Cultivar BRS 399 RR			
	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021
Controle	65,6 a	91,8 a	1,7 a	3,0 b
N (Ureia)	65,6 a	86,1 a	1,6 a	3,1 ab
N+Ni	67,4 a	85,2 a	1,7 a	4,2 a
Média	66,2	87,7	1,6	3,4
CV (%)	9,6	12,9	30,9	23,0
Cultivar BRS 284				
Controle	105,5 a	111,5 a	0,4 a	2,0 a
N (Ureia)	110,3 a	112,1 a	0,3 a	2,0 a
N+Ni	105,1 a	116,3 a	0,4 a	2,4 a
Média	107,0	113,7	0,3	2,1
CV (%)	6,7	5,7	45,5	15,4

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, e cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O tamanho de grãos retidos na peneira >4,76 mm × 19,05 mm, 4,76 mm × 19,05 mm incrementou em 9.5 e 7.9% com aplicação de N e N+Ni e <4,76 mm × 19,05 mm na BRS 399 RR, somente na safra 2020-2021. Já para os grãos retidos nas peneiras 4,76 mm × 19,05 mm e >4,76 mm × 19,05 mm não houve diferenças

quando comparado com o tratamento controle nas duas cultivares e safras avaliadas (Tabela 16).

Tabela 16 – Tamanho de grãos de duas cultivares de soja depois da adubação foliar com N (ureia) e N+Ni em estádios R1 e R5.

Tratamentos	Tamanho de grãos					
	>4,76 mm×19,05 mm		4,76 mm ×19,05 mm		<4,76 mm×19,05 mm	
	(%)		(%)		(%)	
Cultivar BRS 399 RR						
	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021
Controle	62,4 b	67,0 a	24,1 a	17,9 a	8,7 a	15,1 a
N (Ureia)	67,9 a	65,6 a	22,4 a	18,9 a	7,5 a	15,3 a
N+Ni	66,9 a	69,6 a	21,5 a	16,8 a	7,4 a	13,6 a
Média	65,7	67,4	22,7	17,8	7,9	14,7
CV (%)	5,2	5,2	11,7	10,0	21,1	16,3
Cultivar BRS 284						
	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021
Controle	64,4 a	32,0 a	22,1 a	35,0 a	9,5 a	33,0 a
N (Ureia)	69,3 a	33,9 a	20,2 a	34,3 a	9,1 a	31,8 a
N+Ni	67,6 a	33,4 a	20,7 a	34,7 a	8,4 a	31,9 a
Média	67,1	33,2	21,0	34,6	9,0	32,2
CV (%)	5,3	13,1	11,6	5,9	25,6	10,5

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna e cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

6.5.3 Nitrogênio nas Folhas e nos Grãos

Nas safras 2019-2020 e 2020-2021, na cultivar BRS 284, a aplicação de N e N+Ni incrementou em 9,0 e 8,7% e 23,5 e 24,0% o teor de N nas folhas, quando comparado com o controle (Figura 13B), enquanto na BRS 399RR houve incremento de 13,1 e 10,3% somente na safra 2019-2020, para a safra 2020-2021, a aplicação de N e N+Ni reduziu em 10,9 e 15,5% o teor de N foliar na BRS 399 RR (Figura 13A).

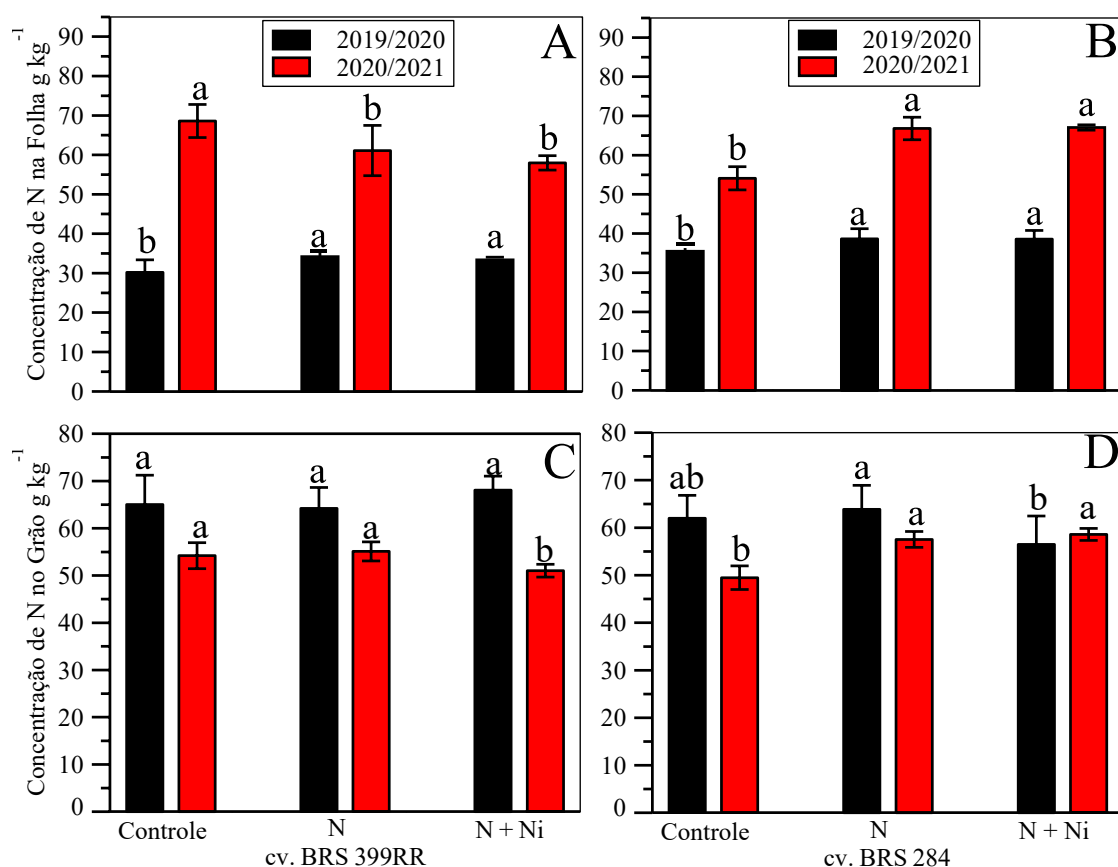


Figura 13. Teor de nitrogênio nas folhas e grãos de duas cultivares de soja depois da aplicação foliar com N (ureia) e N+Ni nos estádios R1 e R5. Valores das médias de oito repetições e os desvios padrões. Tratamentos com a mesma letra, em cada cultivar e ano de cultivo não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Amostras das folhas foram colhidas em estágio reprodutivo R6.

Na safra 2020-2021 na BRS 284, o teor de N nos grãos aumentou em 16,4 e 18,5% nos tratamentos que receberam N e N+N, comparado com o controle (Figura 13 D), enquanto na safra de 2019-2020 o teor de N foi reduzido na presença do Ni quando comparado com o tratamento que recebeu somente N (Figura 13D), o mesmo ocorreu na mesma safra na cultivar BRS 399R (Figura 13C).

6.5.4 Teores de Proteína, Óleo e Produtividade de Proteína dos Grãos

O teor de proteína nos grãos diminuiu em 1,3% no tratamento com N+Ni na cultivar BRS 399 RR safra 2019-2020 (Figura 14A), no entanto houve

aumento 15,1 e 12,5% na produtividade de proteína (Figura 14E). No caso do teor de óleo não houve influência nos dois tratamentos aplicados quando comparados com o controle (Figura 14C), para cultivar BRS 284, a redução do teor de proteína ocorreu somente na safra 2020-2021 em todos os tratamento quando comparado com o controle (Figura 14B), enquanto no teor de óleo houve incremento na mesma safra com a presença de N e N+Ni (Figura 14D).

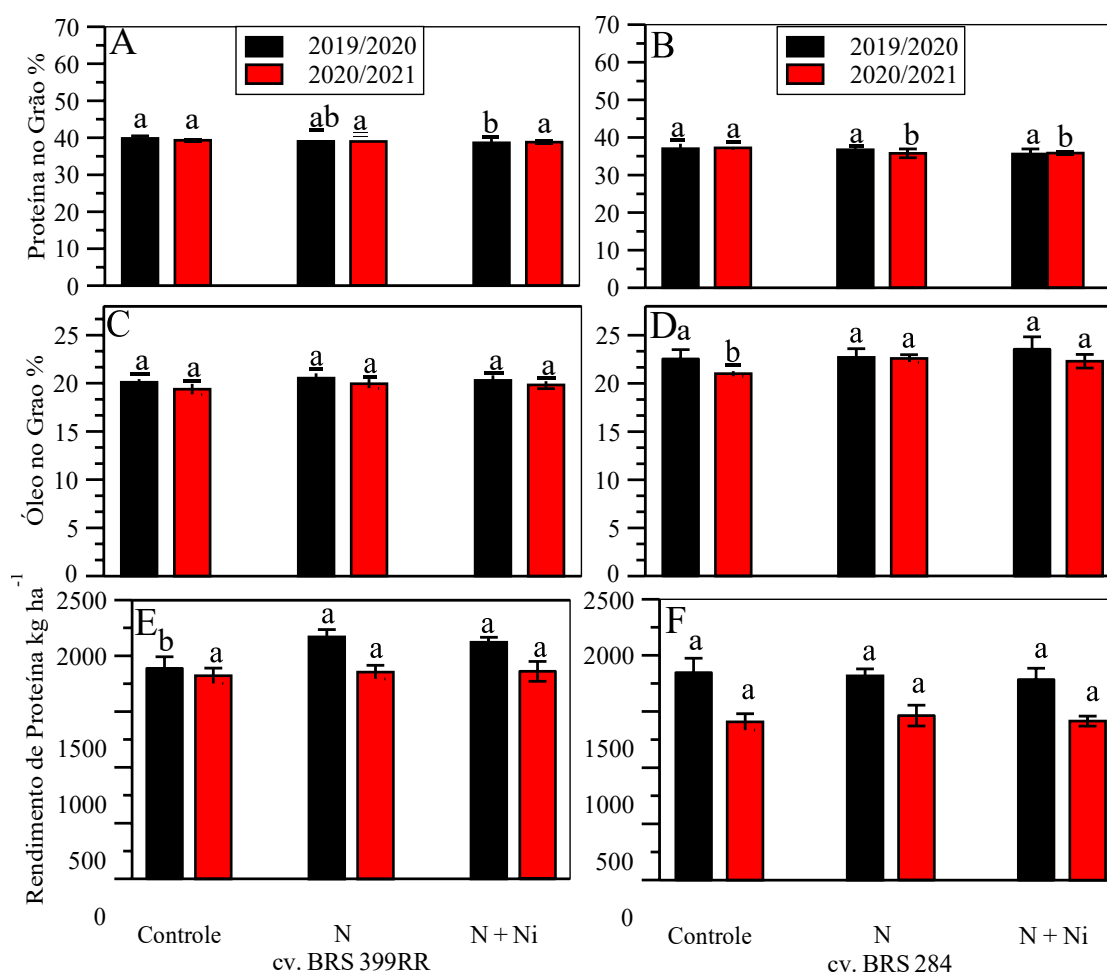


Figura 14 - Teor de proteína nos grãos de duas cultivares de soja depois da aplicação foliar com N (ureia) e N+Ni em estádios R1 e R5. Valores das médias de oito repetições e os desvios padrões. Tratamentos com a mesma letra, em cada ano ou média dos anos estudados, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

6.6 DISCUSSÃO

A adubação nitrogenada no plantio não é indicada em plantas de soja inoculada com *Bradyrhizobium* devido a eficiência da FBN em suprir quase toda a demanda de N (HUNGRIA et al., 2006; HUNGRIA; MENDES, 2015; SATURNO et al., 2017; TPS, 2020), no entanto, o fornecimento de N no final do ciclo pode acarretar incremento significativo na PG (MOREIRA et al., 2017).

A aplicação foliar de N (ureia) de forma isolada ou combinada com Ni nos estádios R1 e R5 teve efeito positivo na PG na cultivar BRS 399 RR, na safra 2019-2021 (Figura 12A), cujo incremento pode ser atribuído ao aumento do tamanho de grãos (Tabela 16), proporcionado pela maior disponibilidade de N na fase reprodutiva e resultando no atraso da senescências das folhas, e aumento do período reprodutivo da cultura pelo suprimento prolongamento de carboidratos para as raízes e nódulos (IKEDA; CHOI; YAMADA et al., 1991; MARSCHNER, 2012), além do papel que o Ni desempenha no metabolismo do N (KUTMAN et al., 2013) como foi observado no presente trabalho.

A ausência de resposta na PG com aplicação de N e N+Ni na cultivar BRS 284 em nenhuma das safras avaliadas (Figura 12B) pode ser atribuído a características da própria cultivar, visto que cultivares de soja desenvolvidas com a prática de inoculação durante o processo de melhoramento genético podem apresentar menor sensibilidade a suplementação externa de N via fertilizante (HUNGRIA; MENDES, 2015). Outro fato é a diferença que cada cultivar apresenta com relação a eficiência de uso de N aliada a sensibilidade da soja a deficiência hídrica, principalmente durante a fase reprodutiva (CORDEIRO; ECHER, 2017).

A aplicação foliar de pequenas quantidades de N na forma amídica ou amoniacal no final do estágio reprodutivo pode beneficiar a cultura e resultar em maior produtividade (MOREIRA et al., 2017), enquanto, Saturno et al. (2017) em outra condição edafoclimática em solos com alto teor de MO não verificaram incremento na PG com aplicação foliar de até 15 kg ha⁻¹ de ureia no estágio de crescimento R 5.3. Cassim et al. (2020) também não observaram incrementos na produção de grãos de soja com aplicação foliar de ureia em R2 na soja. As divergências de respostas desses autores podem ser atribuídas às condições tempo, horário da aplicação, dose, estágio de crescimento e a eficiência de uso de N pelas cultivares utilizadas (IKEDA; CHOI; YAMADA et al., 1991; MARSCHNER, 2012; TAIZ et al., 2015).

Os efeitos positivos da aplicação foliar de N e N+Ni no teor de N foliar com incrementos de 9.0 e 8,7% e de 23.5 e 24.0% na BRS 284 nos dois ciclos (Figura

13B) é um indicativo da maior disponibilidade de N para as plantas proporcionado pela aplicação extra de N e Ni, no qual, o Ni têm o papel de favorecer o aproveitamento de N, devido da sua participação na atividade da enzima urease (KUTMAN et al., 2013; MACEDO et al., 2016; FREITAS et al., 2019). Esses resultados corroboram os de Saturno et al (2017), que também observaram incrementos no teor de N foliar com aplicação de N via foliar no estágio reprodutivo 5.3. Moreira et al. (2017) nas mesmas condições avaliaram o efeito de diferentes fontes e doses de N aplicados via foliar entre os estádios R3 a R4 da soja, não observaram diferenças significativas no teor de N das folhas e grãos, a falta de resposta foi atribuída a alta fertilidade e ao teor de matéria orgânica da camada superficial do solo, e também ao efeito da diluição de N por causa do aumento no rendimento de grãos.

Na safra 2019-2020 a BSR 399 RR apresentou redução do teor de proteína com o incremento da PG (Figura 14A), isso pode ser devido há relação inversa entre os dois, e/ou ao efeito da diluição de N nos grãos. Apesar disso houve aumento da produção de proteína por unidade de área (Figura 14E). Os incrementos do teor de óleo e a redução do teor de proteína observados com aplicação de N e N+Ni na BRS 284 safra 2020-2021 (Figuras 14B e 14D) pode ter sido causado pela relação inversa existente entre o óleo e a proteína. No entanto, o teor de proteína é regido também por muitos outros fatores, como o genético e ambiental (CARRERA et al., 2009; PÍPOLO, 2015; ASSEFA et al., 2018), e que são difíceis de manejar e podem favorecer mais o aumento do teor de proteína ou o de óleo. Além disso, o estresse hídrico e o aumento da temperatura durante a fase de enchimento dos grãos incrementam o teor de proteína (DORNBOS; MULLEN, 1992), o inverso também pode ocorrer (RAIES et al., 2021).

Apesar da forte correlação que possa existir entre N nos grãos e o teor proteína, maiores concentrações de N acumulados nos grãos pode não resultar em alto teor de proteína, visto que o teor total também depende do perfil, composição dos aminoácidos e proporção ou ralação entre os aminoácidos e os tipos de proteínas (MORAES et al., 2006; ASSEFA et al., 2018), e também, o alto custo energético para a síntese de proteína (EGLI; BRUENING, 2007).

6.7 CONCLUSÃO

A suplementação foliar de N na forma amídica de forma isolada e associada ao Ni nos estádios R1 e R5 na cultivar BRS 399 RR acarreta em incremento da produtividade quando as condições climáticas são mais adequadas para o cultivo da soja. No caso da BRS 284, a aplicação de N e N+Ni aumenta o teor de N nas folhas. Os efeitos do N e N+Ni variaram entre as cultivares de soja e são influenciados pelas condições climáticas.

7 ARTIGO E: APLICAÇÃO FOLIAR DE ÁCIDO SALICÍLICO NA PRODUTIVIDADE, COMPONENTES DE PRODUÇÃO E QUALIDADE DOS GRÃOS DE SOJA

7.1 RESUMO

A soja é cultivada pelo seu teor de proteína e óleo nos grãos e aplicação do ácido salicílico (AS), hormônio multifuncional que está presente em todas as partes das plantas, e pode incrementar o teor de proteína nos grãos. O objetivo deste trabalho foi avaliar se a aplicação foliar do AS incrementa a produtividade de grãos, componentes de rendimento, concentração de nutrientes, e teores de óleo e proteína nos grãos da soja. O experimento foi realizado em condições de campo por duas safras sob sistema plantio direto. Os resultados demonstraram que a aplicação foliar de AS incrementou significativamente a produtividade de grãos e de proteína de forma linear, com aumento no número de vagens e grãos por vagens. Houve aumento nos teores de P, K e S nos grãos. Demonstrando que a aplicação de AS pode desencadear em maiores benefícios para as plantas. E esses efeitos positivos se devem, principalmente as funções metabólicas e bioquímicas que o AS desempenha nas plantas e que resulta em maior produtividade de grãos de soja, mesmo em safras com déficit hídrico ou distribuição irregular de chuva.

Palavra-chave: *Glycine max*, fitohormônio, estresse abiótico, concentração de nutrientes nos grãos.

7.2 ABSTRACT

Soybean is grown for its protein and oil content in grains and application of salicylic acid (SA), a multifunctional hormone and is present in all parts of plants can increase the protein content in grains. The objective of this study was to evaluate whether the foliar application of salicylic acid increases grain yield, yield components, nutrient concentration, and oil and protein contents in soybeans. The experiment was carried out under field conditions for two harvests under no-tillage system. The results showed that the foliar application of SA significantly increased grain and protein yield linearly with an increase in the number of pods and grains per pods. There was an increase in the contents of P, K and S in the grains. Demonstrating

that the application of AS can trigger greater benefits for plants. And these positive effects are mainly due to the physiological, metabolic and biochemical functions that AS plays in plants and that results in higher soybean yield even in crops with water deficit or irregular distribution of rain.

Key words: *Glycine max*, phytohormone, abiotic stress, grain nutrients concentration.

7.3 INTRODUÇÃO

O ácido salicílico (AS) é um fitohormônio multifacético de crescimento vegetal, e grande sinalizador molecular, participa na regulação de processos fisiológicos e metabólicos, e com excelente potencial agrônomo para aumentar e melhorar a produção das plantas através do metabolismo, remobilização de N e outros nutrientes para as plantas de soja, além do papel do AS na melhoria da produção e nutrição das plantas, o aumento da resposta da planta a tolerância ao estresse ambiental, incremento da fotossíntese, metabolismo de aminoácidos e proteínas, e acumulação de osmoprotetores como a prolina na planta (MÜLLER; MUNNÉ-BOSCH, 2021; SHARMA et al., 2017, 2018).

Aplicação de AS pode influenciar vários processos fisiológicos, tornado as plantas mais eficientes fisiologicamente e resultar em diferentes respostas nas plantas, como aumento na produtividade de grão, teor de nutrientes, e assimilação de N (KUMAR; DUBE; CHAUHAN, 1999; SHEMI et al., 2021; YILDIRIM; TURAN; GUVENC, 2008) em várias culturas incluindo a soja.

Goli; Pande; Bellaloui (2012) observaram que a aplicação de AS nos estágios vegetativos da soja incrementou a absorção e utilização de nutrientes, incluindo N pelas plantas e também aumentou o teor de proteína nos grãos. Esses e outros efeitos benéficos devido a utilização de AS vem sendo amplamente observados e difundidos, como verificado por Miladinov et al. (2020), que observaram incrementos na produtividade e germinação de sementes de soja com aplicação foliar de 50 mg L⁻¹ de AS no estágio de floração e formação de vagens. Estes autores atribuíram estes efeitos positivos ao papel que ácido salicílico têm na promoção da absorção e transporte dos nutrientes.

O AS atua em processos fisiológicos como na fotossíntese, FBN e no metabolismo do N e demais nutrientes são variados, por isso, o modo de ação do

AS pode depender de muitos fatores, como espécie de planta, condições ambientais, e as concentrações aplicadas (JANDA et al., 2014). A maior parte dos trabalhos sobre o AS na cultura da soja estão focados no seu papel de tolerância ao estresse biótico e abiótico, proteção das plantas contra patógenos, através da sua capacidade de estimulação de defesas nos locais iniciais de infecção, assim como em tecidos distantes onde ainda não ocorreu infecção para indução de resistência (MÜLLER; MUNNÉ-BOSCH, 2021; SHARMA et al., 2018; ZHANG et al., 2020). Estudos voltados para avaliação do efeito do AS na produtividade, componentes de rendimentos, nutrição, teor de proteína e óleo na cultura da soja em condições de campo, sistema plantio direto e em condições tropicais são escassos.

A soja [*Glycine max* (L.) Merr.] é a principal cultura cultivada como fonte de proteína e óleo vegetal e outros elementos essenciais para suprir as necessidades nutricionais dos homens e como suplemento alimentar para os animais, tornando-se assim, numa das maiores culturas agrícolas (WILCOX, 2004).

O objetivo deste trabalho foi avaliar se à aplicação foliar do ácido salicílico (AS) incrementa a produtividade, componentes de rendimento, acúmulo de nutrientes, e teores de óleo e proteína nos grãos da soja cultivada em sistema de plantio direto (SPD).

7.4 MATERIAIS E MÉTODOS

7.4.1 Local de Estudo e Caracterização da Área

O experimento foi realizado em condições de campo não irrigado sob o SPD nas safras de 2020-2021 e 2021-2022 na Embrapa Soja, Londrina, Estado do Paraná, Brasil localizada nas coordenadas 23°11'39" LS e 51°10'40" LW e 560 m de altitude. O clima da região é descrito como clima subtropical úmido (Cfa), com temperatura do ar média do mês mais frio inferior a 18°C e temperatura do ar média no mês mais quente acima de 22°C. Os balanços hídricos no período de condução do experimento de acordo com Thornthwaite; Mather (1955), (Figura 15). Utilizando a capacidade de água disponível(CAD) de 75 mm.

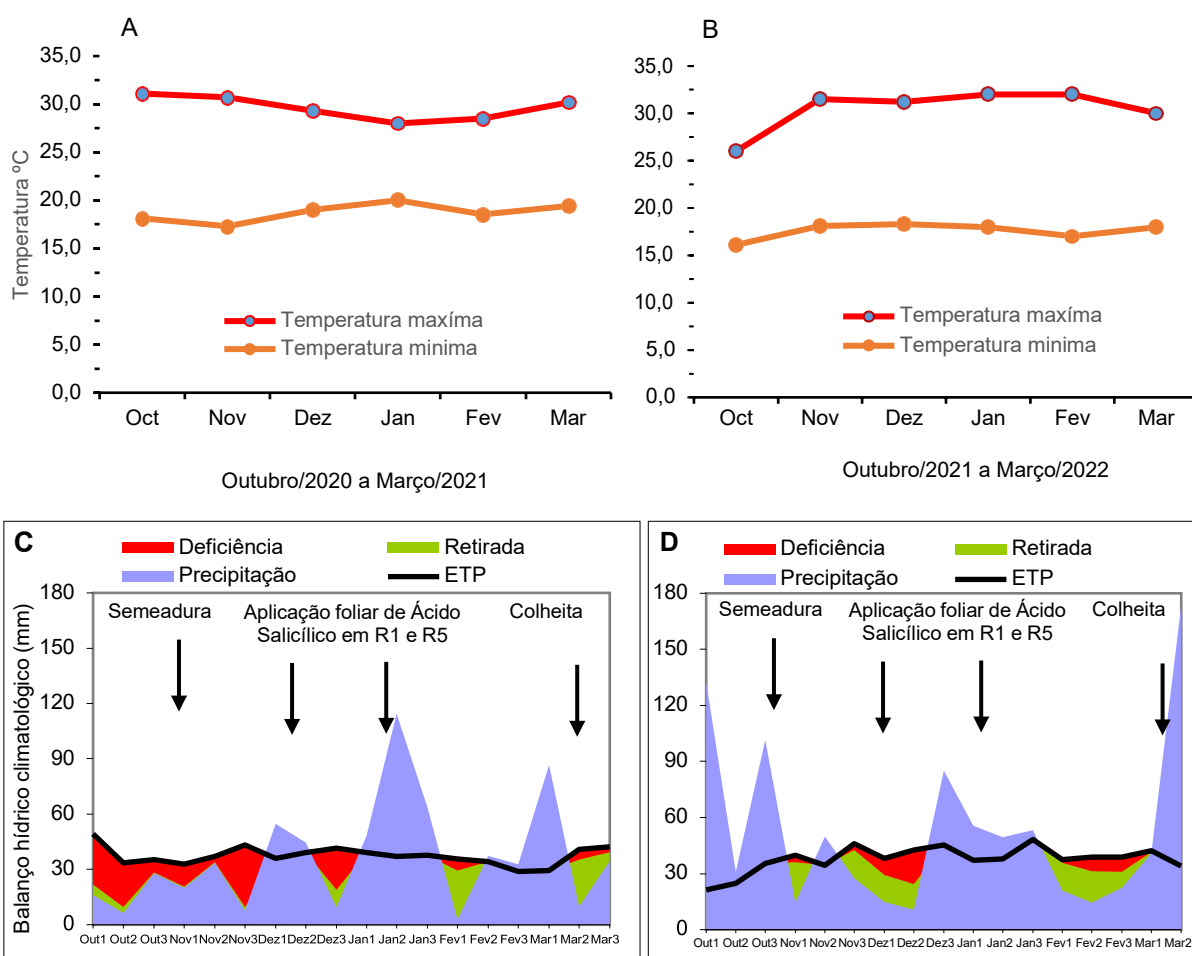


Figura 15 - Temperatura máxima, mínima, e balanço hídrico climatológico decendial – A, e C = Outubro/2020 a Março/2021; B, e D = Outubro/2021 a Março/2022 Embrapa Soja - Londrina, Estado do Paraná. ETP = evapotranspiração.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico típico (LVE), com os seguintes atributos químicos e físicos: pH (CaCl_2) = 4,4, matéria orgânica = $22,5 \text{ g kg}^{-1}$, P-Mehlich = $23,4 \text{ mg kg}^{-1}$, K = $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$, Ca^{2+} = $4,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, Mg^{2+} = $1,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, Al^{3+} = $0,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, H+Al = $6,53 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, S- SO_4^{2-} = $8,4 \text{ mg kg}^{-1}$, B = $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$, Cu = $8,4 \text{ mg kg}^{-1}$, Fe = $112,0 \text{ mg kg}^{-1}$, Mn = $43,2 \text{ mg kg}^{-1}$, Zn = $8,1 \text{ mg kg}^{-1}$, argila = $757,0 \text{ g kg}^{-1}$ e areia = $51,0 \text{ g kg}^{-1}$. As análises de solos foram realizadas de acordo com metodologia proposta por Teixeira et al. (2017).

7.4.2 Delineamento experimental, manejo agrônômico, avaliações e colheita

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro tratamentos e seis repetições. Os tratamentos foram constituídos por (0, 50, 100 e 200 mg ha⁻¹ de ácido salicílico (AS) aplicados nos estádios reprodutivos R1 e R5). As mesmas doses foram aplicadas 50% em cada um dos estádios. O AS foi diluído com etanol à 5%, aplicando cerca de 100 mL⁻¹, e o volume foi completado com água destilada até 1000 mL⁻¹. As aplicações foram feitas com pulverizador com pressão de CO₂ constante e com vazão contínua de 160 L ha⁻¹. Trinta dias antes da semeadura foi aplicado o calcário dolomítico (MgO > 13%) para elevar a saturação por bases (V) a 70%.

Todos os tratamentos incluindo controle foram inoculadas com inoculante comercial líquido contendo *Bradyrhizobium elkanii* (SEMIA 587 e SEMIA 5019) para garantir 1,2 × 10⁶ células por semente.

Foi realizado a adubação de base com 300 kg ha⁻¹ de 00-20-20 (N-P₂O₅-K₂O), e sessenta dias após a emergência foi aplicado, em cobertura, 40 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de KCl (60% de K₂O). Todo o manejo cultural e nutricional foi realizado de acordo com as recomendações de Tecnologias de Produção de Soja (TPS et al., 2020). Foi utilizada a cultivar de soja [(BRS 1003 IPRO, hábito de crescimento indeterminado e grupo de maturação 6.3, de acordo com Melo et al. (2016) e Abdelnoor (2019)]. durante a realização deste trabalho a cultura de aveia foi utilizada como planta de cobertura nas entre safra da soja.

A semeadura foi realizada nos dias 09/11/2020 e 22/01/2021, com espaçamento entre linhas de 50 cm e densidade de plantio de 250.000 plantas ha⁻¹. Cada parcela foi constituída de 3 × 6 m, para as avaliações considerou-se as 4 linhas centrais de cada parcela como área útil 9,0 m².

Após a maturação fisiológica (FEHR et al., 1971) foram colhidas dez plantas em cada parcela e determinou-se a altura de plantas (AP), número de ramos (NR), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 sementes, tamanho de sementes (peneiras, >4,76 mm × 19,05 mm, 4,76 mm × 19,05 mm e <4,76 mm × 19,05 mm). Para o cálculo da produtividade, colheu-se as quatro linhas centrais de cada parcela, a determinação da massa e umidade dos grãos foi realizada e, posteriormente, corrigiu-se a massa dos grãos considerando-os com 13% de umidade.

7.4.3 Macro e Micronutrientes, Óleo e Proteína nos Grãos

Antes da determinação dos macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) totais nos grãos, as amostras foram secas em estufa com ventilação forçada a 65°C por 72 horas massa constante, posteriormente foi moído em moinho tipo Wesley com malha de 1,0 mm. Os teores de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu e Zn foram determinados de acordo com as metodologias descritas em Malavolta et al. (1997). No caso do N, foi feita a digestão do material com ácido sulfúrico concentrado em bloco digestor com temperatura de até 350°C, e posteriormente foi realizada a determinação de N por colorimetria (SEARLE, 1984).

Os teores de óleo e proteína nos grãos foram determinados com a técnica de espectroscopia de infravermelho próximo (FT-NIR, Antaris II, Thermo, Thermo Scientific, Califórnia – USA) dotado de esfera de integração e leitura na faixa de 1100 e 2500 nm.

7.4.4 Análise Estatística

Os resultados das variáveis avaliadas no presente trabalho foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade de variância, e realizou-se a análise de variância (ANOVA), teste F a 5% de significância e análise de regressão, usando software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2009).

7.5 RESULTADOS

As condições climáticas (temperatura e disponibilidade de água) são fatores que interferem muito na produção agrícola, principalmente em sistemas de produção de sequeiro, tanto o excesso como a deficiência hídrica podem desencadear em baixa produtividade. Por exemplo, o déficit hídrico no período reprodutivo, causa queda de flores, abortamento de vagens, diminui o acúmulo de matéria seca e o tamanho dos grãos (SOJA et al., 2020).

7.5.1 Produtividade de Grãos e Componentes de Rendimento

A aplicação foliar de AS incrementou significativamente a produtividade de grãos da soja, com ajuste linear ($R^2 = 0,99$ e $R^2 = 0,78$) com aumentos significativos nas safras 2020-2021 e 2021-2022 (Figura 16).

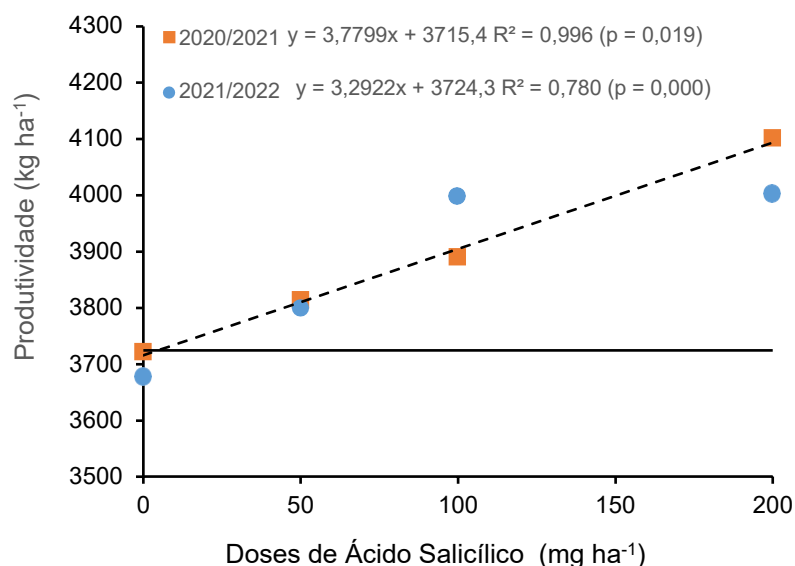


Figura 16. Efeito das doses de ácido salicílico aplicadas via foliar em R1 e R5 na produtividade da soja as safras 2020/2021 e 2021/2022.

O déficit hídrico prolongado durante o estágio de florescimento e enchimento dos grãos (Figura 15) pode reduzir o número de vagens, grãos e conseqüentemente a produtividade. Mas no presente trabalho, à aplicação foliar de AS teve aumento significativo com ajuste quadrático ($R^2 = 0,89$; $p = 0,000$; $R^2 = 0,79$; $p = 0,000$) no número de vagens e grãos por planta com incremento de até 31 e 35%, nas doses de 50 e 100 mg ha⁻¹ quando comparado com o tratamento controle na safra de 2020-2021 (Figura 17 A, B e C). Enquanto safra 2021-2022 não foi observado efeito significativo das doses de AS aplicadas pelo teste F ($p = 5\%$).

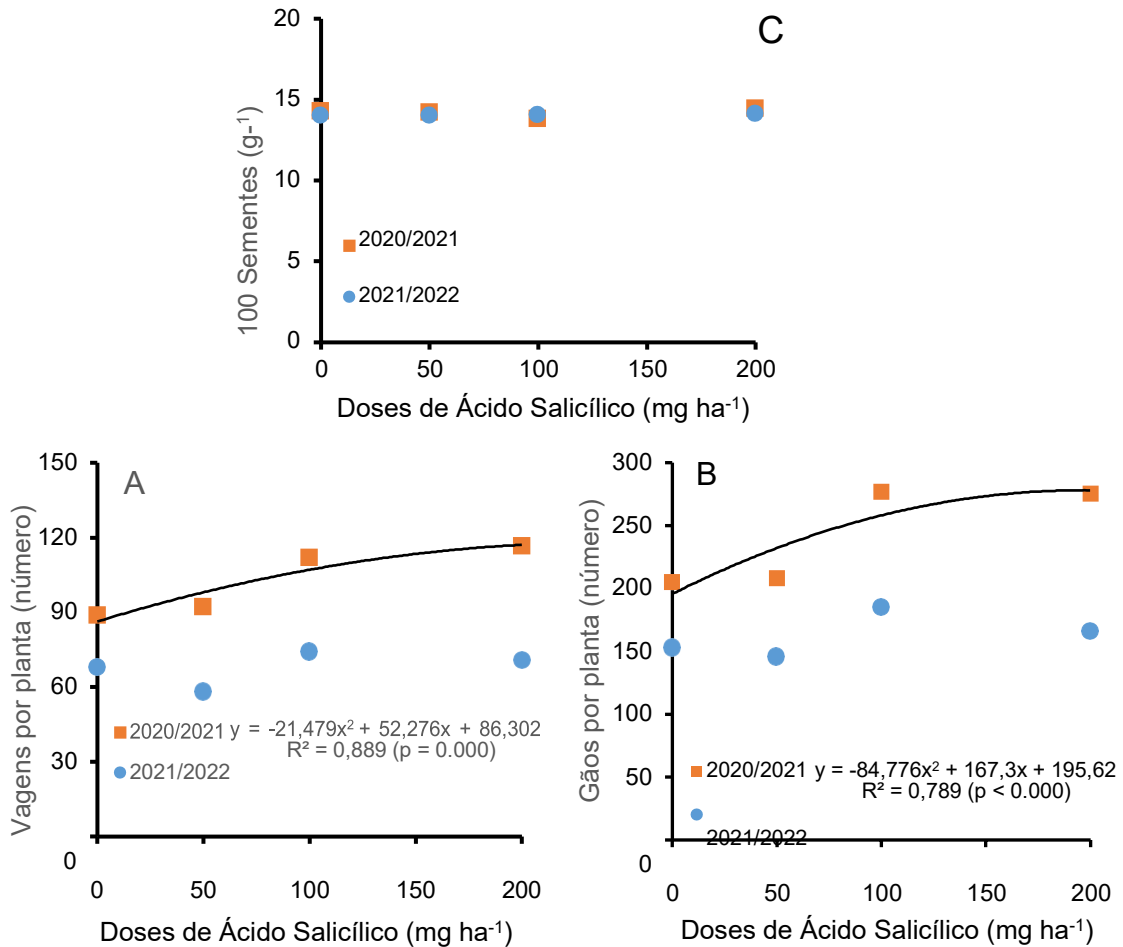


Figura 17 - Efeito das doses de ácido salicílico aplicadas via foliar em R1 e R5 no número de vagens e de grãos por planta e massa de 100 grãos de soja, nas safras 2020-2021 e 2021-2022.

O tamanho de grãos que ficaram retidos na malha de, >4,76 mm × 19,05 mm, 4,76 mm × 19,05 mm e <4,76 mm × 19,05 mm, não se observou diferenças significativas com aplicação do AS (Figuras 18A, 18B e 18C).

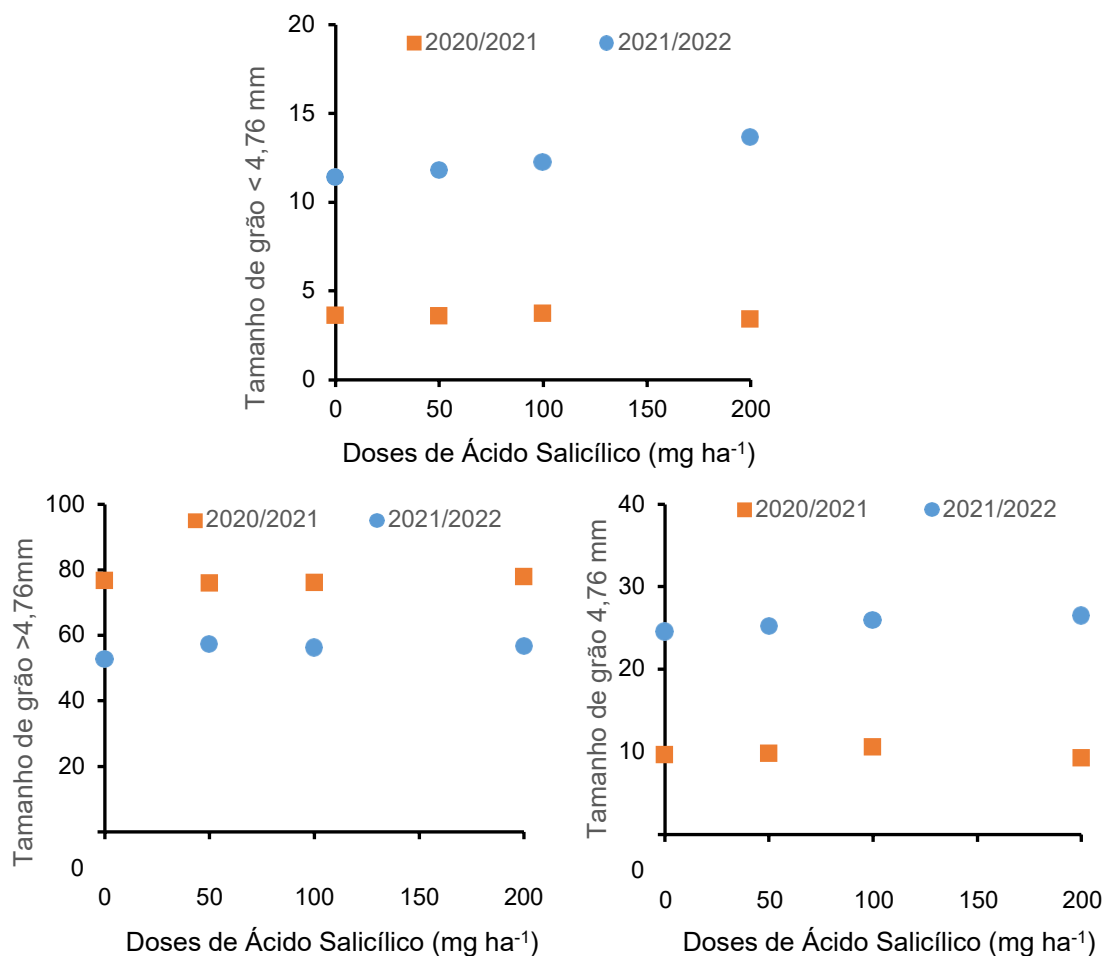


Figura 18 - Efeito das doses de ácido salicílico aplicadas via foliar em R1 e R5 no tamanho das sementes de soja, nas safras 2020-2021 e 2021-2022.

O número de ramos por plantas teve incremento significativo com ajuste quadrático com as doses de AS na primeira safra, enquanto na segunda safra não foi observado diferenças significativas nas doses aplicadas pelo teste F ($p = 5\%$), o mesmo ocorreu para a altura de plantas nas duas safras avaliadas não teve efeito significativo (Figura 19, A e B).

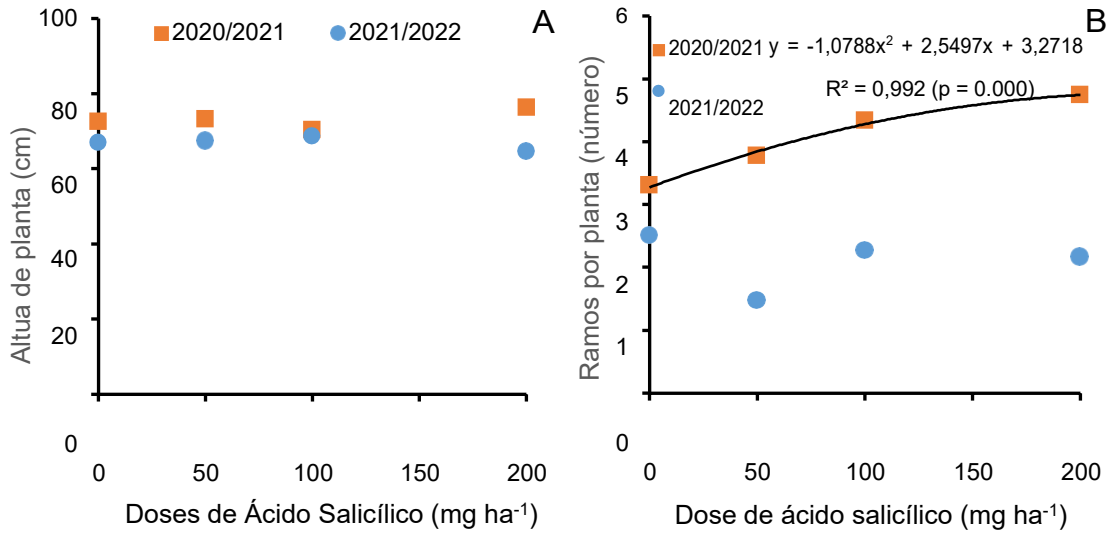
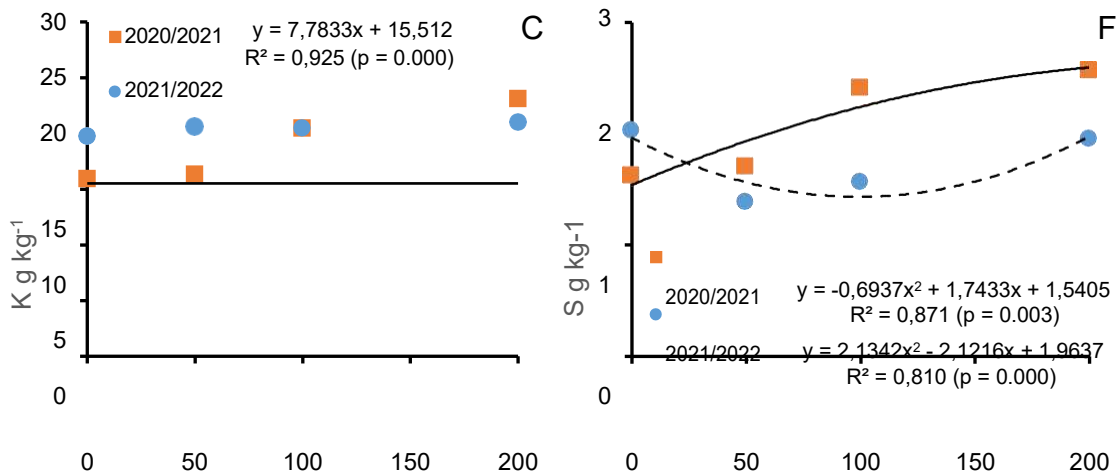


Figura 19 - Efeito das doses de ácido salicílico aplicadas via foliar em R1 e R5 na altura de plantas e número de ramos da soja, nas safras 2020-2021 e 2021-2022.

7.5.2 Macro e Micronutrientes nos Grãos

As doses de AS reduziram significativamente de forma linear ($R^2 = 0,96$) o teor de N nos grãos (Figura 20, A) com redução de até 7% com a dose de 200 mg ha⁻¹ de AS. Enquanto na primeira safra não houve efeito significativo das doses de AS no teor de N nos grãos. Por outro lado, o teor de P nos grãos teve incremento significativo com ajuste quadrático ($p = 0,001$), também foi observado um incremento significativo no teor de K nos grãos, com ajuste linear, enquanto, na segunda safra não houve resposta significativa (Figuras 20B e 20C).



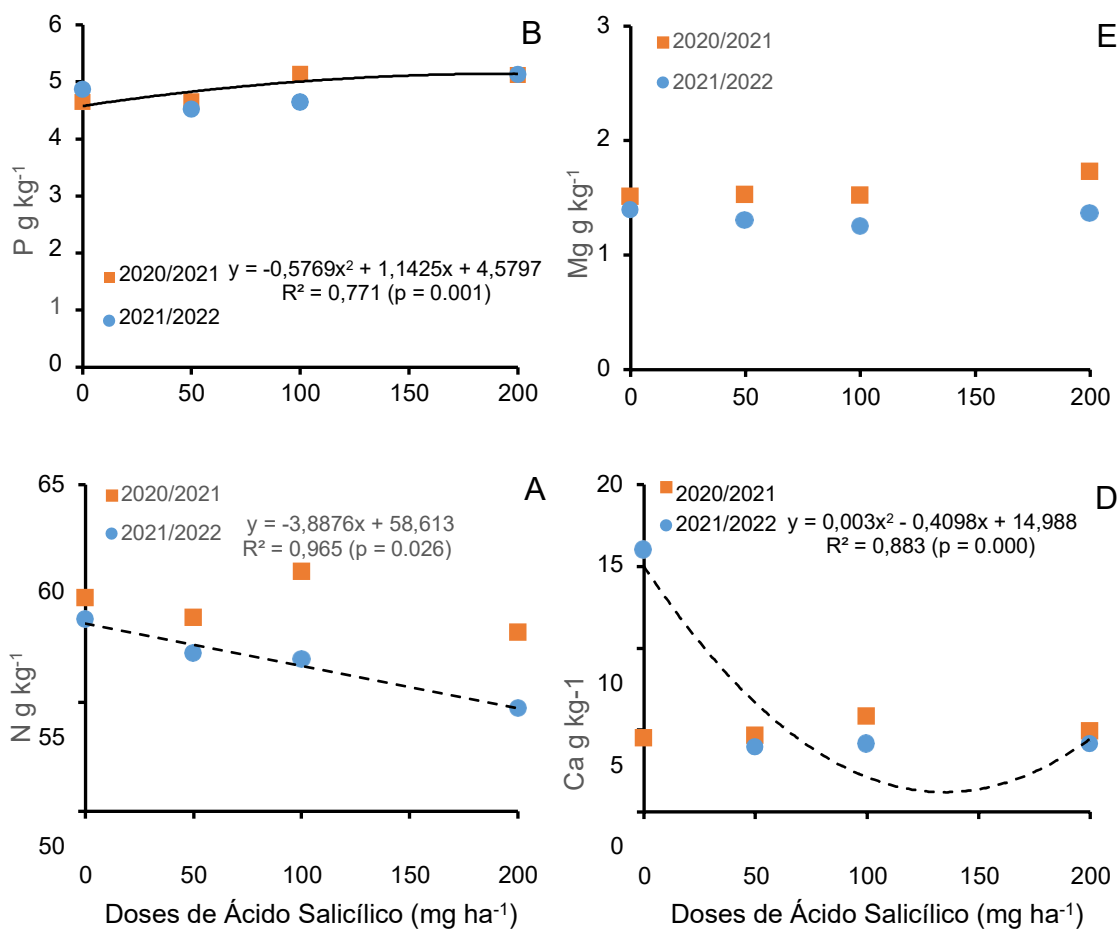


Figura 20 - Efeito das doses de ácido salicílico aplicadas via foliar em R1 e R5 no teor de N, P, K, Ca, Mg e S nos grãos de soja, nas safras 2020-2021 e 2021-2022.

Aplicação de AS reduziu significativamente o teor de Ca nos grãos (Figura 20D), enquanto o teor de S nos grãos teve um incremento significativo na safra 2020-2021, apresentado um ajuste quadrático nas duas safras, sendo que aplicação de AS na safra 2021-2022 diminuiu significativamente o teor de S nos grãos (Figura 20F). Os teores de Mg nos grãos não apresentaram variações significativa com as doses de AS (Figura 20E).

Os teores dos micronutrientes Fe, Mg, Cu, Zn, nos grãos tiveram comportamento diferentes com a aplicação das doses de AS (Figuras 21A, 21B, 21C e 21D). O teor de Fe nos grãos teve uma redução significativa, com ajuste quadrático, na safra de 2020-2021, o mesmo foi observado para os teores de Cu e Zn, enquanto para o Mn a redução ocorreu na safra de 2021-2022 e somente os teores de Cu incrementou significativamente, com um ajuste linear 2021-2022.

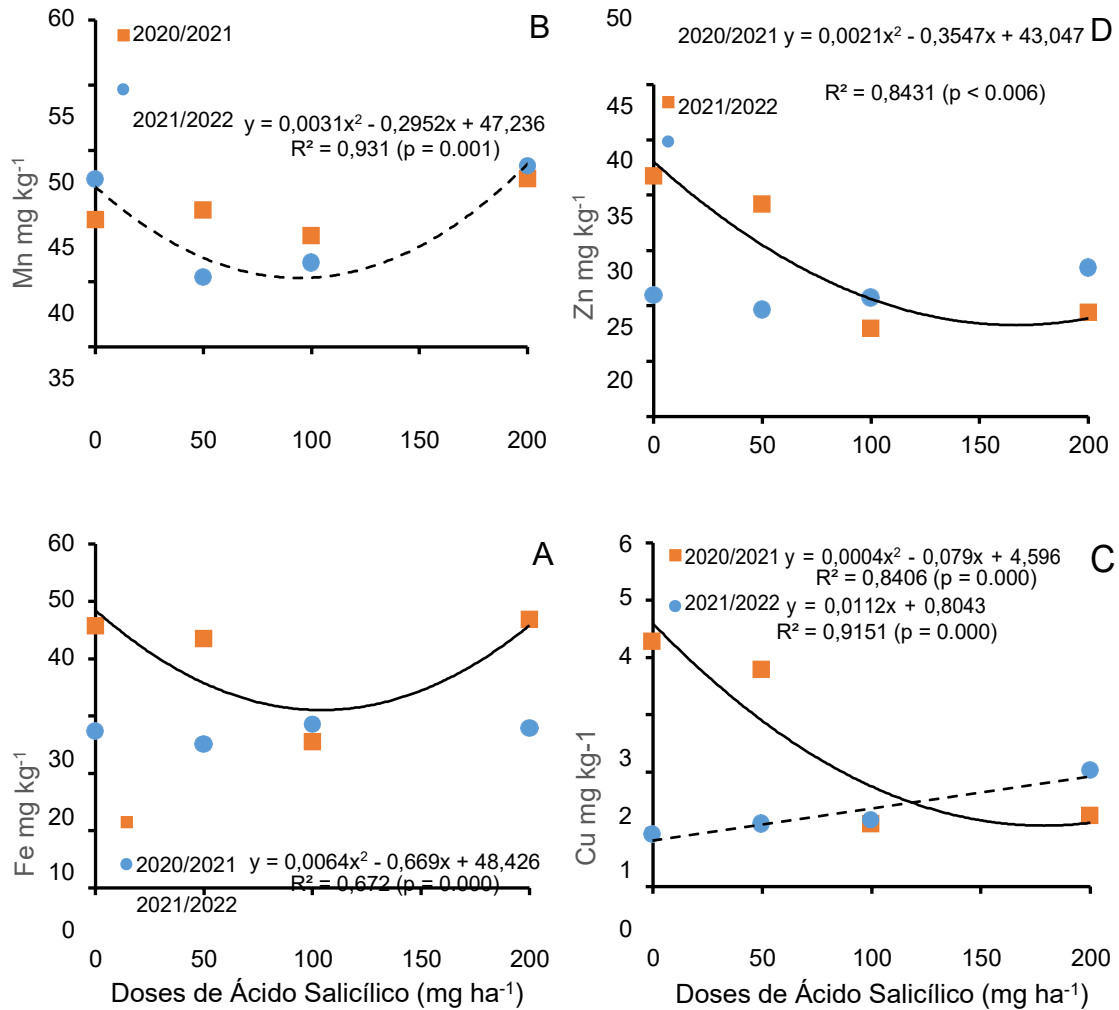


Figura 21 - Efeito das doses de ácido salicílico aplicadas via foliar em R1 e R5 nos teores de Fe, Mn, Cu, e Zn nos grãos de soja, nas safras 2020-021 e 2021-2022.

7.5.3 Proteína e óleo nos grãos e produtividade de proteína

O teor de proteína nos grãos reduziu significativamente de forma linear com o incremento das doses de AS (figura 22, A). Por outro lado, o AS não influenciou significativamente o teor de óleo nos grãos (figura 22, B). Enquanto o AS incrementou significativamente a produtividade de proteína (Figura 22, C).

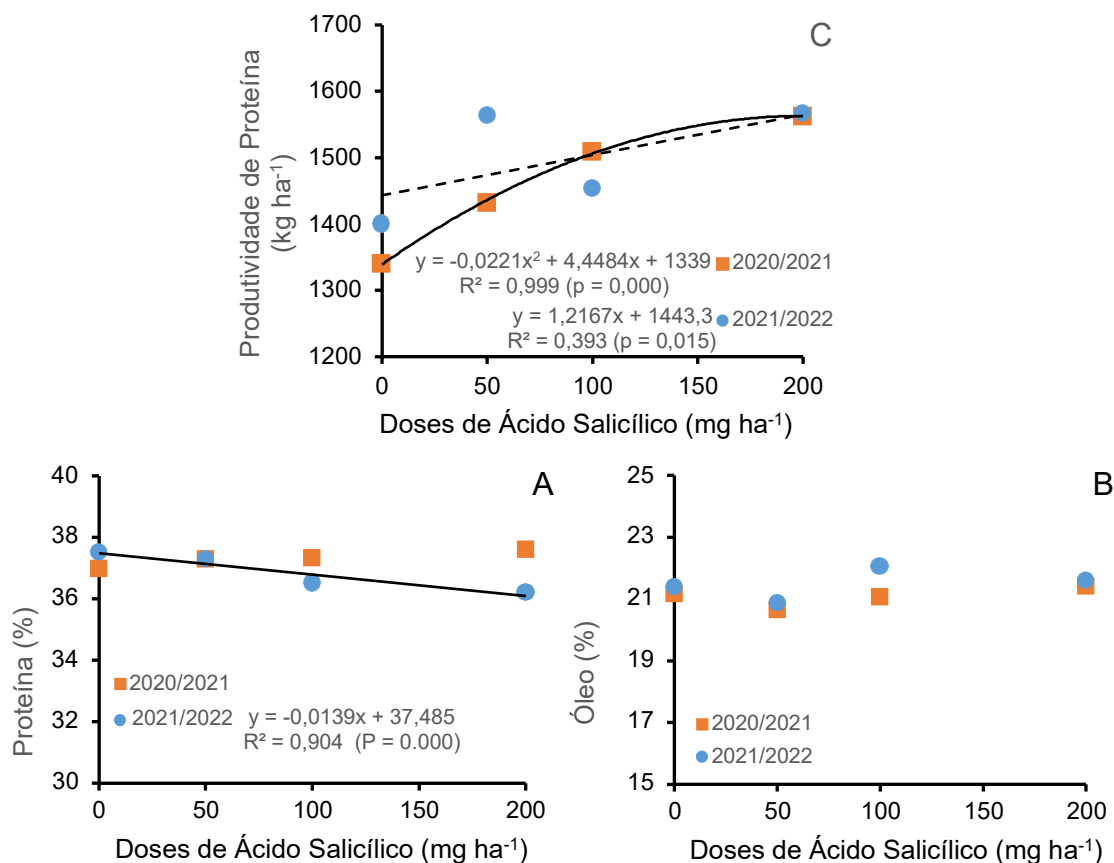


Figura 22 - Efeito das doses de ácido salicílico aplicadas via foliar em R1 e R5 no teor de proteína e óleo nos grãos e produtividade de proteína de soja, nas safras 2020-2021 e 2021-2022.

7.6 DISCUSSÃO

Os efeitos das alterações climáticas na agricultura, tem sido mais evidente nas últimas décadas, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais, influenciando uma série de fatores, com destaque para as temperaturas e as precipitações pluviais, que são fatores fundamentais para o normal crescimento e desenvolvimento das culturas, o que tem levado na busca de soluções para minimizar os efeitos destes na produção de alimentos.

As doses de ácido salicílico (AS) aplicados nos estádios reprodutivos R1 e R5, aumentaram linearmente a produtividade de grãos, e também os componentes de rendimento da soja (Figura 16 e 17, A e B) apesar do déficit hídrico observado durante o crescimento e desenvolvimento das plantas (Figura 15). Estes

efeitos positivos proporcionado pela aplicação externa de AS podem ser devido ao seu papel na regulação do crescimento vegetal, atuando como sinalizador de indução específicas de estresse biótico e abiótico; o AS está ligado a proteção de plantas contra o estresse hídrico, seca e na absorção e metabolismo de nutrientes essenciais (GHASSEMI-GOLEZANI; FARHANGI-ABRIZ, 2018; HAYAT et al., 2012; SHARMA et al., 2018); o seu papel na fotossíntese, crescimento de flores e produção de grãos, senescência, regulador de enzimas, antioxidantes, e no controle da absorção e transporte de íons (GHASSEMI-GOLEZANI; FARHANGI-ABRIZ, 2018; HAYAT et al., 2012; SHEMI et al., 2021) que pode resultar em maior produção e qualidade dos grãos, até mesmo em condições adversas.

O incremento de até 12,4 e 14,4% (na safra de 2020-2021 e 2021-2022) da produção de grãos como resultado da aplicação de AS (200 mg ha⁻¹) pode ser devido ao aumento do número de vagens e grãos, através do incremento da absorção de nutrientes pela soja com melhoria na translocação de nutrientes para os órgãos reprodutivos das plantas. Esses resultados estão de acordo com os reportados por Ghassemi-Golezani; Farhangi-Abriz (2018); Miladinov et al. (2020) observaram incrementos na produção de grãos e biomassa de soja com aplicação de 0,5 mM de AS via foliar. Enquanto Sharma et al. (2018) reportaram incrementos no peso de sementes por planta, peso de mil sementes e o índice de colheita, utilizando sementes de soja tratadas com 0,5 mM de AS e atribuíram os incrementos principalmente ao papel das folhas como fonte de N através do aumento da degradação de proteína para o desenvolvimento de outros órgãos como a semente durante a floração das plantas.

Aplicação de AS nas plantas pode apresentar efeitos positivos, neutros/nulo e negativos dependendo da dose, via e frequência de aplicação, estágio de crescimento da planta e condições ambientais como; estresse hídrico, salino e por metais pesados (BARROSO et al., 2022; LIU et al., 2017; MÜLLER; MUNNÉ-BOSCH, 2021; PARVEEN et al., 2021). Sendo que, o AS tem demonstrado efeitos significativos no crescimento das plantas, rendimento e seus componentes em condições normais e de estresse hídrico (SHARMA et al., 2017, 2018; SHEMI et al., 2021) estresse salino e por metais pesados (HAYAT et al., 2010; KHAN et al., 2010).

Shemi et al. (2021) observaram que a aplicação de AS teve melhores efeitos em plantas de milho submetidas ao estresse hídrico, comparado com as plantas sem restrição hídrica. O AS aumenta a atividade fotossintética, teor de prolina, açúcares solúveis totais e reduz as concentrações de peróxido de hidrogênio e ânion

superóxido em plantas sob deficiência hídrica (SHEMI et al., 2021) melhorando assim uma série de processos fisiológicos e metabólicos; como uso eficiente de água e nutrientes através do crescimento radicular e do controle (células guardas) através do fechamento dos estômatos (KHOKON et al., 2017; MÜLLER; MUNNÉ-BOSCH, 2021; PARVEEN et al., 2021).

Aplicação foliar de AS influenciou positivamente o acúmulo de P, K e S nos grãos, com incrementos de até 10,0, 45,2 e 57,6% (Figuras 20B, 20C e 20F). Este efeito se deve principalmente ao papel do AS no aumento do crescimento radicular e proteção da membrana das raízes, aumentando assim a absorção de água e, conseqüentemente de nutrientes (KAUR et al., 2022; PIRASTEH-ANOSHEH et al., 2022). Com a maior aquisição de nutrientes e a alta mobilidade desses elementos no floema pode ocorrer maior redistribuição ou translocação para os grãos durante a senescência das plantas, como observado no presente estudo (Figura 20).

O aumento da absorção de nutrientes influencia as funções celulares, bem como o crescimento e desenvolvimento da planta, são reguladas por processos fotossintéticos, sistemas enzimáticos e antioxidantes influenciados pela aplicação externa do AS (AHANGER et al., 2020). Adicionalmente, o papel do AS na senescência das folhas, que é a forma lenta e programada de morte celular que permite que as plantas mobilizem os nutrientes das células senescentes para os grãos, órgãos de reserva ou tecidos em crescimento ativo (ZHANG et al., 2013).

O teor de N nos grãos diminuiu significativamente em até 7,0% (2021-2022, Figura 20, A) e observou-se ausência de efeito significativo no (2020-2021, Figura 20, A). Isto pode ser atribuído ao aumento na eficiência de uso de N nas plantas pela aplicação externa de AS, visto que estes tratamentos com doses de AS produziram mais grãos com as mesmas fontes de N (inoculação com *Bradyrhizobium* e decomposição da matéria orgânica do solo). Além disso, a redução do teor de N nos grãos pode ser atribuída também ao efeito de diluição de N pela maior produtividade de grãos observado no presente trabalho (Figura 16). Tendo em conta que o AS regula os processos fisiológicos e metabólicos voltados para aclimação da soja reduzindo a produção de energia através do aumento da fotossíntese para o metabolismo do carbono, N e proteínas (KAUR et al., 2022; SHARMA et al., 2018), para manter o crescimento e a saúde das plantas contra condições adversas (DING; DING, 2020). Por outro lado, aplicação externa de AS melhora a FBN e à assimilação de N, através do incremento do número e peso dos nódulos, conteúdo de leghimoglobina e a

atividade da enzima nitrogenase e redutase do nitrato como reportado por (HAYAT et al., 2014; KAUR et al., 2022), resultando assim em maior disponibilidade de N para a planta e, conseqüentemente, em maior produtividade de grãos. Munsif et al. (2022) observaram que a aplicação de 1,4 mM de AS via foliar, reduziu os teores de N nos grãos de trigo. Por outro lado, o AS incrementou os teores de P e K, independentemente da concentração e do modo de aplicação. Enquanto, Miladinov et al. (2020) não observaram efeitos positivos nos teores de N, P, K e Ca dos grãos de soja, com aplicação foliar de 50 mg L⁻¹ de AS, e atribuíram esta ausência de resposta e efeitos negativos as condições de tempo desfavoráveis observadas durante a condução do trabalho.

A redução e a falta de efeito significativo nos teores Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn nos grãos (Figuras 20 e 21) pode ser pelas funções metabólicas e enzimáticas que estes elementos desempenham nas plantas e pela imobilidade e a baixa mobilidade que alguns destes nutrientes apresentam nas plantas (FAGERIA, 2009) com exceção do Mg. No caso do Ca, elemento que está envolvido na divisão e alongamento celular, e faz parte da membrana celular não seletiva dos tecidos das plantas (MARSCHNER, 2012). Tendo uma função estrutural, isto pode dificultar a sua translocação e remobilização durante a fase de senescência, principalmente em condições de deficiência hídrica; como há que ocorreu na fase de florescimento e de enchimento dos grãos na safra 2021-2022 do presente estudo (Figura 15). No entanto, o Ca é um elemento que participa da regulação do movimento dos estomas, e o AS têm influência positiva sobre o aproveitamento do Ca pelas plantas, independentemente do seu papel do fechamento do estômato (KHOKON et al., 2017). Isso pode ajudar a entender a diminuição do teor de Ca nas plantas tratadas com AS (Figura 20, D). Além disso, o Ca está envolvido em diferentes mecanismos de defesa induzido pelo estresse hídrico, e mantendo a seletividade de íons na membrana; associado ao AS que aumenta a absorção e utilização do Ca e outros íons que ajudam as plantas a tolerar condições adversas como o estresse hídrico (SYEED et al., 2011).

O AS reduziu significativamente os teores de proteína dos grãos de forma linear (Figura 22, A). Este efeito negativo pode ser atribuído a redução das concentrações de N nos grãos devido ao efeito de diluição de N desencadeado pelo incremento da produtividade de grãos com aplicação de AS (Figura 16) com correlação positiva entre o teor de N e proteína nos grãos (Figura 22, B). Além disso, houve incremento na produtividade de proteína por unidade de área (kg ha⁻¹), o que

demostra ser um parâmetro adequado para ser utilizado nos sistemas de produção de soja, visto que o aumento dos teores de proteína dos grãos é muito mais complexo de ser manejado e alcançado, porque depende de muitos fatores incluindo genéticos e ambientais (ASSEFA et al., 2018).

7.7 CONCLUSÃO

A aplicação foliar de ácido salicílico (AS) em estádios reprodutivos (R1 e R5) nas plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium* sp, incrementa a produtividade de grãos e o rendimento de proteína; e os componentes de rendimento. O AS também promove maior translocação de P, K, S e Cu para os grãos; porém pode reduzir o teor de Ca, Fe, Mn, Zn nos grãos dependendo da dose e de possíveis estresses abióticos que interferem no estado fisiológico da soja, principalmente a deficiência hídrica durante o estágio de maturação dos grãos. Por outro lado, atenua o efeito da diluição de macro e micronutrientes nos grãos da soja proporcionando melhor qualidade nutricional. Em razão das funções fisiológicas e bioquímicas do AS nas plantas, a aplicação deste resulta em benefícios para a produção de grão e reduz os efeitos do estresse abiótico como o déficit hídrico ou irregular distribuição das precipitações. Sendo uma boa alternativa de manejo para produção, principalmente em situações de eventos ambientais atípicos, que são cada vez mais frequentes e que podem interferir negativamente na produtividade das culturas, como a soja.

8 CONCLUSÕES GERAIS

A aplicação foliar de ureia no estágio vegetativo V5 teve efeito positivo na produção de grãos da cultura da soja, em condições controladas.

A aplicação foliar de níquel, e ou em combinação com ureia ou sulfato de amônio teve efeitos negativos na cultura de soja em condições controladas.

A adubação foliar com molibdênio e cobalto incrementa a produtividade de grãos, no 1º ano na cultivar BRS 399RR. Também incrementa o teor de N nas folhas da BRS 284.

A aplicação foliar de Ni incrementa o teor de N na foliar da soja BRS 284, apesar deste incremento não aumentar a produtividade de grãos.

Aplicação de N e N + Ni aumenta o teor de N nas folhas de soja BRS 284.

Os efeitos da aplicação foliar de Co + Mo, Ni e N e N + Ni varia entre as cultivares de soja e são fortemente influenciados pelas condições de edafoclimáticas (estresse hídrico e temperatura).

A aplicação foliar de ácido salicílico em plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium* sp, incrementa a produtividade de grãos e o rendimento de proteína. Além de interferir de maneira positiva, nula ou negativa no teor de macro e micronutrientes nos grãos em função da disponibilidade hídrica durante a fase enchimento dos grãos de soja.

REFERÊNCIAS

ABDELNOOR, R.V. **BRS cultivares de soja**: Centro-Sul do Brasil: macrorregiões 1, 2, 3 e REC 401. Embrapa Soja, Londrina, PR, n. 43, p. 64, 2019.

AGNES, A.B.P.; SEBASTIANI, V.; SETE DA CRUZ, R.M.; ALBERTON, O. APLICAÇÃO DE COBALTO E MOLIBDÊNIO NA CULTURA DA SOJA. **Journal of Agronomic Sciences**, v.7, n.2, p. 53-60, 2018.

AHANGER, M. A. et al. Influence of exogenous salicylic acid and nitric oxide on growth, photosynthesis, and ascorbate- glutathione cycle in salt stressed vigna angularis. **Biomolecules**, v. 10, n. 1, 1. 2020.

ALIBAKHSHI, M.; KHOSHGOFTARMANESH, A.H. Effects of nickel nutrition in the mineral form and complexed with histidine in the nitrogen metabolism of onion bulb. **Plant Growth Regulation**, v.75, n.3, p.733–40, 2015.

ALOVISI, A.M.T.; MAGRI, J.; DUTRA, J.E.; MAGRI E.; SANTOS M.J.G.; ALOVISI, A.A. Adubação foliar com sulfato de níquel na cultura da Soja. **Ensaio em Ciência Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v.15, n.2, p. 25–32, 2011.

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Publicações ANP**. Anuário Estatístico. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 05 fev. 2020.

Assefa, Y., Bajjalieh, N., Archontoulis, S., Casteel, S., Davidson, D., Kovács, P., Naeve, S., Ciampitti, I. A. Spatial Characterization of Soybean Yield and Quality (Amino Acids, Oil, and Protein) for United States. **Scientific Reports**, 8, 14653. 2018.

ASSEFA, Y.; PURCELL, L.C.; SALMERON, M.; NAEVE, S.; CASTEEL, S.N.; KOVÁCS, P.; ARCHONTOULIS, S.; LICHT, M.; BELOW, F.; KANDEL, H.; LINDSEY, L. E.; GASKA, J.; CONLEY, S.; SHAPIRO, C.; ORLOWSKI, J.M.; GOLDEN, B.R.; KAUR, G.; SINGH, M.; THELEN, K.; LAURENZ, R.; DAVIDSON, D.; CIAMPITTI, I. A. Assessing Variation in US Soybean Seed Composition (Protein and Oil). **Frontiers in Plant Science**, v. 10 n. 298. 2019.

BAI, C.; REILLY, C.C.; WOOD, B.W. Nickel deficiency disrupts metabolism of ureides, amino acids, and organic acids of young pecan foliage. **Plant Physiology**, v.140, n. 2, p. 433-443, 2006.

BAGYINKA, C. How does the ([NiFe]) hydrogenase enzyme work? **Int J Hydrog Energy**, 39:18521–18532. 2014.

BARCELOS, J.P.Q.; OSÓRIO, C.R.W.S.; LEAL, A.J.F.; ALVES, C.Z.; SANTOS, E.F.; REIS, H.P.G.; REIS, A.R. Effects of foliar nickel (Ni) application on mineral nutrition status, urease activity and physiological quality of soybean seeds. **Australian Journal of Crop Science**, v.11, n.2, p.184–92, 2017.

BARBARO, I.M.; CENTURIO, M.A.P.C.; GAVIOLI, E.A.; SARTI, D.G.P.; JÚNIOR, L.S.B.; TICELLI, M.; MIGUEL, F.B. Análise de cultivares de soja em resposta à inoculação e aplicação de cobalto e molibdênio. *Ceres*, v. 56, n. 3, 2015.

BARKER, D. W.; SAWYER, J.E. Nitrogen application to soybean at early reproductive development. *Agronomy Journal*, v. 97, n. 2, p.615–19, 2005.

BARROSO, A. A. A. et al. Acetylsalicylic acid (ASA) as inductor of growth and flowering in tomato. *Scientific Electronic Archives*, v. 15, n. 5, 29. 2022.

BELINTANI NETO, A.M.; LAM-SÁNCHEZ, A. Efeito de molibdênio sobre a nodulação e produção de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *Científica*, Jaboticabal, v.1, p.13-17, 1974.

BERTRAND, D.; WOLF, A. Le nickel et le cobalt des nodosites des legumineuses. *Bulletin de la Societe de Chimie Biologique*, v. 36, n. 6-7, p. 905-907, 1954.

BIODIESEL FAQ's. **Jefferson City**: National Biodiesel Board, 2015. Disponível em: <<http://biodiesel.org/what-is-biodiesel/biodiesel-faq's>>. Acesso em: 07 Fev. 2020.

BORJA REIS, A. F. B., ROSSO, L. M., PURCELL, L. C., NAEVE, S., CASTEEL, N. S., KOVÁCS, P., ARCHONTOULIS, S., DAVIDSON, D., IGNACIO A. CIAMPITTI, I. A. Environmental Factors Associated With Nitrogen Fixation Prediction in Soybean. *Frontiers in Plant Science*, 12. 675410. 2021

BRASIL. Instrução Normativa n.17, de 21 de maio de 2007. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos. *Diário Oficial da União*, Brasília, 24 maio de 2007. Seção 1, p. 8.

BROWN P. H., WELCH, R. M., CARY, E. E. Nickel: a micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiology*, 85:801–803. 1987.

BRAZZOLOTTO, D., GENNARI, M., QUEYRIAUX, N., SIMMONS, T. R., PÉCAUT, J., DEMESHKO, S., et al. Nickel-centred proton reduction catalysis in a model of [NiFe] hydrogenase. *Nat. Chem.* 8, 1054–1060. 2016.

BRUNO, I.P.; MORAES, M.F.; DAMIN, V.; DOURADO-NETO, D.; REICHARDT, K. Does nickel influence leaf nitrogen uptake in coffee seedlings? *Revista de Agricultura* 94 (3):259–69, 2019.

BURATTO, W.; OLIVEIRA, A.M.; OLIVEIRA, R.; CAIONE, G.; FREITAS, G.; JÚNIOR, S. Leaf application of nitrogen in different phenological stages in soybean and inoculation with *Bradyrhizobium japonicum*. *Nativa: Pesquisa Agropecuária Ambiental*, v. 6, n. 4, p.333–37. 2018.

BURTON, J.W. Breeding soybean for improved protein quantity and quality. In: **World Soybean Research Conference**, III: Proceedings, Ed. R. Shibles, Boulder, C.O: Westview Press, p. 361-367, 1985.

BURTON, J.W. Breeding soybean cultivars for increased seed protein percentage. In: Conferencia Mundial de Investigación em Soja IV. Proceedings, Buenos Aires. **Actas**, Buenos Aires: AASoja, 2, p. 1079-1085, 1989.

CAMPO, R.J.; HUNGRIA, M. Importância dos micronutrientes na fixação biológica do nitrogênio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA MERCOSOJA, 2., 2002, Londrina. **Anais**. Londrina: Embrapa Soja, 2002. p. 355-366. (Documentos, 180).

CAMPO, R.J.; ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M. Molybdenum-enriched soybean seeds enhance N accumulation, seed yield, and seed protein content in Brazil. *Field Crops Research*, v. 110, n. 3, p. 219–224, 2009.

CARDOSO, B.M.; LAZARINI, E.; MOREIRA, A.; MORAES, L.A.C.; SANTOS, F.L.D.; DAMETO, L.S. Effect of Foliar Molybdenum Application on Seed Quality of Soybean Cultivars. *Communication in Soil Science and Plant Nutrition*, v. 52, n. 6, p. 666–672, 2020.

CARRERA, C.; MARTÍNEZ, M.; DARDANELLI, J.; BALZARINI, M. Water Deficit Effect on the Relationship between Temperature during the Seed Fill Period and Soybean Seed Oil and Protein Concentrations. *Crop Science*, v. 49, n. 3, p. 990–998, 2009.

Carrera, C. S., Reynoso, C. M., Funes, G. J., Martínez, M. J. M., Dardanelli, J., Resnik, S. L. Amino acid composition of soybean seeds as affected by climatic variables. **Pesq. Agropec. Bras**, 46.12. 1579-1587. 2011.

CARLIM, E.L.; MEERT, L.; REIS, B.; ALLEMAN, L.E. Fertilization with nickel and molybdenum in soybean: Effect on agronomic characteristics and grain quality. **Terra Latinoamericana**, v. 37, n. 3, p.217–22, 2019.

CASSIM, B.M.A.R.; MACHADO, A.P.M.; FORTUNE, D.; MOREIRA, F.R.; DE OLIVEIRA ZAMPAR, É.; BATISTA, M.A. Effects of foliar application of urea and urea-formaldehyde/triazone on soybean and corn crops. *Agronomy*, v. 10, n. 10, 2020.

CIAMPITTI, I.; SALVAGIOTTI, F. New Insights into Soybean Biological Nitrogen Fixation, **Agronomy Journal**, v.110, n.4, p.1185-1196, 2018.

COMIRAN, A. G.; PEREIRA, C. S.; FIORINI, I.V.A.; GALDINO, P.L.F.; MORAGA, F. G.; SILVA, A. A. Modos de aplicação da adubação com cobalto e molibdênio em diferentes estádios do desenvolvimento e produtividade da soja, **Scientific Electronic Archives**, v. 13, n. 3, p. 31-37, 2020.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. 2020. **10º Levantamento - Safra 2019/20**. Disponível em: <www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 06 Ago. 2020.

COLLIER, R., TEGEDER, M. Soybean ureide transporters play a critical role in nodule development, function and nitrogen export: nitrogen transport in soybean nodules. **Plant J**. 72, 355–367. 2012.

CORDEIRO, C. F. D., ECHER, F. R. Interactive Effects of Nitrogen-Fixing Bacteria Inoculation and Nitrogen Fertilization on Soybean Yield in Unfavorable Edaphoclimatic Environments. **Scientific Reports**, 9. 15606. 2019.

CORTESE, D.; PIEROZAN JUNIOR, C.; WALTER, J.B.; CORTESE, D.; DE OLIVEIRA, S.M. Enrichment, quality, and productivity of soybean seeds with cobalt and molybdenum applications. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 2, p. 144–150, 2019.

DEUS, A.C.F.; MELLO PRADO, R. de.; CÁSSIA, R. F. A. de.; OLIVEIRA, R. L. L. de.; FELISBERTO, G. Role of Silicon and Salicylic Acid in the Mitigation of Nitrogen Deficiency Stress in Rice Plants. **Silicon**, v. 12, 997–1005, 2020.

DING, P.; DING, Y. Stories of Salicylic Acid: A Plant Defense Hormone. **Trends in Plant Science**, v. 25, n. 6, p. 549–565, 1 jun. 2020.

DIXON, N.E.; GAZZOLA, C.; BLAKELEY, R.L. & ZERNER, B. Jack bean urease (EC z3.5.1.5) a metalloenzyme: simple biological role for nickel. **Journal of the American Chemical Society**, v. 97, n.14, p. 4131-4133, 1975.

DORNBOS, D.L.; MULLEN, R.E. Soybean seed protein and oil contents and fatty acid composition adjustments by drought and temperature. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 69, n. 3, p. 228–231, 1992.

DOURADO NETO, D.; DARIO, G. J. A.; MARTIN, T. N.; SILVA, M. R.; PAVI-NATO, P. S.; HABITZREITER, T. L. Adubação mineral com cobalto e molibdênio na cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 2741-2752, 2012.

EGLI, D. B.; BRUENING, W. P. Nitrogen accumulation and redistribution in soybean genotypes with variation in seed protein concentration. *Plant and Soil*, v. 301, n. 1-2, p. 165-172. 2007.

EINHARDT, A. M., FERREIRA, S., RODRIGUES, F. A. Biochemical and physiological responses of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) to nickel toxicity. **Bragantia**, 80, e1721. 2021

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Solos Brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 320, 2011.

EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja técnicos**. Londrina: Embrapa Soja, 2020, 347p.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil: 2010**. Londrina: Embrapa Soja, 2010.

EMBRAPA SOJA. **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná 1996/97**. Londrina: Embrapa Soja, 1996. 187p. (Documentos, 97)

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja: Paraná 2005**. Londrina: Embrapa Soja, 2005.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 2. ed. Rio de Janeiro, Brasil. 1997.

ESKEW, D.L.; WELCH, R.M.; CARY, E.E. Nickel: an essential micronutrient for legumes and possibly all higher-plants. **Science**, v. 222, n. 4624, p. 621-623, 1983.

ESKEW, D.L.; WELCH, R.M.; NORVELL, W.A. Nickel in higher plants: further evidence for an essential role. **Plant Physiology**, v. 76, n.3, p. 691-693, 1984.

EVANS, H.J.; HARKER, A.R.; PAPEN, H.; RUSSELL, S.A.; HANUS, F.J.; ZUBER, M. Physiology, biochemistry and genetics of the uptake hydrogenase in rhizobia. **Annual Review of Microbiology**, Palo Alto, v. 41, p. 335-361, 1987.

FAGERIA, N. K. **The Use Of Nutrients In Crop Plants Plants**. Academic presss. 2009.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; MOREIRA, A.; GUIMARÃES, C.M. Foliar Fertilization of Crop Plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.32, n. 6, p. 1044-64, 2009.

FAGERIA, N.K.; MOREIRA, A. The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. **Advances in Agronomy**, v. 110, p.251–331, 2011.

FAGERIA, N.K.; MOREIRA, A.; MORAES, L:A:C.; MORAES, M.F. 2014. Influence of lime and gypsum on yield and yield components of soybean and changes in soil chemical properties. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 44, n. 3, p. 271–83, 2014.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Faostat**. 2013. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>. Acesso em: 24 jan. 2020.

FARHANGI-ABRIZ, S.; GHASSEMI-GOLEZAN, K. How can salicylic acid and jasmonic acid mitigate salt toxicity in soybean plants? **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 147, p. 1010-1016, 2018.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C.E.; BURMOOD, D.T.; PENNINGTON, J.S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine Max* (L.) Merrill. **Crop Science**, v. 11, n. 6, p. 929–31, 1971.

FERNANDES, C. F.; VIEIRA JUNIOR, J. R.; AGUIAR, P. N.; SOUZA, M. F.; FREIRE, T. C.; FONSECA, A. S.; ALVES, R. C. Atividade peroxidásica em feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Aporé na presença de ácido salicílico e *Thanatephorus cucumeris*. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 1, p. 72-79, 2020.

FREITAS, D. S.; RODAK, B.W.; REIS, A.R.; REIS, F.B.; CARVALHO, T.S.; SCHULZE, J.; CARNEIRO, M.C.; GUILHERME, L.R.G. Hidden nickel deficiency? Nickel fertilization via soil improves nitrogen metabolism and grain yield in soybean genotypes. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p.1–16, 2018.

FREITAS, D.S.; RODAK, B.W.; CARNEIRO, M.A.C.; GUILHERME, L.R.G. How does Ni fertilization affect a responsive soybean genotype? A dose study. **Plant and Soil**, v. 441, n. 1–2, p. 567–586, 2019.

FRITSCHI, F. B., RAY, J. D. 2007. Soybean leaf nitrogen, chlorophyll content, and chlorophyll a/b ratio. **Photosynthetica**, 45. 1. 92–98. 2007.

GALDINO, P. L. F.; PEREIRA, C. S.; FIORINI, I. V. A.; MORAGA, F. G.; COMIRAN, A. G.; SILVA, A. A. Cobalto e molibdênio aplicados via foliar no crescimento vegetativo e na produtividade da soja. **Scientific Electronic Archives**, v. 13, n. 4, p. 51-59, 2020.

GALRÃO, E.Z. Micronutrientes e cobalto no rendimento da soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p.117-120, 1991.

GELAIN, E.; ROSA JUNIOR, E. J.; MERCANTE, F. M.; FORTES, D. G.; SOUZA, F. R.; ROSA, Y. B. C. J. Fixação biológica de nitrogênio e teores foliares de nutrientes na soja em função de doses de molibdênio e gesso agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 2, p. 259-269, 2011.

GOLI, M.; PANDE, M.; BELLALLOUI, N. Effects of chelating agents on protein, oil, fatty acids, and minerals in soybean seed. **Agricultural Sciences**, v. 3, n. 4, p. 517- 523, 2012.

GONZÁLEZ-GUERRERO, M.; MATTHIADIS, A.; SÁEZ, Á.; LONG, T.A. Fixating on metals: New insights into the role of metals in nodulation and symbiotic nitrogen fixation. **Frontiers and Plant Science**, v. 5, 45, 2014.

GHASSEMI-GOLEZANI, K.; FARHANGI-ABRIZ, S. Foliar sprays of salicylic acid and jasmonic acid stimulate H⁺-ATPase activity of tonoplast, nutrient uptake and salt tolerance of soybean. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 166, p. 18–25. 2018.

HARPER, J.E. Soil and symbiotic nitrogen requirements for optimum soybean production, **Crop Science**, v. 14, p. 255–260, 1974.

HAYAT, Q. et al. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. **Environmental and Experimental Botany**, 2010.

HAYAT, Q. et al. Salicylic acid mediated changes in growth, photosynthesis, nitrogen metabolism and antioxidant defense system in *Cicer arietinum* L. **Plant Soil Environ**. 2012.

HAYAT, S.; HAYAT, Q.; ALYEMENI, M. N.; AHMAD, A. Salicylic acid enhances the efficiency of nitrogen fixation and assimilation in *Cicer arietinum* plants grown under cadmium stress, **Journal of Plant Interactions**, v.9, n.1, p.35-42, 2014.

HUNGRIA, M.; CAMPO, J.C.; MENDES, I.C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da Soja**. Londrina: Embrapa Soja. 2001.

HUNGRIA, M., FRANCHINI, J., CAMPO, R., CRISPINO, C., MORAES, J., SIBALDELLI, R., et al. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 86, p. 927-939, 2006.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; CAMPO, R.J.; CRISPINO, C.C.; MORAES, J.Z.; SIBALDELLI, R.N.R.; MENDES, I.C.; ARIHARA, J. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: Contributions of biological N₂ fixation and of N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Science**, V. 86, n. 2, p. 927–939, 2006.

HUNGRIA, M.; MENDES, I.C. Nitrogen fixation with soybean: The perfect symbiosis? In: BRUIJN, F.J. (Ed.). **Biological nitrogen fixation**. Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ. 2015. p. 1009-1024.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. **Tecnologias de inoculação da cultura da soja: Mitos, verdades e desafios**. In: Boletim de Pesquisa 2019/2020. Rondonópolis: Fundação MT, 2019. p. 50-62. (Fundação MT. Boletim, 19).

HYMOWITZ, T. On the domestication of the soybean. **Economic Botany**, v. 24, n. 4, p. 408-421, 1970.

IKEDA, M.; CHOI, W. K.; YAMADA, Y. Sucrose fatty acid esters enhance efficiency of foliar-applied urea-nitrogen to soybeans. **Fertilizer Research**, v. 29, p. 127-131, 1991.

JACINTHO, A. O. A determinação espectrofotométrica do Cobalto pelo método da 2, 2'-dipiridil cetoxima (I)-estudos sobre o reativo, pH e tampão. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 32, p. 253-268, 1975.

JANDA, T.; GONDOR, O. K.; YORDANOVA, R. Salicylic acid and photosynthesis: signalling and effects. **Acta Physiology Plant**, v. 36, p. 2537-2546, 2014.

KAMALI, F. P.; MEUWISSEN, M.; BOER, I.; MIDDELAAR, C.V.; A. MOREIRA, A.; LANSINK, A.O. Evaluation of the environmental, economic, and social performance of soybean farming systems in southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p.103109, 2017.

KASCHUK, G.; NOGUEIRA, M.A.; LUCA, M.J.; HUNGRIA, M. Response of determinate and indeterminate soybean cultivars to basal and topdressing N fertilization compared to sole inoculation with Bradyrhizobium. **Field Crops Research**, v. 195, p. 1–27, 2016.

KAUR, H. et al. Salicylic Acid Improves Nitrogen Fixation, Growth, Yield and Antioxidant Defence Mechanisms in Chickpea Genotypes Under Salt Stress. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 41, n. 5, p. 2034–2047. 2022.

KLUCAS, R.V.; JOE HANUS, F.; RUSSELL, S.; HAROLDJ. EVANS, H.J. Nickel: A micronutrient element for hydrogen-dependent growth of *Rhizobium japonicum* and for expression of urease activity in soybean leaves. **National Academy of Sciences**, v. 80, n. 8, p. 2253-2257, 1983.

KHAN, N. A. et al. Application of salicylic acid increases contents of nutrients and antioxidative metabolism in mungbean and alleviates adverse effects of salinity stress. **International Journal of Plant Biology**, v. 1, n. 1, p. 1–8, 2010.

KHOKON, M. A. R. et al. MPK9 and MPK12 function in SA-induced stomatal closure in arabidopsis thaliana. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, v. 81, n. 7, p. 1394–1400, 2017.

KUMAR, P.; DUBE, S. D.; CHAUHAN, V. S. Effect Of Salicylic Acid On Growth, Development And Some Biochemical Aspects Of Soybean (Glycine Maxl. Merrill) Short Communication **Indzaiz J. Plant Physzol.** 1999.

Kumar, O., Singh, S. K., Patra, A., Latare, A., Yadav, S. N. A Comparative Study of Soil and Foliar Nickel Application on Growth, Yield and Nutritional Quality of Barley (Hordeum Vulgare L.) Grown in Inceptisol, **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 52:11, 1207-1223. 2021.

KUTMAN, B.; KUTMAN, U.; CAKMAK, I. Nickel-enriched seed and externally supplied nickel improve growth and alleviate foliar urea damage in soybean. **Plant and Soil**, v. 363, n. 1-3, 61 – 75. 2013.

KUTMAN, B.; KUTMAN, U.; CAKMAK, I. Effects of seed nickel reserves or externally supplied nickel on the growth, nitrogen metabolites and nitrogen use efficiency of urea- or nitrate-fed soybean. **Plant & Soil**, v. 376, n. 1/2, p. 261–276, 2014.

LANA, M. R. Q.; FARIA, M. V.; BONOTTO I.; LANA, A. M. Q. Cobalt and molybdenum concentrated suspension for soybean seed treatment. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1715-1720, 2009.

LANTMANN, A.F.; SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; OLIVEIRA, M.C.N. Resposta da soja a molibdênio em diferentes níveis de pH do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 1, p. 45-49, 1989.

LAM-SÁNCHEZ, A.; AWAD, M. Efeito da simazina e do molibdênio no rendimento, conteúdo protéico e nodulação da soja (Glycine max (L.) Merrill) e da simazina no rendimento e conteúdo protéico do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.). **Científica**, Jaboticabal, v. 4, p. 56-58, 1976.

LAVRES J.; FRANCO, G.C.; CÂMARA, G.M.S. Soybean Seed Treatment with Nickel Improves Biological Nitrogen Fixation and Urease Activity. **Frontiers in Environmental Science**, v. 4, p. 37, 2016.

LEVY, C. C. B.; MELLIS, E.V.; MURRER, M.K.; INGLÉS, C.R.; DAYNES, C.N.; CAVALLI, E.; CHIBA, M.K. Effects of nickel fertilization on soybean growth in tropical soils. **Bragantia**, v. 78, n. 3, p. 432–43, 2019.

LIU, N. et al. Salicylic acid alleviates aluminum toxicity in soybean roots through modulation of reactive oxygen species metabolism. **Frontiers in Chemistry**, v. 5, n. 1. 2017

LÓPEZ, M.; CARBONERO, V.; CABRERA, E.; RUIZ-ARGÜESO, T. Effects of host on the expression of the H₂-uptake hydrogenase of Rhizobium in legume nodules. **Plant Science Letters**, v. 29, p. 191-199, 1983.

LOPES, J.F.; COELHO, F.C.; RANGEL, O.J.P.; RABELLO, W.S.; GRAVINA, G.A.; VIEIRA, H.D. Foliar fertilization with nickel and molybdenum in common bean cv. 'Ouro Vermelho.' **Revista Ceres**, v. 61, n.2, p. 234-40, 2014.

MACEDO, F.G.; BRESOLIN, J.D.; SANTOS, E.F.; FURLAN, F.; SILVA, W.T.L.; POLACCO, J.C.; LAVRES, J. Nickel availability in soil as influenced by liming and its role in soybean nitrogen metabolism. **Frontiers in Plant Science**, v.7, p.1358, 2016.

MCCLURE, P.R. & ISRAEL, D.W. Transport of nitrogen in the xilem of soybean. **Plant Physiology**, v. 64, p. 411-416, 1979.

MALAVOLTA, E. 2006. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. Piracicaba, Brazil: Agronômica Ceres, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F. Nickel - from toxic to essential nutrient. **Better Crops**, v. 91, n.3, p. 26-27, 2007.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos**. São Paulo, Produquímica, 1994.

MANDARINO, J.M.G.; HIRAKURI, M.H.; ROESSING, A.C. **Tecnologia para a produção de óleo de soja: descrição das etapas equipamentos, produtos e subprodutos**. 2. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2015. 36 p. (Embrapa Soja. Documentos,171).

MANDARINO, J. M. G.; OLIVEIRA, M. A. de.; LEITE, R. S. **Características físico-químicas e tecnológicas dos grãos: teor de proteína, teor de óleo, acidez do óleo e teor de clorofila**. In: LORINI, I. (Ed.). Qualidade de sementes e grãos comerciais de soja no Brasil - safra 2016/17. Londrina: Embrapa Soja, 2018. p. 157- 177.

MARCONDES, J.A.; CAIRES, E.F. Aplicação de molibdênio e cobalto na semente para cultivo da soja, **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 4, p. 687-694, 2005.

MARCON, E.; ROMIO, S.; MACCARI, V.; KLEIN, C.; LÁJUS, C.; RANGEL, O.J.P.; RABELLO, W.S.; GRAVINA, G.D.A.; VIEIRA, H.D. Use of different nitrogen sources in soybean crops. **Revista Thema**, v. 14, n. 2, p. 298-308, 2017.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. London, UK: Academic Press. 2012.

MASCARENHAS, H.A.A.; TEIXEIRA, J.P.F.; NAGAI, V.; TANAKA, R.T.; GALLO, P.B.; PEREIRA, J.C.V.N.A. A calagem nos teores de óleo e de proteína em soja. **Bragantia**, Campinas, v. 49, n. 1, p. 171-182, 1990.

MCCOY, J. M.; KAUR, G.; GOLDEN, B.R.; ORLOWSKI, J.M.; COOK, D.R.; BOND, J.A.; COX, M.S. Nitrogen fertilization of soybean affects root growth and nodulation on two soil types in Mississippi. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 49, n. 2, p.181–87, 2018.

MELO, C. L. P. de; PIPOLO, A. E.; MOREIRA, J. U. V.; LIMA, D. de; FOLONI, J. S. S.; MIRANDA, L. C.; PETEK, M. R.; BORGES, R. de S.; GOMIDE, F. B.; DALBOSCO, M.; DENGLER, R. U. **Cultivares de soja: macrorregiões 1, 2 e 3 centro-sul do Brasil**. Embrapa Soja, 2016. Disponivem em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1051023/cultivares-de-soja-macrorregioes-1-2-e-3-centro-sul-do-brasil> . Acesso em: 20 fev. 2023.

MENGARDA, C.A.C.; TIRITAN, C.S.; SATO, A.M. influência do molibdênio associado com o cobalto na cultura da soja (*Glycine max* L.) Em diferentes fases fenológicas no oeste paranaense. **Colloquium Agrariae**, v. 3, n. 1, p. 01–07, 2007.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001.

MENDES, I.C.; HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. Soybean response to starter nitrogen and Bradyrhizobium inoculation on a cerrado oxisol under no-tillage and conventional tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n.1, p. 81–87, 2003.

MILADINOV, Z. et al. Effects of foliar application of solutions of ascorbic acid, glycine betaine, salicylic acid on the yield and seed germination of soybean in South Eastern Europe conditions. **Zemdirbyste-Agriculture**, v. 107, n. 4, p. 337–344, 2020.

MORAES, R.M.; JOSÉ, I.C.; RAMOS, F.G.; BARROS, E.; MOREIRA, M.A. Caracterização bioquímica de linhagens de soja com alto teor de proteína. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 5, p. 715–729, 2006.

MORAES L.M.F.; LANA, R.M.Q.; MENDES, C.; MENDES. E.; MONTEIRO, A.; ALVES. J.F. Redistribuição de molibdênio aplicado via foliar em diferentes épocas na cultura da soja. **Ciência e Agrotecnologia**, 32:1496-1502, 2008.

MORAES, M.F.; REIS, A.R.; MORAES, L.A.C.; LAVRES JÚNIOR, J.; VIVIAN, R.; CABRAL, C.P.; MALAVOLTA, E. Effects of molybdenum, nickel, and nitrogen sources on the mineral nutrition and growth of rice plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 40 n.21–22 p. 38–51, 2009.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N.K.; GARCIA, A.; GARCIA, Y. Effect of liming on the nutritional conditions and yield of alfalfa grown in tropical conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 34, n. 8, p. 1107–1119, 2011.

MOREIRA, A.; MORAES, L.A.C. **Nutrição e adubação da cultura da Soja: Macronutrientes**. In: Nutrição E Adubação De Grandes Culturas, 1ª ed. R. M. Prado and C. N. S. Campos, 181–201. Jaboticabal, Brazil: FCAV. 2018.

MOREIRA, A.; MORAES, L.A.C.; SCHROTH, G.; BECKER, F.J.; MANDARINO, J.M.G. Soybean yield and nutritional status response to nitrogen sources and rates of foliar fertilization. **Agronomy Journal**, v.109, n. 2, p. 629–635. 2017.

MOREIRA, A.; MORAES, L.A.C.; SCHROTH, G.; MANDARINO, J.M.G. Effect of nitrogen, row spacing, and plant density on yield, yield components, and plant physiology in soybean-wheat intercropping. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 6, p. 2162–2170, 2015.

MÜLLER, M.; MUNNÉ-BOSCH, S. Hormonal impact on photosynthesis and photoprotection in plants. **Plant Physiology**, v. 185, n. 4, p. 1500–1522. 2021.

MUNSIF, F. et al. Potassium and salicylic acid function synergistically to promote the drought resilience through upregulation of antioxidant profile for enhancing potassium use efficiency and wheat yield. **Annals of Applied Biology**, v. 180, n. 2, p. 273–282. 2022.

NATARAJAN, S. S. Analysis of soybean seed proteins using proteomics. **Journal of Data Mining In Genomics & Proteomics**, v. 5, n. 1, p.1000e113, 2014.

OLIVEIRA, C.O.; PINTO, C.C.; GARCIA, A.; BETTIOL, J.V.T.; SÁ, M.E.; LAZARINI, E. Produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio. **Revista Ceres**, v. 64, n. 3, p. 282-290, 2017.

PAIVA, H. N.; CARVALHO, J.G.; SIQUEIRA, J.O.; FERNANDES, A.R.; MIRANDA, J. R. P. Efeito da aplicação de doses crescentes de níquel sobre o teor e o conteúdo de nutrientes em mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart) Standley). **Scientia Forestalis**, n. 63, p.158-166, 2003.

PARVEEN, A. et al. Promotion of growth and physiological characteristics in water-stressed *triticum aestivum* in relation to foliar-application of salicylic acid. **Water (Switzerland)**, v. 13, n. 9. 2021.

PAULETTI, V.; MOTTA, A.C.V. (Cordenadores). **Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná**. 2ªed. Curitiba, Brazil: NEPAR-SBCS. 2019.

PERKINS, E.G. Composition of soybeans and soybeans products. In: ERICKSON, D. R. (Ed.). **Practical handbook of soybean processing and utilization**. Champaign: AOCS Press, 1995. p. 9-28.

PÍPOLO, A.E.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; DEBIASI, H.; MANDARINO, J.M.G. Teores de óleo e proteína em soja: fatores envolvidos e qualidade para a indústria. Londrina, 2015, p16. Embrapa Soja (comunicado técnico, 86).

PÍPOLO, A.E.; MANDARINO, J.M.G. Os teores de proteína da soja e a qualidade para a indústria. **SBCS**, 2016. 4p.

PIRASTEH-ANOSHEH, H. et al. Salicylic Acid-Mediated Regulation of Morpho-Physiological and Yield Attributes of Wheat and Barley Plants in Deferring Salinity Stress. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 41, n. 3, p. 1291–1303. 2022.

POLACCO, J. C., MAZZAFERA, P., TEZOTTO, T. Opinion – nickel and urease in plants: still many knowledge gaps. **Plant Sci** 199– 200:79–90. 2013.

PROCHNOW, J.; SCHMID, L.; MEDEIROS, J.; MIELEZRSKI, F. Response to late foliar nitrogen application in soybean productivity. **International Journal of Experimental Agriculture**, v. 15, n. 1, p.1–5, 2017.

QUAGGIO, J.A.; GALLO, P.B.; FURLANI, A.M.C.; MASCARENHAS, H.A.A. Isoquantas de produtividade de soja e sorgo para níveis de calagem e molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 337-344, 1998.

RANGEL, M.A.S.; CAVALHEIRO, L.R.; CAVICHIOLLI, D.; CARDOSO, P.C. **Efeito do genótipo e do ambiente sobre os teores de óleo e proteína nos grãos de soja, em quatro ambientes da Região Sul de Mato Grosso do Sul, safra 2002/2003**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2004. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 17).

RENGEL, Z., CAKMAK, I., WHITE, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Plants**. 4th edition. Academic Press. 2022.

RAY, J. D., HEATHERLY, L. G., FRITSCHI, F. B. Influence of large amounts of nitrogen on nonirrigated and irrigated soybean. **Crop Science**, 46, 52–60. 2006.

RAZMI, N.; EBADI, A.; DANESHIAN, J.; JAHANBAKHS, S. Salicylic acid induced changes on antioxidant capacity, pigments and grain yield of soybean genotypes in water deficit condition, **Journal of Plant Interactions**, v. 12, n. 1, p. 457-464, 2017.

RODAK, B. W. **Níquel em solos e na cultura da Soja**. Curitiba, Brazil: Universidade Federal do Paraná, 2014.

RODRIGUES, V.A.; CRUSCIOL, C.A.C.; BOSSOLANI, J.W.; PORTUGAL, J.R.; MORETTI, L.G.; BERNART, L.; VILELA, R.G.; GALERIANI, T.; LOLLATO, R.P. Foliar nitrogen as stimulant fertilization alters carbon metabolism, reactive oxygen species scavenging, and enhances grain yield in a soybean–maize rotation. **Crop Science**, v. 61, n. 5, p. 3687–3701, 2021.

ROSOLEM, C.A.; CAIRES, E.F. Yield and nitrogen uptake of peanuts as affected by lime, cobalt and molybdenum. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 21, p. 827-835, 1998.

ROWNTREE, S.C.; SUHRE, J.J.; WEIDENBENNER, N.H.; WILSON, E.W.; DAVIS, V.M.; NAEVE, S.L.; CASTEEL, S.N.; DIERS, B.W.; ESKER, P.D.; SPECHT, J.E.; CONLEY, S.P. Genetic gain x management interaction in soybean: I. Planting date. **Crop Science**, v. 53, p. 1128-1138, 2013.

SÁ, J.C.M.; LAL, R.; CERRI, C.C.; LORENZ, K.; HUNGRIA, M.; CARVALHO, P.C.C. Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. **Environment International**, v. 98, p. 102-112, 2017.

SANTOS, L. P.; VIEIRA, C. **Teor de nitrogênio orgânico nas folhas e de proteína bruta nos grãos de soja fertilizada com nitrogênio e molibdênio**. In: SILVA, D. A. S. (Org.). *Agronomia: elo da cadeia produtiva 6*. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. p. 262-279.

SATURNO, D.F.; CERZINI, P.; MOREIRA DA SILVA, P.; OLIVEIRA, A.B.; OLIVEIRA, M. C.N; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, Marco Antonio. Mineral nitrogen impairs the biological nitrogen fixation in soybean of determinate and indeterminate growth types. **Journal of Plant Nutrition**, v. 40, n. 12, p. 1690–1701, 2017.

SEARLE, P.L. The berthelot or indophenol reaction and its use in the analytical chemistry of nitrogen: A review. **Analyst**, v. 109, n. 5, 1984.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja do Plantio à Colheita**. 1a ed. Editora UFV, Viçosa, 2015.

SEDIYAMA, T. et al. Origem, evolução e importância econômica. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologias de produção e uso da soja**. Londrina: Mecenaz, 2009. p. 101-118.

SELLSTEDT, A.; SMITH, G. D. Nickel is essential for active hydrogenase in free-living frankia isolated from casuarina. **FEMS Microbiology Letters**, Amsterdam, v. 70, n. 2, p. 137-140, 1990.

SILVA, A.F.; SCHONINGER, E.L.; MONTEIRO, S.; CAIONE, G.; CARVALHO, M.A.C.; DALCHIAVON, F.C.; NOETZOLD, R. Inoculação com bradyrhizobium e formas de aplicação de Cobalto e Molibdênio na cultura da soja. **Agrarian**, v. 4, n. 12, p. 98–104, 2011.

SINGH, P. K.; VARUN KUMAR CHATURVEDI, V. K. Effects of salicylic acid on seedling growth and nitrogen use efficiency in cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, v. 146, n. 2, p. 302-308, 2012.

SFREDO, G.J.; OLIVEIRA, M.C.N. **Soja: Molibdênio e cobalto**. Londrina, Brazil: Embrapa Soja. 2010.

SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; NEPOMUCENO, A.L.; OLIVEIRA, M.C.N. Eficácia de produtos contendo micronutrientes, aplicados via semente, sobre produtividade e teores de proteína da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 41-45, 1997.

SHAFAT, H. S., RÜDIGER, O., OGATA, H., AND LUBITZ, W. [NiFe] hydrogenases: a common active site for hydrogen metabolism under diverse conditions. **Biochim. Biophys. Acta** 1827, 986–1002. 2013

SHARMA, M. et al. Salicylic acid mediated growth, physiological and proteomic responses in two wheat varieties under drought stress. **Journal of Proteomics**, v. 163, p. 28–51. 2017.

SHARMA, M. et al. Proteomics unravel the regulating role of salicylic acid in soybean under yield limiting drought stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 130, p. 529–541. 2018.

SHEMI, R. et al. Effects of salicylic acid, zinc and glycine betaine on morpho-physiological growth and yield of maize under drought stress. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 3195. 2021.

SHIBLES, R.; SENCOR, J.; FORD, D.M. Carbon assimilation and metabolism. In: J WILCOX, J.R. (Ed.). **Soybeans: improvement, production and uses**. 2. ed. Madison: ASA, 1987. p. 535-579.

SHIBLES, R.; SUNDBERG, D.N. Relation of Leaf Nitrogen Content and Other Traits with Seed Yield of Soybean, **Plant Production Science**, v. 1, n. 1, p. 3-7, 1998.

SINCLAIR, T.R. Improved carbon and nitrogen assimilation for increased yield. In: BOERMA, H.R.; SPECHT, J.E. (Ed.). **Soybeans: improvement, production and uses**. 3.ed. Madison: American Society of Agronomy: Crop Science Society of America: Soil Science Society of America, 2004. p. 537-563.

SYEED, S. et al. Salicylic acid-mediated changes in photosynthesis, nutrients content and antioxidant metabolism in two mustard (*Brassica juncea* L.) cultivars differing in salt tolerance. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, n. 3, p. 877–886. 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. Max.; MURPHY, A. **Plant Physiology and Development**, 6th ed. Sunderland: SINAUER Associates Inc., U.S. 2014.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.

TEIXEIRA, K.R.S.; MARIN, V.A.; BALDANI, J.I. Nitrogenase: bioquímica do processo de FBN. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1998. 25p. (Documentos, 84)

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 4. ed. New York: MacMilan, 1985.

THAKUR, M.; HURBURGH, C.R. Quality of US soybean meal compared to the quality of soybean meal from other origins. **Journal of the American Oil Chemists` Society**, v.84, p.835-843, 2007.

TPS (Tecnologias de produção de soja). **Sistemas de Produção**. n.17. Embrapa Soja, 2020.

TRIVELIN, P.C.O.; CARVALHO, J.G.; SILVA, A.Q.; PRIMAVESI, A.C.P.A.; CAMACHO, E.; EIMORE, I.E.; GUILHERME, M.R. Foliar fertilization of sugarcane

(*Saccharum* spp.): Absorption and translocation of ¹⁵N-label and urea. **Energia Nuclear na Agricultura**, v. 9, n. 2, p.52–65, 1988.

UREN, N.C. Forms, reactions, and availability of nickel in soils. **Advances in Agronomy**, New York, n. 48, p. 141-203, 1992.

URETA, A.C.; IMPERIAL, J.; RUIZ-ARGÜESO, T. & PALACIOS, J.M. Rhizobium leguminosarum biovar viciae symbiotic hydrogenase activity and processing are limited by the level of nickel in agricultural soils. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 71, n.11, p. 7603-7606, 2005.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Oil Crops Sector at a Glance**. 2019. Disponível em: <<https://www.ers.usda.gov/topics/crops/soybeans-oil-crops/oil-crops-sector-at-a-glance/>>. Acesso em: 22 jan. 2020.

USAD. **World Agricultural Production**, December, 2022.

VITTI, G.C.; FORNASIERI FILHO, D.; PEDROSO, P.A.C.; CASTRO, R.S.A. Fertilizante com molibdênio e cobalto na cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, p. 349-352, 1984.

VOSS, M.; PÖTTKER, D. Adubação com molibdênio em soja, na presença ou ausência de calcário aplicado na superfície do solo, em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 5, p. 787-791, 2001.

WAREMBOURG, F.R.; FERNANDEZ, M.P. Distribution and remobilization of symbiotically fixed nitrogen in soybean (*Glycine max*). **Plant Physiology**, v. 65, p. 281-286, 1985.

WILCOX, J.R. Breeding soybean for improved protein quantity and quality. In: **World Soybean Research Conference, III: Proceedings**. SHIBLES, R.; BOULDER, C.O. (Ed.). Westview Press, 1985, p. 380-386.

WILCOX, J. R. World Distribution and Trade of Soybean. In: SHIBLES, R. R. et al. (Eds.). **Soybeans: Improvement, Production, and Uses**. John Wiley & Sons, Ltd, 2004. v. 16p. 1-14–2.

WILSON, E.W.; ROWNTREE, S.C.; SUHRE, J.J.; WEIDENBENNER, N.H.; CONLEY, S.P.; DAVIS, V.M.; DIERS, B.W.; ESKER, P.D.; NAEVE, S.L.; SPECHT, J.E.; CASTEEL, S.N. Genetic gain x management interaction in soybean: II. Nitrogen utilization. **Crop Science**, v.54, p. 340-348, 2014.

WOOD, B.W.; REILLY, C.C. NYCZEPIR, A.P. Field deficiency of nickel in trees: symptoms and causes. **Acta Horticulturae**, v.721, p.83-98, 2006.

WITTE, C. P. Urea metabolism in plants. **Plant Sci**, 180. 431- 438. 2011.

YILDIRIM, E.; TURAN, M.; GUVENC, I. Effect of foliar salicylic acid applications on growth, chlorophyll, and mineral content of cucumber grown under salt stress. **Journal of Plant Nutrition**, v. 31, n. 3, p. 593–612. 2008.

ZAPATA, F.; DANSO, S.K.A.; HARDARSON, G., FRIED.M. Time course of nitrogen fixation in field-grown soybean using nitrogen-15 methodology. **Agronomy Journal**, v. 79, p. 172-176, 1987.

ZHANG, K. et al. Salicylic acid 3-hydroxylase regulates Arabidopsis leaf longevity by mediating salicylic acid catabolism. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 110, n. 36, p. 14807–14812. 2013.

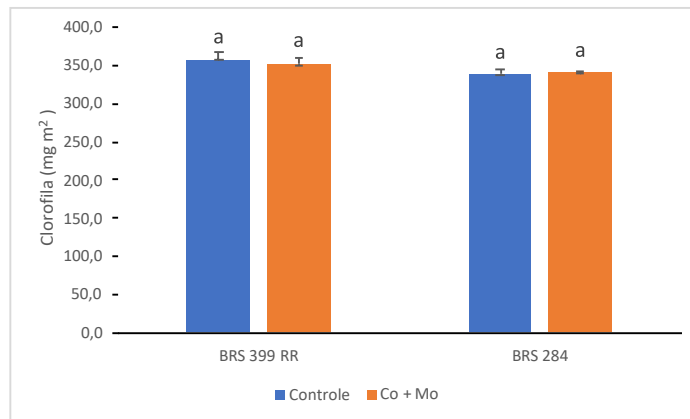
ZHANG, K. et al. Effects of exogenous salicylic acid on the resistance response of wild soybean plants (*Glycine soja*) infected with Soybean mosaic virus. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 42, n. 1, p. 84–93. 2020.

ZRENNER, R., STITT, M., SONNEWALD, U., AND BOLDT, R. Pyrimidine and purine biosynthesis and degradation in plants. **Annu. Rev. Plant Biol.** 57, 805–836. 2006.

APÊNDICES

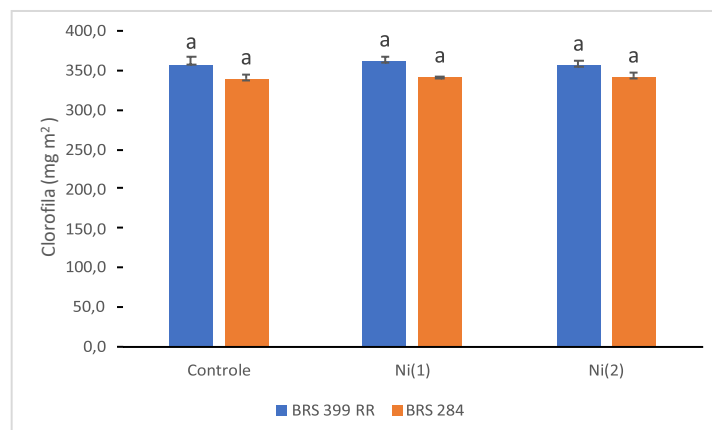
APÊNDICE A

Teor de clorofila de duas cultivares de soja depois da aplicação foliar com Co + Mo em estádios V3 e V5. Valores das médias de 8 repetições e os desvios padrões das duas safras. Tratamentos com a mesma letra, em cada cultivar, não diferem significativamente pelo teste de F ($p < 0,05$).



APÊNDICE B

Teor de clorofila de duas cultivares de soja depois da aplicação foliar com Ni em estádios R1 e R5. Valores das médias de 8 repetições e os desvios padrões das duas safras. Tratamentos com a mesma letra, em cada cultivar, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Ni (1) = aplicação foliar de 30 g Ni ha⁻¹ em R1 e 30 g Ni ha⁻¹ R5; Ni (2) = aplicação foliar de 60 g Ni ha⁻¹ em R1 e 60 g Ni ha⁻¹ em R5.



APÊNDICE C

Teor de clorofila de duas cultivares de soja depois da aplicação foliar com N e N + Ni em estádios V3 e V5. Valores das médias de 8 repetições e os desvios padrões das duas safras. Tratamentos com a mesma letra, em cada cultivar, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

