

Zuffo, AM, Aguilera, JG, Ratke, RF, Steiner, F, Oliveira, AM & Fonseca, WL. (2020). Path analysis in soybean subjected to nitrogen sources and application rates inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* in soils with different fertility levels. *Research, Society and Development*, 9(7): 1-21, e203973813.

**Análise de trilha em soja submetida a fontes e doses de nitrogênio inoculadas com
Bradyrhizobium japonicum em solos com diferentes níveis de fertilidade**

**Path analysis in soybean subjected to nitrogen sources and application rates inoculated
with *Bradyrhizobium japonicum* in soils with different fertility levels**

**Análisis de senderos en soja sometida a fuentes y dosis de nitrógeno inoculadas con
Bradyrhizobium japonicum en suelos con diferentes niveles de fertilidad**

Recebido: 20/04/2020 | Revisado: 22/04/2020 | Aceito: 01/05/2020 | Publicado: 07/05/2020

Alan Mario Zuffo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9704-5325>

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Programa de Pós-Graduação em Agronomia,

Chapadão do Sul, MS, Brasil

E-mail: alan_zuffo@hotmail.com

Jorge González Aguilera

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7308-0967>

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Programa de Pós-Graduação em Agronomia,

Chapadão do Sul, MS, Brasil

E-mail: j51173@yahoo.com

Rafael Felipe Ratke

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6930-3913>

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Programa de Pós-Graduação em Agronomia,

Chapadão do Sul, MS, Brasil

E-mail: rfratke@gmail.com

Fábio Steiner

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6930-3913>

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Programa de Pós-Graduação em Agronomia,

Sustentabilidade na Agricultura, Cassilândia, MS, Brasil.

E-mail: steiner@uems.br

Augusto Matias de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3556-2030>

Universidade Federal do Piauí, Departamento de Fitotecnia, Bom Jesus, PI, Brasil.

E-mail: augusto2013ufpi@gmail.com

Wéverson Lima Fonseca

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8984-0297>

Universidade Federal do Piauí, Departamento de Fitotecnia, Bom Jesus, PI, Brasil.

E-mail: weversonufpi@gmail.com

Resumo

A cultura da soja apresenta importância socioeconômica mundial, portanto, se faz necessário estudos que visem ampliar seu desempenho produtivo. Assim, objetivou-se avaliar o efeito dos caracteres agronômicos em função da aplicação de fontes e doses de N associadas à inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* no teor de proteína e na produtividade de grãos na cultura da soja. Utilizou-se delineamento em blocos casualizados, disposto em esquema fatorial $2 \times 2 \times 5$: dois locais (UFMS 1 e UFMS 2), duas fontes de nitrogênio [ureia (45% de N) e sulfato de amônio (21% de N)] e cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹), com quatro repetições. No estágio R₃, foram avaliadas a altura de planta, teor foliar de clorofila, área foliar e matéria seca da parte aérea. No estágio R₈, avaliou-se a altura de inserção do primeiro legume, número de legumes e grãos por legume, massa de mil grãos, produtividade de grãos e teor de proteína bruta. Os resultados demonstram que no experimento conduzido na área UFMS 1, a área foliar e a massa de mil grãos foram os caracteres que possuem maior efeito direto positivo sobre a produtividade de grãos e o teor de proteína, respectivamente. Na área UFMS 2, a massa de mil grãos e a matéria seca total da parte aérea foram os caracteres que apresentaram maior efeito direto positivo sobre a produtividade e teor de proteína, respectivamente.

Palavras-chave: Efeito direto e indireto; Produtividade; Teor de proteína.

Abstract

The cultivation of soybeans is of global socioeconomic importance, therefore, studies are needed to increase its productive performance. Thus, this study aimed to evaluate the effect of agronomic traits due to the application of nitrogen sources and rates associated with inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* on the protein content and grain yield of soybean. A randomized block design was used, in a $2 \times 2 \times 5$ factorial scheme: two locations (UFMS 1 and UFMS 2), two sources of nitrogen fertilizer [urea (45% N) and ammonium

sulfate(21% N)] and five nitrogen rates (0, 50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹), with four replications. At the R₃ stage, plant height, leaf chlorophyll content, leaf area and shoot dry matter were evaluated. At stage R₈, first pod height, pods number per plant, grain number per pod, mass of thousand grains, grain yield and crude protein content were measured. The results show that in the experiment conducted in the UFMS 1 area, the leaf area and the mass of thousand grains were the agronomic traits that have the greatest positive direct effect on grain yield and protein content, respectively. In the UFMS 2 area, the mass of a thousand grains and the total dry mass were the agronomic traits that have the greatest direct positive effect on grain yield and protein content, respectively.

Keywords: Direct and indirect effect; Productivity; Protein content.

Resumen

El cultivo de la soja es de importancia socioeconómica mundial, por lo tanto, se necesitan estudios para aumentar su rendimiento productivo. De ese modo, el objetivo fue evaluar el efecto de los rasgos agronómicos dependiendo de la aplicación de fuentes y dosis de N asociadas con la inoculación con *Bradyrhizobium japonicum* sobre el contenido de proteínas y el rendimiento de grano en la soja. Se utilizó un diseño de bloques al azar, organizado en un esquema factorial 2 × 2 × 5: dos lugares (UFMS 1 y UFMS 2), dos fuentes de nitrógeno [urea (45% N) y sulfato de amonio (21% N)] y cinco dosis de nitrógeno (0, 50, 100, 150 y 200 kg ha⁻¹), con cuatro repeticiones. En la fase R₃, se evaluó la altura de la planta, el contenido de clorofila de la hoja, el área foliar y la materia seca de la parte aérea. En la etapa R₈, se evaluó la altura de inserción de la primera vaina, el número de vainas y granos por vaina, la masa de mil granos, la productividad de granos y el contenido de proteína. Los resultados muestran que en el experimento realizado en el área UFMS 1, el área de la hoja y la masa de mil granos fueron los caracteres que tuvieron el mayor efecto directo positivo sobre la productividad de granos y el contenido de proteínas, respectivamente. En el área UFMS 2, la masa de mil granos y la materia seca total de la parte aérea fueron los caracteres que tuvieron el mayor efecto directo positivo sobre la productividad y el contenido de proteínas, respectivamente.

Palabras clave: Efecto directo e indirecto; Productividad; Contenido proteico.

1. Introdução

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill.) está entre as principais fontes de proteínas para a alimentação humana e a animal. Os Estados Unidos e o Brasil são os maiores produtores

mundiais com 34% e 32% da safra 2018/2019, respectivamente (Conab, 2019). No Brasil, se estima que a soja vai ter uma produção de 122,1 milhões de toneladas, ganho de 6,1% em relação à safra 2018/19 (Conab, 2020). Estas altas produções são o resultado de investimentos em tecnologias para o preparo do solo, a semeadura, o uso de sementes de qualidade para semeadura, os cuidados com a lavoura, a colheita, o armazenamento, a exportação e processamento de grãos, gerando emprego e renda para milhares de pessoas, tornando-a uma das principais *commodities* mundiais (Sonah et al., 2015).

O nitrogênio (N) é um composto presente nas proteínas da soja que em média correspondem ao 34% nos grãos, o que torna o grão de soja muito atrativo. Além disso, o N representa um macronutriente vital e requerido em maior quantidade pelas plantas, funcionando como constituinte de vários compostos e processos fisiológicos (ácidos nucleicos, co-fatores enzimáticos, fotossíntese, respiração, dentre outros) (Shiri-Janagard et al., 2012). Assim, se o grão de soja é rico em proteínas e estas têm como um de seus componentes o N, é importante o estudo com o fornecimento de N para a cultura (Egamberdieva et al., 2018).

Dentre as opções de fornecimento de N para a cultura, há os fertilizantes nitrogenados, como o sulfato de amônia e a ureia. Ambos são comumente utilizados na agricultura devido a rápida assimilação do N pelas plantas. No entanto, apesar dos fertilizantes minerais serem absorvidos com maior rapidez, estes são de elevado custo, o que muitas vezes não é um atrativo para o produtor (Chebotarev et al., 2017; Chae et al., 2018). Outra desvantagem do uso desses fertilizantes são as perdas consideráveis por volatilização e desnitrificação (Martins et al., 2017; Afshar et al., 2018; Ahmed et al., 2018).

Porém, fertilização mineral não é única forma de disponibilizar N para as culturas, existe o N atmosférico que pode ser assimilado por bactérias em simbiose com as plantas leguminosas por meio do processo de fixação biológica do nitrogênio (FBN). As associações mais comuns entre leguminosas, como é o caso da soja, e bactérias, são com as dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* (Meena et al., 2018). A inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* tem substituído a adubação nitrogenada mineral no cultivo da soja em regiões tropicais.

A fixação biológica de nitrogênio além de promover maior eficiência na assimilação de N, também resulta em economia para o agricultor devido ser uma tecnologia barata. A FBN ganha destaque no atual cenário mundial de produção, que visa o incremento da produtividade dos grãos e a sustentabilidade ambiental (Leggett et al., 2017).

Diante da complexidade de compreender os fatores que afetam a produtividade e teor

de proteína dos grãos de soja, deve-se considerar as análises de trilha que ajudem a conhecer ou desvendar as relações entre as variáveis, pois a correlação alta ou baixa entre dois caracteres pode ser decorrente do efeito indireto de um terceiro caractere sobre eles ou de um grupo de caracteres (Nogueira et al., 2012; Zuffo et al., 2017).

A análise de trilha, desenvolvida em 1918 pelo geneticista Sewall Wright, tem sido indicada, pois possibilita dividir os coeficientes de correlação nos efeitos diretos e indiretos em uma variável básica, obtendo-se as estimativas por meio de equações de regressão e nas quais as variáveis são previamente padronizadas (Alcântara Neto et al., 2011; Mahapatra et al., 2020).

Assim, diante da importância do N para a cultura da soja, objetivou-se com o presente estudo avaliar o efeito dos caracteres agrônômicos em função da aplicação de fontes e doses de N associadas à inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* no teor de proteína e produtividade de grãos na cultura da soja.

2. Metodologia

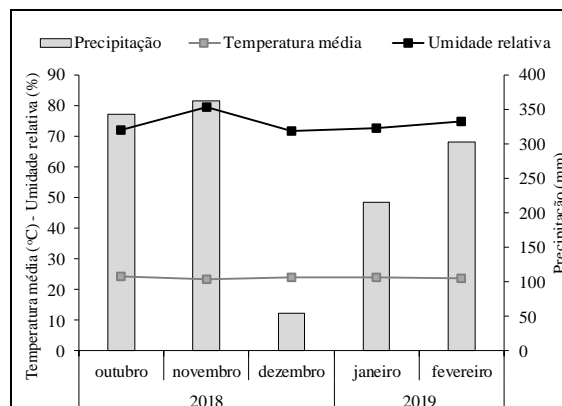
O presente trabalho é uma pesquisa experimental, quantitativa, que segue os fundamentos de este tipo de pesquisa, conforme recomendado por Pereira et al. (2018). Parte dos dados quantitativos foi obtida em campo e parte deles em laboratório.

2.1. Localização e caracterização da área experimental

Os experimentos foram realizados em áreas experimentais da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul com diferentes níveis de fertilidade, e as unidades foram denominadas UFMS 1 e UFMS 2, ambos em Chapadão do Sul, MS, Brasil (18°46'17,9 de latitude Sul; 52°37'25,0" de longitude Oeste e altitude média de 810 m), durante a safra 2018/2019.

O clima da região, segundo classificação de Koppen, é do tipo tropical chuvoso (Aw), com verão chuvoso e inverno seco, com precipitação, temperatura média e umidade relativa anual de 1.261 mm, 23,97 °C, 64,23%, respectivamente. Os dados de precipitação durante a condução dos experimentos são mostrados na Figura 1.

Figura 1. Médias mensais da temperatura, umidade relativa do ar e o acúmulo da precipitação pluviual, ocorridas em Chapadão do Sul-MS na safra 2018/19, durante o ciclo da soja. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Fonte: Autores.



O solo das duas áreas experimentais foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico – LVdf (Embrapa, 2013) de textura argilosa. Antes de iniciar o experimento, os solos foram amostrados na camada 0-0,20 m e as principais propriedades químicas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Principais propriedades químicas dos solos utilizados no experimento.

Local	pH	MO	P _{Mehlich-1}	H+Al	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	CTC	V
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³						
UFMS 1	4,3	22,8	12,8	5,7	0,37	2,20	0,40	0,27	8,6	33,5
UFMS 2	4,8	23,2	8,6	3,5	0,02	3,10	1,80	0,29	8,7	59,8

MO: Matéria orgânica. CTC: Capacidade de troca de cátions à pH 7,0. V: Saturação de bases.

Fonte: Autores.

A correção da acidez do solo foi realizada com a aplicação superficial de calcário (CaO: 29%; MgO: 20%; PRNT: 90,1%; PN: 101,5%), visando elevar a saturação por base do solo na área UFMS 1 a 60%. A calagem foi realizada 60 dias antes da implantação do experimento.

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, disposto em esquema fatorial 2 × 2 × 5, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por dois

locais (UFMS 1 e UFMS 2), duas fontes de nitrogênio [ureia (45% de N) e sulfato de amônio (21% de N)] e cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N) aplicados no pleno florescimento (estádio R₂).

Cada unidade experimental foi constituída por sete fileiras espaçadas em 0,45 m entre si e com 5,0 m de comprimento, totalizando 15,75 m². Como área útil, foram consideradas as três linhas centrais, tendo-se desprezado 1,0 m em cada extremidade, perfazendo uma área de 4,05 m². A aplicação dos tratamentos foi realizada manualmente à lanço.

2.3 Implantação e condução do experimento

O preparo da área foi realizado com uma dessecação usando os produtos glifosate (720 g ha⁻¹ i.a) + haloxifope-p-metílico (63 g ha⁻¹ i.a). Após 10 dias foi realizado a instalação dos ensaios que seguiu o sistema plantio direto (SPD).

A cultura da soja cultivar BRASMAX BONÛS IPRO (hábito de crescimento indeterminado, ciclo de 114 a 121 dias, grupo de maturação 7,9) foi semeada no dia 4 de outubro de 2018 mecanicamente por meio de semeadora adubadora, com mecanismo sulcador tipo haste (facão), para SPD, a uma profundidade de aproximadamente três cm, com espaçamento de 0,45 m e 13 sementes por metro, para atingir estande final de 240.000 a 280.000 plantas por hectare.

A adubação de base foi constituída de 150 kg ha⁻¹ de MAP (11% de N-amoniaco e 52% de P₂O₅). A adubação de cobertura foi 100 kg ha⁻¹ de K₂O, cuja fonte foi o cloreto de potássio aos 40 dias após a emergência (DAE). Aos 40 DAE realizou-se a aplicação de adubação foliar dos produtos Actilase ZM (Zn 50,22 g L⁻¹; S 41,65 g L⁻¹; Mn 30,01 g L⁻¹) e Racine (Mo 108,75 g L⁻¹; Co 10,88 g L⁻¹; Carbono total 123,25 g L⁻¹) nas doses de 1 L ha⁻¹ e 120 mL por ha⁻¹, respectivamente.

As sementes de soja foram tratadas com piraclostrobina + tiofanato metílico + fipronil (Standak Top[®]) na dose de 2 mL p.c. kg⁻¹ de semente foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, utilizou-se o inoculante comercial líquido Simbiose Nod Soja[®] (Simbiose: Agrotecnologia Biológica) contendo as estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080 (concentração mínima de 7,2 x 10⁹ células viáveis por mL), na dose de 150 mL para 50 kg de sementes.

A quantidade de inoculante utilizada foi dissolvida em uma solução contendo 2 mL p.c. kg⁻¹ de semente de aditivo para inoculante Protege[®] TS (Total Biotecnologia) e, então, ambos os produtos (inoculante + aditivo) foram aplicadas nas sementes. O aditivo para

inoculante é constituído de metabólitos ativos de bactérias, complexo de açúcares e biopolímeros encapsulantes e tem a finalidade de melhorar a proteção e a viabilidade das bactérias sobre as sementes.

Para potencializar a nodulação da soja, as sementes também receberam a aplicação de micronutrientes, especialmente, de molibdênio. A fonte utilizada foi o fertilizante comercial para sementes Nódulus® Premium 125 (Biosoja) contendo: Mo, 10%; Co, 1%; S, 1%; Ca, 1%; Fe, 0,2%. Durante o desenvolvimento das plantas, para o manejo de plantas daninhas, pragas e doenças foram utilizados os produtos: glyphosate, haloxifope-p-metílico, piraclostrobina + epoxiconazol, picoxistrobina+ benzovindiflupir, mancozeb, azoxistrobina + ciproconazole, teflubenzurom, clorpirifós, cipermetrina e imidacloprido + beta-ciflutrina.

2.4 Mensuração das avaliações

Na formação do legume (estádio R₃) foram avaliadas cinco plantas por parcela: altura das plantas (cm) - determinada da superfície do solo até à inserção da última folha com auxílio de uma régua milimetrada; teor foliar de clorofila - (índice de clorofila Falker, ICF) com clorofilômetro digital CFL 1030, (Falker, Porto Alegre, RS) as leituras foram realizadas no terceiro trifólio desenvolvido de cima para baixo (folha diagnóstico); área foliar (cm²) com o auxílio de um medidor de área foliar eletrônico modelo Li-Cor, L1-3100®; matéria seca da parte aérea (g planta⁻¹) - as plantas foram acondicionadas em sacos de papel, colocadas para secar em estufa à 65 °C por 72 horas e, posteriormente, pesadas em balança analítica com precisão de 0,0001 g.

Para Detmann et al. (2012), por ocasião da colheita (estádio R₈), foram obtidos em cinco plantas por parcela as seguintes variáveis: altura de inserção do primeiro legume (cm) - determinada da superfície do solo até à inserção do primeiro legume; número de legume e número de grãos por legume (unidade) – por meio da contagem manual; massa de mil grãos (g) - de acordo com a metodologia descrita em Brasil (2009); produtividade de grãos (kg ha⁻¹) – determinada com a colheita da área útil da parcela e padronizada para o grau de umidade dos grãos de 13%; teor de proteína bruta pelo método de *semi kjeldahl* conforme

2.5 Análises estatísticas

Foi realizada uma análise de correlação de *Pearson* pelo teste t ao nível de 5 e 1% de significância para relacionar o grau de dependência entre as variáveis. Em seguida, procedeu-

se a análise de trilha, verificando os efeitos diretos e indiretos sobre a produtividade e teor de proteína de acordo com o método proposto por Wright (1921). Antes da análise de trilha, foi realizado o diagnóstico de multicolinearidade, conforme Cruz & Regazzi (1997).

O grau de multicolinearidade da matriz de correlações, entre as variáveis independentes do modelo de regressão, foi estabelecido com base em seu número de condições, que é a razão entre o maior e o menor autovalor da matriz de correlação fenotípica. Assim, quando o número de condições é menor que 100, a multicolinearidade é fraca e não ocasiona problema para a análise; quando se situa entre 100 e 1.000, a multicolinearidade é de moderada a forte; e quando é maior que 1.000, a multicolinearidade é severa (Montgomery et al., 2006). As análises estatísticas foram feitas com o auxílio do software “R” versão 3.6.1.

3. Resultados e Discussão

Nesta seção se apresenta os resultados obtidos nos experimentos realizados ao avaliar o efeito de fontes e doses de N associadas à inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* no teor de proteína e produtividade de grãos na cultura da soja. A seção é dividida em resultados obtidos em 2 locais (UFMS 1 e UFMS 2) que se diferenciam pelos níveis de fertilidade.

3.1 Experimento conduzido na área UFMS 1

O número de correlações negativas foi superior ao de positivas (Tabela 2).

Tabela 2. Correlação simples entre oito caracteres agrônômicos de cultivares de soja em um experimento realizado na área UFMS 1.

Variável ¹	APFLOR	CLOR	AF	MSPA	INS	NL	NGL	MMG	PROD
CLOR	0,05								
AF	0,19	0,08							
FST	-0,02	-0,25	0,56						
INS	0,30	0,13	-0,57	-0,80**					
NL	-0,23	-0,11	0,47	0,91**	-0,80**				
NGL	-0,73*	-0,40	-0,07	-0,03	-0,02	-0,03			
MMG	0,33	0,39	0,53	-0,12	-0,12	-0,07	-0,37		
PROD	0,27	0,35	0,82**	0,36	-0,58	0,32	-0,42	0,73*	
PROT	-0,55	-0,67*	0,02	0,19	-0,50	0,18	0,56	-0,07	-0,02

⁽¹⁾ Variáveis: APFLOR – Altura de plantas na floração; CLOR – Teor de clorofila; AF – Área foliar; FST – Fitomassa seca total; INS – Inserção do primeiro legume; NL – Número de legumes por planta; NGL – Número de grãos por legume; MMG – Massa de mil grãos; PROD – Produtividade; PROT – Teor de proteína. * e ** significativo a 5% e 1% respectivamente. Fonte: Autores.

As correlações negativas se deram entre: inserção do primeiro legume (INS) e matéria seca da parte aérea (MSPA), número de legumes (NL) e inserção do primeiro legume, número de grãos por legume (NGL) e altura de plantas na floração (APFLOR), e entre o teor de proteína (PROT) e teor de clorofila (CLOR). Para o número de legumes correlacionou-se positivamente com a matéria seca da parte aérea, da mesma forma que a produtividade (PROD) com a área foliar (AF) e massa de mil grãos (MMG).

Os únicos caracteres agrônômicos que possuem efeito direto de magnitude positiva sobre a produtividade da soja foi o teor de clorofila (0,330) e a área foliar (0,525), com efeitos superiores ao da variável residual (0,256), enquanto que a inserção do primeiro legume (-0,356) influenciou diretamente, porém, negativamente (Tabela 3).

Tabela 3. Desdobramento das correlações fenotípicas em componentes de efeito direto e indireto das variáveis independentes explicativas APFLOR, CLOR, AF, MSPA, INS, NL, NGL, MMG e PROT sobre a variável dependente principal PROD em um experimento realizado na UFMS 1.

Efeitos	Caracteres explicativos								
	APFLOR ¹	CLOR	AF	MSPA	INS	NL	NGL	MMG	PROT
Direto sobre PROD	<u>0,116</u>	<u>0,330</u>	<u>0,525</u>	3,59e-03	<u>-0,356</u>	-0,187	-0,243	0,151	<u>0,247</u>
Indireto via PFLOR	-	0,016	0,100	-5,71e-05	-0,105	0,043	0,177	0,049	-0,135
Indireto via CLOR	0,005	-	0,044	-9,01e-04	-0,046	0,020	0,096	0,058	-0,166
Indireto via AF	0,022	0,027	-	2,01e-03	0,201	-0,087	0,018	0,079	0,005
Indireto via MSPA	-0,001	-0,082	<u>0,294</u>	-	<u>0,284</u>	-0,170	0,006	-0,017	0,046
Indireto via INS	0,034	0,043	<u>-0,298</u>	-2,87e-03	-	0,149	0,003	-0,018	-0,123
Indireto via NL	-0,027	-0,035	0,246	3,27e-03	<u>0,284</u>	-	0,006	-0,011	0,044
Indireto via NGL	-0,084	-0,130	-0,039	-9,01e-05	0,005	0,005	-	-0,056	0,137
Indireto via MMG	0,038	0,127	<u>0,277</u>	-4,22e-04	0,043	0,013	0,091	-	-0,016
Indireto via PROT	-0,063	-0,222	0,011	6,73e-04	0,177	-0,034	-0,135	-0,010	-

Coefficiente de determinação (R^2) = 0,934.

Efeito da variável residual = 0,256

Número de condição = 84,15

Valor de k = 0,04

⁽¹⁾ Variáveis: APFLOR - Altura de plantas na floração; CLOR - Teor de clorofila; AF - Área foliar; FST - Fitomassa seca total; INS - Inserção do primeiro legume; NL - Número de legumes por planta; NGL - Número de grãos por legume; MMG - Massa de mil grãos; PROD - Produtividade; PROT - Teor de proteína. Fonte: Autores.

A área foliar apresentou efeito indireto positivo via matéria seca da parte aérea (0,294) e massa de mil grãos (0,277) e negativo via inserção do primeiro legume (-0,298). A inserção do primeiro legume teve efeito indireto positivo via matéria seca da parte aérea (0,284) e número de legumes por planta (0,284). O coeficiente de determinação revela que 93,4% do

rendimento de grãos é explicado pelo efeito dos caracteres agrônômicos indiretos analisados (Tabela 3). O alto valor do coeficiente de determinação da trilha e o baixo efeito da variável residual (0,256) demonstram que existem fortes relações de causa e efeitos entre as variáveis estudadas e suas relações com a produtividade da soja avaliado como um ponto positivo em análises de trilha (Alcantara Neto et al., 2011, Zuffo et al. 2018).

De acordo com Lopes et al. (2002), existe uma tendência em se valorizar mais o sinal, do que propriamente a magnitude dos valores das correlações. É importante destacar que a produtividade é uma variável quantitativa e com efeito de grandes genes modificadores, ou seja, de pequeno efeito, podendo ser muito influenciados pelas condições do ambiente, portanto, pode ocorrer inter-relações sobre o rendimento, com influência de outro caráter, chamado de efeito indireto (Rigon et al., 2012). Ainda conforme os autores supracitados, devido os valores dos efeitos diretos sobre a produtividade serem menores do que aos obtidos via correlações, pode-se evidenciar que existem outros caracteres influenciando nas correlações com a variável principal.

O teor de clorofila e área foliar são dois caracteres de grande importância para as plantas, pois estão diretamente relacionados com a fotossíntese (as moléculas de clorofila são responsáveis por captar energia luminosa para promover as reações de transporte de elétrons), meio pelo qual as plantas obtêm-se seu alimento, portanto, quanto melhor esses teores, melhor será o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, melhor será a produtividade (Croft et al., 2017; Ahammed et al., 2018). Além dos fatores supracitados, a área foliar também pode se correlacionar positivamente com a matéria seca da parte aérea e massa de mil grãos, que conseqüentemente irá influenciar positivamente no rendimento de grãos (Gregersen et al., 2013), pois de acordo com Borrás et al. (2004), o rendimento parece depender da atividade dos tecidos fotossintéticos.

Outro fator importante na cultura da soja além da produtividade é o teor de proteína. De acordo com o coeficiente de determinação, 94,3% do teor de proteína é explicado pelos caracteres agrônômicos indiretos avaliados o que determina a possibilidade de selecionar genótipos a traves desses caracteres com elevada chance de sucesso, porém temos sempre que nos atentar aos efeitos negativos que poderiam determinar uma seleção a favor da diminuição do caráter principal (conteúdo de proteína) (Tabela 4). Muitas variáveis [altura de plantas na florescência (-0,373), teor de clorofila (-0,704), área foliar (-0,299) e inserção do primeiro legume (-0,522)] apresentaram efeito direto negativo sobre o teor de proteína, e somente a massa de mil grãos (0,279) apresentou efeito direto positivo, todas com valores superiores ao do efeito da variável residual (0,237) (Tabela 4). No entanto, muitos caracteres tiveram efeito

indireto positivo sobre o teor de proteína: altura de planta na floração (0,272) e teor de clorofila (0,279) via número de grãos por legume, e inserção do primeiro legume via área foliar (0,296), matéria seca da parte aérea (0,417), número de legumes por planta (0,417) e produtividade de grãos (0,304) (Tabela 4). O teor de clorofila apresentou efeito indireto negativo via massa de mil grãos (-0,271) e produtividade (-0,249), da mesma forma que a área foliar via produtividade (-0,244) (Tabela 4).

Tabela 4. Desdobramento das correlações fenotípicas em componentes de efeito direto e indireto das variáveis independentes explicativas APFLOR, CLOR, AF, MSPA, INS, NL, NGL, MMG e PROD sobre a variável dependente principal PROT em um experimento realizado na UFMS 1.

Efeitos	Caracteres explicativos								
	APFLOR ¹	CLOR	AF	MSPA	INS	NL	NGL	MMG	PROD
Direto sobre PROT	-0,373	-0,704	-0,299	-0,091	-0,522	-0,213	0,158	0,279	0,225
Indireto via PFLOR	-	-0,035	-0,057	0,001	-0,154	0,050	-0,115	0,091	0,060
Indireto via CLOR	-0,019	-	-0,025	0,023	-0,068	0,023	-0,062	0,107	0,079
Indireto via AF	-0,071	-0,059	-	-0,051	0,296	-0,099	-0,011	0,147	0,183
Indireto via MSPA	0,005	0,176	-0,167	-	0,417	-0,194	-0,003	-0,032	0,081
Indireto via INS	-0,110	-0,091	0,169	0,073	-	0,170	-0,002	-0,033	-0,131
Indireto via NL	0,087	0,076	-0,139	-0,083	0,417	-	-0,004	-0,020	0,071
Indireto via NGL	0,272	0,279	0,022	0,002	0,008	0,005	-	-0,104	-0,093
Indireto via MMG	-0,122	-0,271	-0,157	0,010	0,063	0,015	-0,059	-	0,164
Indireto via PROD	-0,100	-0,249	-0,244	-0,033	0,304	-0,067	-0,065	0,203	-

Coefficiente de determinação (R^2) = 0,943

Efeito da variável residual = 0,237

Número de condição = 88,18

Valor de k = 0,04

⁽¹⁾ Variáveis: APFLOR - Altura de plantas na floração; CLOR – Teor de clorofila; AF – Área foliar; MSPA – Matéria seca da parte aérea; INS – Inserção do primeiro legume; NL – Número de legumes por planta; NGL – Número de grãos por legume; MMG – Massa de mil grãos; PROD – Produtividade; PROT – Teor de proteína.

Quando um caractere se correlaciona positivamente com uns e negativamente com outros, como observado no estudo, deve-se ter máxima atenção, pois a seleção de um caractere pode causar efeitos indesejáveis em outros (Hoogerheide et al., 2007; Zuffo et al., 2017).

3.2 Experimento conduzido na área UFMS 2

No experimento conduzido na área UFMS 2 houve correlação positiva significativa das variáveis teor de matéria seca da parte aérea, inserção do primeiro legume e número de

legumes por planta com área foliar, altura de planta de floração e área foliar, respectivamente (Tabela 5).

Tabela 5. Correlação simples entre oito caracteres agrônômicos de cultivares de soja em um experimento realizado na área UFMS 2.

Variáveis ¹	APFLOR	CLOR	AF	MSPA	INS	NL	NGL	MMG	PROD
CLOR	-0,08								
AF	-0,14	0,09							
MSPA	-0,04	-0,24	0,66*						
INS	0,64*	-0,10	-0,28	-0,41					
NL	-0,57	-0,07	0,65*	0,60	-0,73*				
NGL	-0,23	-0,22	0,38	0,04	-0,11	0,09			
MMG	0,44	0,07	-0,10	0,14	0,32	-0,58	-0,58		
PROD	-0,33	0,47	-0,18	-0,29	-0,20	-0,24	0,05	0,47	
PROT	-0,08	-0,37	0,28	0,31	0,15	0,24	0,44	-0,44	-0,65*

⁽¹⁾ Variáveis: APFLOR - Altura de plantas na floração; CLOR – Teor de clorofila; AF – Área foliar; MSPA – Matéria seca da parte aérea; INS – Inserção do primeiro legume; NL – Número de legumes por planta; NGL – Número de grãos por legume; MMG – Massa de mil grãos; PROD – Produtividade; PROT – Teor de proteína. * e ** significativo a 5% e 1% respectivamente. Fonte: Autores.

Observa-se por meio da Tabela 5 que ocorreu correlação negativa entre número de legumes e inserção do primeiro legume, da mesma forma entre o teor de proteína e produtividade.

De acordo com o coeficiente de determinação, 87,3% da produtividade da soja cultivada na UFMS 2 é explicado pelo efeito das variáveis analisadas (Tabela 6). A produtividade sofreu influência direta de magnitude negativa das variáveis altura de planta na floração (-0,489) e do teor de proteína (-0,392), e de magnitude positiva da massa de mil grãos (0,555), com resultados superiores a variável residual (0,356) (Tabela 6).

Os altos coeficientes de determinação obtidos mostram como uma parcela grande dos efeitos indiretos das características são estimados por meio da análise de trilha e pode ser uma importante ferramenta para atingir-nos uma maior produtividade ao favorecer ou promover a seleção dessas características ligadas ao fator principal.

De acordo com Gregersen et al. (2013), a senescência é a última fase de desenvolvimento das plantas antes da colheita, se induzida prematuramente pode limitar severamente a produtividade da cultura (matéria seca das plantas, rendimento de grãos), o que explica o efeito negativo direto da altura de plantas na floração sobre a produtividade, pois nessa fase as plantas ainda estão começando a formação de vagem. Para o aumento da produtividade é necessário um maior período de enchimento de grãos (Egli, 2011).

A massa de mil grãos teve associação direta com a produtividade. Grãos maiores resulta em menor número de grãos por área, no entanto, é possível obter alto rendimento de grãos tanto com genótipos que possuem grãos grandes (18 g para 100 grãos) quanto pequenos (12 g para 100 grãos) (Thomas & Costa, 2010; Santos et al., 2014).

Tabela 6. Desdobramento das correlações fenotípicas em componentes de efeito direto e indireto das variáveis independentes explicativas APFLOR, CLOR, AF, MSPA, INS, NL, NGL, MMG e PROT sobre a variável dependente principal PROD em um experimento realizado na UFMS 2.

Efeitos	Caracteres explicativos								
	APFLOR ¹	CLOR	AF	MSPA	INS	NL	NGL	MMG	PROT
Direto sobre PROD	-0,489	0,305	-0,200	-0,114	0,046	0,119	0,292	0,555	-0,392
Indireto via PFLOR	-	-0,025	0,027	0,004	0,030	-0,068	-0,067	0,243	0,030
Indireto via CLOR	0,040	-	-0,018	0,027	-0,004	-0,008	-0,065	0,038	0,145
Indireto via AF	0,066	0,027	-	-0,075	-0,013	0,077	0,110	-0,053	-0,110
Indireto via MSPA	0,018	-0,073	-0,131	-	-0,019	0,071	0,011	0,075	-0,121
Indireto via INS	-0,314	-0,032	0,055	0,046	-	-0,086	-0,031	0,175	-0,057
Indireto via NL	0,278	-0,021	-0,129	-0,068	-0,033	-	0,027	-0,323	-0,095
Indireto via NGL	0,112	-0,068	-0,075	-0,004	-0,005	0,011	-	-0,056	-0,171
Indireto via MMG	-0,214	0,021	0,019	-0,015	0,014	-0,069	-0,030	-	0,171
Indireto via PROT	0,037	-0,113	-0,056	-0,035	0,006	0,029	0,128	-0,243	-

Coeficiente de determinação (R²) = 0,873
 Efeito da variável residual = 0,356
 Número de condição = 83,92
 Valor de k = 0,04

⁽¹⁾ Variáveis: APFLOR - Altura de plantas na floração; CLOR – Teor de clorofila; AF – Área foliar; MSPA – Matéria seca da parte aérea; INS – Inserção do primeiro legume; NL – Número de legumes por planta; NGL – Número de grãos por legume; MMG – Massa de mil grãos; PROD – Produtividade; PROT – Teor de proteína.
 Fonte: Autores.

Para o teor de proteína ficou sob efeito direto negativo da altura de plantas na floração (-0,388), área foliar (-0,368), massa de mil grãos (-0,571) e produtividade (-0,372), e positivo da matéria seca da parte aérea (0,952), inserção do primeiro legume (0,648) e número de grãos por legume (0,543), apresentando valores maiores que o do efeito da variável residual (0,327) (Tabela 7).

A matéria seca da parte aérea possui efeito direto de magnitude positiva via área foliar (0,626) e número de legumes por planta (0,567), e de magnitude negativa via inserção do primeiro legume (-0,390), enquanto que a inserção do primeiro legume apresentou efeito

indireto positivo e negativo via altura de plantas na floração (0,416) e número de legumes por planta (-0,470), respectivamente.

A massa de mil grãos apresentou efeito indireto positivo via número de legumes por planta (0,333). Por meio de R^2 , observa-se que as variáveis explicam 89,2% da variação do teor de proteína, o que mostra a elevada relação entre as variáveis secundárias e o fator primário não apenas pelas suas correlações (Tabela 5) e se pela contatação do resultado da análises de trilha (Tabela 7) o qual consegue mostrar claramente a contribuição desses caracteres.

Tabela 7. Desdobramento das correlações fenotípicas em componentes de efeito direto e indireto das variáveis independentes explicativas APFLOR, CLOR, AF, MSPA, INS, NL, NGL, MMG e PROD sobre a variável dependente principal PROT em um experimento realizado na UFMS 2.

Efeitos	Caracteres explicativos								
	APFLOR ¹	CLOR	AF	MSPA	INS	NL	NGL	MMG	PROD
Direto sobre PROT	-0,388	<u>0,237</u>	-0,368	0,952	0,648	<u>-0,286</u>	0,543	-0,571	-0,372
Indireto via PFLOR	-	-0,019	0,050	-0,035	0,416	0,162	-0,124	-0,250	0,124
Indireto via CLOR	0,032	-	-0,033	-0,229	-0,068	0,020	-0,121	-0,039	-0,176
Indireto via AF	0,053	0,021	-	0,626	-0,180	-0,184	0,205	0,054	0,066
Indireto via MSPA	0,014	-0,057	-0,242	-	-0,265	-0,170	0,020	-0,078	0,107
Indireto via INS	-0,249	-0,024	0,102	-0,390	-	0,207	-0,058	-0,180	0,073
Indireto via NL	0,220	-0,016	-0,237	0,567	-0,470	-	0,051	0,333	0,090
Indireto via NGL	0,089	-0,052	-0,138	0,036	-0,069	-0,027	-	0,058	-0,017
Indireto via MMG	-0,170	0,016	0,035	0,130	0,204	0,166	-0,055	-	-0,176
Indireto via PROD	0,129	0,112	0,065	-0,275	-0,127	0,069	0,025	-0,271	-

Coefficiente de determinação (R^2) = 0,892

Efeito da variável residual = 0,327

Número de condição = 82,63

Valor de k = 0,03

⁽¹⁾ Variáveis: APFLOR - Altura de plantas na floração; CLOR – Teor de clorofila; AF – Área foliar; MSPA – Matéria seca da parte aérea; INS – Inserção do primeiro legume; NL – Número de legumes por planta; NGL – Número de grãos por legume; MMG – Massa de mil grãos; PROD – Produtividade; PROT – Teor de proteína.
 Fonte: Autores.

Nesse estudo conduzido na UFMS 2 observou-se que o teor de proteína apresentou efeito negativo direto sobre a produtividade (Tabela 6), da mesma forma que a produtividade também apresentou sobre o teor de proteína (Tabela 7).

Em estudo realizado por Bonato et al. (2000), também foi observado que o teor de proteína se correlaciona negativamente com a produtividade de grãos, o que se tona um

empecilho no melhoramento genético da cultura, no entanto, esses resultados dependem da escolha do genótipo.

De acordo com a Tabela 7, observa-se que o teor de proteína sofre efeito positivo e negativo de forma direta e indireta, não podendo eleger um único caractere agrônômico que influencia em seu teor.

4. Considerações Finais

Os resultados das análises de trilha permitem determinar a relação indireta que existe entre a produtividade e o teor de proteínas, assim como determinar quais são os caracteres que de modo indireto contribuíram mais para esses dois fatores principais, o que pode determinar trabalhos futuros na cultura.

Em solos mais ácidos (UFMS 1), a área foliar e a massa de mil grãos foram os caracteres que apresentaram maior efeito direto positivo sobre a produtividade de grãos e o teor de proteína, respectivamente.

Em solos de maior fertilidade (UFMS 2), a massa de mil grãos e a matéria seca da parte aérea foram os caracteres que apresentaram maior efeito direto positivo sobre a produtividade de grãos e teor de proteína, respectivamente.

Elevados valores de R^2 foram obtidos para ambos os locais avaliados, demonstrando que existem fortes relações de causa e efeitos entre as variáveis estudadas como um ponto positivo das análises de trilha empregadas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 em nome dos Professores Visitantes JGA e AMZ. Agradecemos a UFMS – CPCS por ceder a área e as estruturas empregadas na condução do experimento. A Fundação Chapadão por ceder as máquinas e sementes empregadas na implantação dos experimentos em campo.

Referências

- Afshar, R.K., Lin, R., Mohammed, Y.A. & Chen, C. (2018). Agronomic effects of urease and nitrification inhibitors on ammonia volatilization and nitrogen utilization in a dryland farming system: field and laboratory investigation. *Journal of Cleaner Production*, 172(91): 4130-9.
- Ahammed, G. J., Xu, W., Liu, A. & Chen, S. (2018). COMT1 silencing aggravates heat stress-induced reduction in photosynthesis by decreasing chlorophyll content, photosystem II activity, and electron transport efficiency in tomato. *Frontiers in Plant Science*, 9, 998.
- Ahmed, M., Weijia, Y.U., Lei, M. Raza S. & Zhou (2018). Mitigation of ammonia volatilization with application of urease and nitrification inhibitors from summer maize at the Loess Plateau. *Plant, Soil and Environment*, 64(4), 164-172.
- Alcântara Neto, F., Gravina, G.A., Monteiro, M.M.S., Morais, F.B., Petter, F.A. & Albuquerque, J.A.A. (2011). Análise de trilha do rendimento de grãos de soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia. *Comunicata Scientiae*, 2(2): 107-112.
- Bonato, E.R., Bertagnolli, P.F., Lange, C. & Rubin, S.D.A.L. (2000). Teor de óleo e de proteína em genótipos de soja desenvolvidos após 1990. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(12), 2391-2398.
- Borrás, L., Slafer, G.A. & Otegui, M.E. (2004). Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Research*, 86(2-3): 131-146.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. 399p.
- Chae, H.S., Noh, H.J., Song, W.S. & Cho, H.H. (2018). Efficiency and effectiveness of vitamin C-substrate organo-mineral straight fertilizer in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 5, 4.

Chebotarev, N.T., Yudin, A.A., Konkin, P.I. & Oblizov, A.V. (2017). Efficiency of using organic and mineral fertilizers in fodder crop rotation on northern soddy podzols. *Russian Agricultural Sciences*, 43(2): 162-166.

Conab. Companhia Nacional de abastecimento. (2019). Acompanhamento de safra brasileira de grãos, safra 2018/19, 6(11) – Décimo primeiro levantamento, Brasília. Acesso em: 07 dez. 2019 em: <<http://www.conab.gov.br>>

Conab. Companhia Nacional de abastecimento. (2020). Acompanhamento de safra brasileira de grãos, safra 2019/20, 7(4) – Quarto levantamento, Brasília. Acesso em: 10 jan. 2020 em: <<http://www.conab.gov.br>>

Croft, H., Chen, J.M., Luo, X., Bartlett, P., Chen, B. & Staebler, R.M. (2017). Leaf chlorophyll content as a proxy for leaf photosynthetic capacity. *Global change biology*, 23(9), 3513-3524.

Cruz, C.D. & Regazzi, A.J. (1997). *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: UFV, 390 p.

Detmann, E., Queiroz, A.C. & Cabral, L.S. (2012). Avaliação do nitrogênio total (proteína bruta) pelo método de Kjeldahl. In: Detmann, E., Souza, MA, Valadares Filho, S. C.,

Berchielli, T.T., Cabral, L.S., Ladeira, M.M., Souza, M.A., Queiroz, A.C., Saliba, E.O.S., Pina, D.S. & Azevedo, J.A.G. (Eds.). *Métodos para análise de alimentos - INCT - Ciência Animal*. Visconde do Rio Branco: Suprema, 1, cap. 4, p. 51-68.

Egamberdieva, D., Jabborova, D., Wirth, S.J., Alam, P., Alyemeni, M.N. & Ahmad, P. (2018). Interactive effects of nutrients and *Bradyrhizobium japonicum* on the growth and root architecture of soybean (*Glycine max* L.). *Frontiers in microbiology*, 9, 1000.

Egli, D.B. (2011). Time and the productivity of agronomic crops and cropping systems. *Agronomy journal*, 103(3), 743-750.

Gregersen, P.L., Culetic, A., Boschian, L. & Krupinska, K. (2013). Plant senescence and crop productivity. *Plant molecular biology*, 82(6), 603-622.

Hoogerheide, E.S.S., Vencovsky, R., Farias, F.J.C., Freire, E.C. & Arantes, E.M. (2007). Correlações e análise de trilha de caracteres tecnológicos e a produtividade de fibra de algodão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(10), 1401-1405.

Leggett, M., Diaz-Zorita, M., Koivunen, M., Bowman, R., Pesek, R., Stevenson, C. & Leister, T. (2017). Soybean response to inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* in the United States and Argentina. *Agronomy journal*, 109(3), 1031-1038.

Lopes, A.C.D.A., Vello, N.A., Pandini, F., Rocha, M.D.M. & Tsutsumi, C.Y. (2002). Variabilidade e correlações entre caracteres em cruzamentos de soja. *Scientia Agrícola*, 59(2), 341-348.

Mahapatra, S.K., Dash, A. & Pradhan, J. (2020). Application of Path Analysis in Agricultural Research. *Biotica Research Today*, 2(2), 18-20.

Martins, M.R., Sant'Anna, S.A.C., Zaman, M., Santos, R.C., Monteiro, R.C., Alves, B.J.R., Jantalia, C.P., Boddey, R.M. & Urquiaga, S. (2017). Strategies for the use of urease and nitrification inhibitors with urea: Impact on N₂O and NH₃ emissions, fertilizer-15N recovery and maize yield in a tropical soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 247, 54-62.

Meena, R.S., Vijayakumar, V., Yadav, G.S. & Mitran, T. (2018). Response and interaction of *Bradyrhizobium japonicum* and arbuscular mycorrhizal fungi in the soybean rhizosphere. *Plant Growth Regulation*, 84(2), 207-223.

Montgomery, D.C., Peck, E.A. & Vining, G.G. (2006). *Introduction to linear regression analysis*. New York: John Wiley & Sons, 640 p.

Nogueira, A.P.O., Sediyaama, T., Sousa, L.B., Hamawaki, O.T., Cruz, C.D., Pereira, D.G. & Matsuo, É. (2012). Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. *Bioscience Journal*, 28(6), 877-888.

Pereira, A.S., Shitsuka, D.M., Parreira, F.J. & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Consultado el 02/05/20, em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_MetodologiaPesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.

Rigon, J.P.G., Capuani, S., Brito Neto, J.F.D., Rosa, G.M.D., Wastowski, A.D. & Rigon, C.A.G. (2012). Dissimilaridade genética e análise de trilha de cultivares de soja avaliada por meio de descritores quantitativos. *Revista Ceres*, 59(2), 233-240.

Santos, H.P.D., Fontaneli, R.S., Pires, J., Lampert, E.A., Vargas, A.M. & Verdi, A.C. (2014). Rendimento de grãos e características agrônômicas de soja em função de sistemas de rotação de culturas. *Bragantia*, 73(3), 263-273.

Shiri-Janagard, M., Raei, Y., Gasemi-Golezani, G. & Aliasgarzad, N. (2012). Influence of *Bradyrhizobium japonicum* and phosphate solubilizing bacteria on soybean yield at different levels of nitrogen and phosphorus. *International journal of Agronomy and Plant Production*, 3(11): 544-549.

Sonah, H., O'Donoghue, L., Cober, E., Rajcan, I. & Belzile, F. (2015). Identification of loci governing eight agronomic traits using a GBS-GWAS approach and validation by QTL mapping in soya bean. *Plant biotechnology journal*, 13(2): 211-221.

Thomas, A.L. & Costa, J.A. (2010). Desenvolvimento da planta de soja e o potencial de rendimento de grãos. In: Thomas, AL, Costa, JA. (Ed.). *Soja: manejo para alta produtividade de grãos*. Porto Alegre: Evangraf, p.13-33.

Wright, S. (1921). Correlation and causation. *J. of Agricultural Research*, 20(7): 557-585.

Zuffo, A.M., Zuffo Jr., J.M., Fonseca, W.L., Zambiazzi, E.V., Oliveira, A.M., Guilherme, S.R., Mendes, A.E.S., Godinho, S.H.M., Ribeiro, F.O. & Pinto, A.R.S. (2017). Path Analysis in Soybean Cultivars Grown under Foliar Spraying and Furrow Inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Journal of Agricultural Science*, 9(10): 137-144.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Alan Mario Zuffo – 25%

Jorge González Aguilera – 15%

Rafael Felipe Ratke – 15%

Fábio Steiner – 15%

Augusto Matias de Oliveira – 15%

Wéverson Lima Fonseca – 15%