

Influência das doses de pó de basalto em cultivares de soja
Influence of basalt powder doses on soybean cultivars
Influencia de dosis de polvo de basalto sobre cultivares de soya

Recebido: 26/04/2020 | Revisado: 26/04/2020 | Aceito: 27/04/2020 | Publicado: 28/04/2020

Jorge González Aguilera

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

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: j51173@yahoo.com

Alan Mario Zuffo

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

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: alan_zuffo@hotmail.com

Rafael Felipe Ratke

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

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: rafael.ratke@ufms.br

Amanda Camila Silva Trento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3114-6806>

Estudante de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: amandatrento0306@gmail.com

Roney Eloy Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7588-7895>

Mestrando em Agronomia, Programa de Produção Vegetal, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: roney.eloylima@yahoo.com.br

Gabriel Alves Gris

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9750-2925>

Estudante de Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: gabrielalvesgris@hotmail.com

Karen Annie Dias de Moraes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8049-6808>

Estudante de Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: karendiasmorais@gmail.com

Jorge Xavier da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5336-8325>

Estudante de Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: jorgexavier06@gmail.com

Werverth Costa Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2813-4276>

Estudante de Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: werverth@gmail.com

Resumo

Incorporar o pó de basalto como forma de promover a recuperação do solo é um desafio atual. O trabalho foi orientado a avaliar o desenvolvimento de cultivares de soja (CS) após a aplicação superficial de diferentes doses de pó de basalto (DPB) no solo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados completos, em esquema fatorial 3×4 , com três repetições. Os tratamentos foram a combinação de três CS e quatro DPB (0, 1, 3 e 5 t ha^{-1}). Na colheita, foram determinadas a altura das plantas (AP), inserção da primeira vagem (IPV), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), massa de mil grãos (MMG) e produtividade das parcelas experimentais (REND). Com os grãos colhidos, eles foram classificados pelo tamanho em sete peneiras de diferentes diâmetros ($\varnothing 7,5 - \varnothing 4,5$ mm) e calculada a porcentagem e a produtividade relativa dos grãos retidos na peneira (PRGRT). Os resultados apontaram interações significativas (CS x DPB) ($P < 0,01$) para as variáveis altura da planta, número de vagens por planta e porcentagem de grãos retidos na peneira $\varnothing 6,5$; com respostas variáveis entre cultivares e as doses utilizadas para essas três variáveis. As doses de pó de basalto não influenciaram o desempenho das cultivares de soja, mas contribuíram para obter um melhor tamanho das sementes e, assim, melhorar a qualidade das sementes obtidas.

Palavras-chave: *Glycine max*; Desempenho; Qualidade de sementes; Peneiras.

Abstract

The incorporation of basalt powder as a way to promote soil recovery is a current challenge. The work was oriented to evaluate the development of soybean cultivars (SC) after the superficial application of different doses of basalt powder (DBP) in the soil. The experimental delineation used was that of randomized complete blocks, with 3×4 factorial arrangement,

with three replicas. The treatments were the combination of three SC and four DBP (0, 1, 3 and 5 t ha⁻¹). In the harvest the height of the plants (HP), insertion of the first pod (IFP), number of pods per plant (NPP), number of grains per pod (NGP), mass of one thousand grains (MTG) and yield were determined. of experimental plots (REND). With the harvested grains, they were classified by size in seven sieves of different diameter (Ø7.5 - Ø4.5 mm) and the percentage and relative productivity of grains retained in mesh (RPGRM) were calculated. The results pointed to significant interactions (SC x DBP) ($P < 0.01$) for the variables height of the plants, number of pods per plant and percentage of grains retained in the sieve Ø6.5; with variable responses between the cultivars and the doses used for these three variables. The doses of basalt powder did not influence the performance of soybean cultivars, but contributed to obtaining a better seed size and thus improved the quality of the seeds obtained.

Keywords: *Glycine max*; Performance; Quality of seeds; Mesh.

Resumen

La incorporación de polvo de basalto como una forma de promover la recuperación de suelos es un desafío actual. El trabajo se orientó a evaluar el desarrollo de cultivares de soya (CS) después de la aplicación superficial de diferentes dosis de polvo de basalto (DPB) en el suelo. El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar, con arreglo factorial 3 × 4, con tres réplicas. Los tratamientos fueron la combinación de tres CS y cuatro DPB (0, 1, 3 y 5 t ha⁻¹). En la cosecha se determinó la altura de las plantas (AP), inserción de la primera vaina (IPV), número de vainas por planta (NVP), número de granos por vaina (NGV), masa de mil granos (MMG) y rendimiento de las parcelas experimentales (REND). Con los granos cosechados se clasificaron por su tamaño en siete tamices de diámetro diferentes (Ø7,5 – Ø4,5 mm) y se calculó el porcentaje y la productividad relativa de granos retenidos en tamiz (PRGRT). Los resultados apuntaron para interacciones (CS x DPB) significativas ($P < 0,01$) para las variables altura de la planta, número de vainas por planta y el porcentaje de granos retenidos en el tamiz de Ø6,5; con respuestas variables entre las cultivares y las dosis empleadas para estas tres variables. Las dosis de polvo de basalto no influenciaron el rendimiento de las cultivares de soya, pero contribuyeron a la obtención de un mejor calibre de las semillas y con eso mejoraron la calidad de las semillas obtenidas.

Palabras clave: *Glycine max*; Rendimiento; Calidad de las semillas; Tamices.

1. Introducción

Las fuentes de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) como base de la nutrición de plantas en cultivos a pequeña y grande escala, experimentan elevados precios en el mercado internacional (Manning & Theodoro, 2018). Alternativas más económicas como el empleo de polvo de rocas ricas en minerales y oligoelementos principalmente SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, Na₂O, K₂O y CaO proporcionan el entorno perfecto para una agricultura natural (Ramos et al., 2010; Nunes et al., 2014). Al emplear polvos de rocas se hace una incorporación de las rocas molidas en el suelo, contribuyendo con la inclusión de macro y micro nutrientes en las áreas agrícolas, sin comprometer la productividad de los cultivos (Theodoro et al., 2012; Ramos et al., 2015; Manning & Theodoro, 2018). Entre las rocas que por su composición pueden ser usadas en la agricultura se ha destacado el basalto volcánico, el granito y el fosfato de roca dolomita (Ramos et al., 2010; Nunes et al., 2014; Ramos et al., 2015).

El polvo de basalto es un residuo de la industria de la construcción y aunque es un residuo, contiene en su composición varios elementos (Ramos et al., 2010; Theodoro et al., 2012), que para el sector agrícola son de interés. No obstante, su liberación y disponibilidad depende de la granulometría que este residuo tiene. El empleo de este residuo puede contribuir en la reducción de los costos de producción y aumento de la productividad de algunos cultivos (Manning & Theodoro, 2018; Ramos et al., 2015; Theodoro et al., 2012). Varios relatos muestran su utilización en la mejoría del crecimiento de diferentes especies de plantas como *Theobroma cacao* L. (Anda et al., 2009), *Triticum aestivum* L., *Lolium perenne* L. y *Trifolium pratense* L. (Ramezani et al., 2013), entre otras especies, lo que demuestra el potencial que tiene el uso de estos residuos en la nutrición y desarrollo de las plantas (Manning & Theodoro, 2018).

La soya (*Glycine max* L. Merrill) es una oleaginosa de gran importancia económica en el mercado mundial. Actualmente se cultiva en todo el mundo y es empleada en una gran variedad de alimentos para animales y humanos, así como, en la industria para la producción de biocombustibles (Val et al., 2014). La soya es uno de los granos más importantes para los países exportadores, y es uno de los alimentos básicos más importantes de los países que lo importan. Según el USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) Brasil fue el mayor productor de soya del mundo en la zafra de 2018/2019, con el 33% de toda la producción mundial, seguido de los Estados Unidos con el 32,85% y Argentina con 15,80% de la producción mundial (USDA, 2019; Samora, 2019). En Brasil el área ocupada por la

leguminosa en la zafra 2018/2019 fue de 36 millones de hectáreas aproximadamente y el estado de Mato Grosso del Sur (MS) responde por aproximadamente el 8% del área sembrada de soya del total de la producción nacional (Conab, 2019).

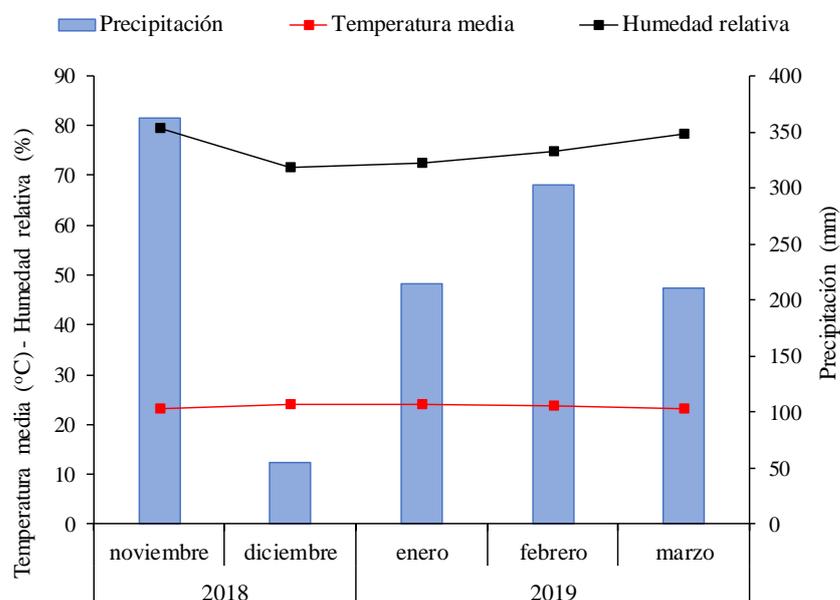
El crecimiento que experimenta el cultivo de soya en Brasil y la exigencia por fertilizantes, exige de los productores la búsqueda por manejos más eficientes y con menor costo como lo constituye el uso de polvo de rocas. El presente trabajo se orientó a evaluar el desempeño de componentes productivos de tres cultivares de soya de ciclo corto después de la aplicación superficial de diferentes dosis de polvo de basalto en el suelo.

2. Material y Métodos

El presente trabajo es una investigación experimental, cuantitativa, que sigue los fundamentos de este tipo de investigación, conforme recomiendan Pereira et al. (2018). Parte de los datos cuantitativos fueron obtenidos en campo y parte en el laboratorio. La parte experimental fue realizada en el campo, en el área experimental de la Universidad Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), localizada en el municipio de Chapadão do Sul, en el estado de Mato Grosso do Sul (MS) ($18^{\circ}46'17,9''$ de latitud Sur, $52^{\circ}37'25,0''$ de longitud Oeste y altitud media de 810 msnm).

El clima de la región de acuerdo con la clasificación de Köppen, es del tipo tropical lluvioso (Aw), con verano lluvioso e invierno seco, con promedios de precipitaciones, temperatura media y humedad relativa del aire de 1261 mm; $23,97^{\circ}\text{C}$ y 64,23%; respectivamente. El experimento se desarrolló de noviembre de 2018 hasta marzo de 2019 durante la zafra 2018/2019, siendo los registros de variables climáticas para ese período mostrados en la Figura 1.

Figura 1 - Medias mensuales de la temperatura, humedad relativa y el acumulado de la precipitación pluvial, ocurrida en el municipio de Chapadão del Sur-MS durante la zafra 2018/19.



Fuente: Instituto Nacional de Meteorología (INMET).

El suelo del área experimental está clasificado como un Latosol Rojo distrófico de textura arcillosa (Santos et al., 2018). Antes de iniciar el experimento, fueron tomadas muestras de suelo en la profundidad de 0-20 cm y las principales propiedades químicas fueron determinadas (Tabla 1).

Tabla 1 - Principales propiedades químicas que presenta el suelo.

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 -----			%
4,3	22,8	12,8	5,7	0,37	2,20	0,40	0,27	8,6	33,5

MO: Materia orgánica. CTC: Capacidad de cambio catiónica a un pH 7.0. V: Saturación de bases.

Fuente: Propia de los autores.

La corrección de la acidez del suelo fue realizada con la aplicación superficial de 2,5 t ha⁻¹ de calcáreo (CaO: 29%, MgO: 20%, PRNT: 90,1%, PN: 101,5%), 60 días antes de la implantación del experimento, con el objetivo de elevar la saturación por base del suelo al 60%. La siembra de la soya fue realizada mecánicamente con auxilio de una sembradora distribuyendo 13 semillas por metro, con distancia entre líneas de 45 cm. La fertilización de base se constituyó de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, cuya fuente fue el superfosfato simple. A los 40 días después de la emergencia (DDE) se realizó la aplicación de fertilización foliar de los productos Actilasa ZM (Zn a 50,22 g L⁻¹; S a 41,65 g L⁻¹; Mn a 30,01 g L⁻¹) y Racine (Mo a

108,75 g L⁻¹; Co a 10,88 g L⁻¹; Carbono total 123,25 g L⁻¹), aplicados en las dosis de 1 L ha⁻¹ y 120 mL ha⁻¹, respectivamente.

Tabla 2 - Principales concentraciones de elementos químicos presentes en el polvo de basalto empleado en el experimento.

Al ₂ O ₃	CaO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	
					%					
12,89	9,28	0,006	15,15	0,79	5,30	0,22	2,37	0,22	50,94	
Ba	Ce	Co	Cs	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Nb	
					PPM					
242	9,28	45,7	0,2	19,4	5,95	4,1	1,16	16,6	11,2	
Be	Dy	Er	Eu	Lu	Nd	Ni	Pr	Rb	Sc	
					PPM					
< 1	5,89	3,53	1,60	0,47	11,2	35	4,75	18,2	41	
Sm	Ta	Tb	Th	Tm	U	V	W	Y	Yb	
					PPM					
4,58	0,8	1,04	1,9	0,51	0,4	376	<0,5	33,4	3,28	

Fuente: Propia de los autores.

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar dispuesto en esquema factorial 3 × 4, con tres réplicas. Los tratamientos fueron constituidos por tres cultivares de soja (BRASMAX FOCO IPRO, hábito de crecimiento indeterminado, ciclo de medio, duración del ciclo de 109 días y grupo de maduración 7,2; BRASMAX DESAFIO IPRO hábito de crecimiento indeterminado, ciclo de medio, duración del ciclo de 113 días y grupo de maduración 7,4; BRASMAX BÔNUS IPRO, hábito de crecimiento indeterminado, ciclo de medio, duración del ciclo de 121 días y grupo de maduración 7,9) y cuatro dosis (0, 1, 3 e 5 t ha⁻¹ en un área de 6,75 m² Parcela⁻¹ para lo que fue aplicado 0; 0,675; 2,025 e 3,375 Kg Parcela⁻¹) de polvo de basalto.

La fuente del polvo de basalto fue material proveniente de una cantera de piedra de basalto del Municipio Paraíso de las Aguas – MS, a 54 km de Chapadão do Sul. El polvo de basalto fue aplicado superficialmente una semana antes de realizar la siembra sobre las diferentes parcelas experimentales previamente identificadas y sus principales características químicas están destacadas en la Tabla 2.

Cada unidad experimental (parcela) fue constituida por 6 hileras de 3 m de largo, siendo desconsideradas las dos hileras laterales de cada lado y 50 cm en cada extremo, constituyendo así el área útil experimental de 1,8 m². Durante todo el ciclo del cultivo, el control de arvenses y plagas fue realizado con productos químicos según la necesidad de control.

Antes de la cosecha del área útil de cada parcela, se seleccionaron cinco plantas por parcela y en ellas fueron evaluadas las siguientes variables:

- altura de las plantas (AP) (cm), determinada al medir la distancia de la superficie del suelo hasta la inserción de la última hoja con ayuda de una regla milimetrada;
- inserción de la primera vaina (IPV) (cm), determinada al medir la distancia de la superficie del suelo hasta la inserción de la primera vaina con ayuda de una regla milimetrada;
- número de vainas por planta (NVP) (unidad), determinada al realizar el conteo del número total de vainas en las cinco plantas y dividir ese valor por la cantidad de plantas;
- número de granos por vaina (NGV) (unidad), determinada por medio del conteo manual de todos los granos divididos por el NVP;
- masa de mil granos (MMG) (g), determinada de acuerdo con la metodología descrita por Brasil (2019).

El rendimiento de granos (REND) (kg ha^{-1}) fue obtenido al cosechar el área útil y ajustar el peso para humedad de los granos a un 13%.

Otra variable evaluada fue el tamaño de los granos producidos, realizando el tamizaje de los granos y obtenido el peso retenido en cada tamiz (Carbonell et al., 2010). Los tamices empleados fueron de diámetros de 7,5 mm; 7,0 mm; 6,5 mm; 6,0 mm; 5,5 mm; 5,0 mm y 4,5 mm. El peso retenido en cada tamiz fue expresado en porcentaje y así determinado el porcentaje de retención de tamices (%) indicado como $\emptyset 7,5$; $\emptyset 7,0$; $\emptyset 6,5$; $\emptyset 6,0$; $\emptyset 5,5$; $\emptyset 5,0$ y $\emptyset 4,5$ respectivamente.

Con el objetivo de obtener la productividad relativa de granos retenidos en los tamices (PRGRT) fue empleada la metodología descrita por Carbonel et al. (2010). El peso de los granos retenidos en cada tamiz fue empleado y atribuido una escala de notas, en la que, para el tamiz $\emptyset 4,5$, fue atribuido nota 1; para el tamiz $\emptyset 7,5$, nota 2; para el tamiz $\emptyset 5,0$, nota 4; para los tamices $\emptyset 7,0$ y $\emptyset 5,5$, nota 6 y para los tamices $\emptyset 6,5$ y $\emptyset 6,0$, nota 10. Con esta combinación de peso y nota se calculó el PRGRT por la siguiente ecuación (1):

$$\text{PRGRT} = \frac{P_{7,5} \times 2 + P_{7,0} \times 6 + P_{6,5} \times 10 + P_{6,0} \times 10 + P_{5,5} \times 6 + P_{5,0} \times 4 + P_{4,5} \times 1}{P_{7,5} + P_{7,0} + P_{6,5} + P_{6,0} + P_{5,5} + P_{5,0} + P_{4,5}} \quad (1)$$

Con todas las variables obtenidas se verificó inicialmente la normalidad y homogeneidad de variancia, y después fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA), y las medias cuando significativas fueron comparadas por la prueba de Tukey al 5%. Para las dosis de polvo de basalto se utilizó el análisis de regresión (prueba F, $P < 0,05$). Los análisis de

ANOVA y regresión se realizaron con el programa GENES (Cruz, 2013) y el software Sigma Plot 11.0 para Windows (Systat Software, Inc., San José, CA, EE.UU.), respectivamente. Análisis de correlaciones de Pearson fueron realizadas y con la matriz de correlación de todas las variables construida con el programa Rbio (Bhering, 2017) una red de correlaciones para mejor explicar las interacciones entre las variables.

3. Resultados y Discusión

En la Tabla 3 son mostrados los resultados del análisis de variancia para las variables evaluadas. Los resultados indican que apenas para las variables AP, NVP y Ø6,5 se manifestaron interacciones significativas entre los dos factores estudiados (CS x DPB), revelando un comportamiento diferencial de las cultivares dentro de las dosis de polvo de basalto. Los coeficientes de variación experimentales obtenidos se mostraron adecuados para experimentos de campo al considerar las características asociadas con los componentes de rendimiento (4,07 – 16,92 %) y para las variables relacionadas con la calidad de las semillas (4,10 – 55,63 %).

Tabla 3. Análisis de variancia para características ligadas a rendimiento y calidad de los granos, obtenidas en experimentos con dosis de polvo de basalto (DPB) en tres cultivares de soja (CS) de ciclo corto en La zafra 2018/2019. Chapadão do Sul, MS, Brasil.

Características	----- Probabilidad > F ¹ -----			CV (%)	Media	Mínimo	Máximo
	Cultivar (CS)	Dosis (DPB)	Interacción (CS x DPB)				
AP (cm)	<0,001	0,72	0,02	4,07	81,16	60,2	103,6
IPV (cm)	<0,001	0,49	0,17	13,93	14,85	10,2	34,0
NVP (unidad)	<0,001	0,17	0,05	14,38	48,93	25,6	75,8
NGV (unidad)	<0,001	0,48	0,67	10,64	2,33	1,72	4,67
MMG (g)	<0,001	0,81	0,23	7,93	165,37	105,97	226,9
REND (kg ha ⁻¹)	<0,001	0,26	0,97	16,92	4655,36	1577,10	7651,51
PRGRT (unidad)	<0,001	0,13	0,42	4,10	8,45	7,02	9,25
Ø7,0 (%)	<0,001	0,92	0,89	36,27	13,38	0,00	51,74
Ø6,5 (%)	<0,001	0,20	0,01	16,97	24,31	2,10	58,27
Ø6,0 (%)	<0,001	0,61	0,27	13,36	39,60	8,58	65,37
Ø5,5 (%)	<0,001	0,06	0,40	28,47	18,66	1,19	49,75
Ø5,0 (%)	<0,001	0,14	0,47	55,63	2,64	0,00	10,82

Teste F. CV: coeficiente de variación. AP: altura de la planta, IPV inserción de la primera vaina, NVP: número de vainas por planta, NGV: número de granos por vaina, MMG: la masa de mil granos, REND: rendimiento, PRGRT: productividad relativa de granos retenidos en tamiz, Ø7,0: porcentaje de granos retenidos en tamices de 7,0 mm (%), Ø6,5: porcentaje de granos retenidos en tamices de 6,5 mm (%), Ø6,0: porcentaje de granos retenidos en tamices de 6,0 mm (%), Ø5,5: porcentaje de granos retenidos en tamices de 5,5 mm (%) y Ø5,0: porcentaje de granos retenidos en tamices de 5,0 mm (%).
 Fuente: Propia de los autores.

Tabla 4. Valores de altura de la planta (AP), número de vaina por planta (NVP) y porcentaje de granos retenidos en tamices de 6,5 mm (Ø6,5) obtenidos en experimentos con dosis diferentes de polvo de basalto (DPB) y cultivares de soya (CS) en La zafra 2018/2019. Chapadão do Sul, MS, Brasil.

DPB	AP (cm)		
(t ha ⁻¹)	CS1	CS2	CS3
0	79,83 Ba	67,75 Ca	95,70 Ab
1	80,03 Ba	67,55 Ca	94,67 Ab
3	78,87 Ba	66,47 Ca	99,58 Aa
5	79,10 Ba	67,33 Ca	97,02 Aab
DPB	NVP (unidad)		
(t ha ⁻¹)	CS1	CS2	CS3
0	43,05 Ba	52,55 Aa	48,67 Ba
1	47,20 Ba	59,03 Aa	47,38 Ba
3	47,12 Aa	51,65 Aa	46,17 Aa
5	48,75 ABa	53,45 Aa	42,17 Ba
DPB	Ø6,5 (%)		
(t ha ⁻¹)	CS1	CS2	CS3
0	10,11 Ca	25,66 Ba	40,16 Aa
1	7,00 Ca	22,65 Bab	43,80 Aa
3	7,79 Ca	19,62 Bb	42,24 Aa
5	8,17 Ca	22,06 Bab	42,44 Aa

CS1: BRASMAX FOCO IPRO, CS2: BRASMAX DESAFIO IPRO, CS3: BRASMAX BÔNUS IPRO. Letras minúsculas en la columna y mayúsculas en la línea representan diferencias significativas por el teste de Tukey al 5%.
 Fuente: Propia de los autores.

Apenas interacciones significativa entre los dos factores evaluados fueron observadas para las variables AP, NVP y Ø6,5 (Tabla 4). La ausencia de interacción para las otras

variables evaluadas evidencia que las dosis de polvo de basalto presentan respuestas coincidentes para el cultivo de soya, independiente de las cultivares empleadas.

Para la AP al considerar las tres cultivares empleadas, apenas en la cultivar CS3 (BRASMAX BONÛS IPRO) se manifestaron diferencias significativas ($P < 0,05$), con destaque para la dosis de 3 t ha^{-1} que proporciono la mayor altura de las plantas para esta cultivar (99,58 cm) (Tabla 4). Para NVP obsérvese que la respuesta dentro de los tres cultivares, no fue influencia por las DPB, sin embargo, al comparar entre ellas para las dosis 0, 1 y 5 t ha^{-1} se obtuvieron diferencias, teniendo destaque el cultivar CS2 (BRASMAX DESAFIO IPRO) que se mostró superior con 53, 59 y 53 vainas por planta respectivamente (Tabla 4). Theodoro et al. (2006) observaron al emplear polvo de piedra, de modo general, la productividad de los cultivos fue como mínimo, similar a las obtenidas con el uso de fertilizantes químicos, pero su efecto con el tiempo se manifestó al mismo tiempo que contribuyó con la disminución del uso de químicos.

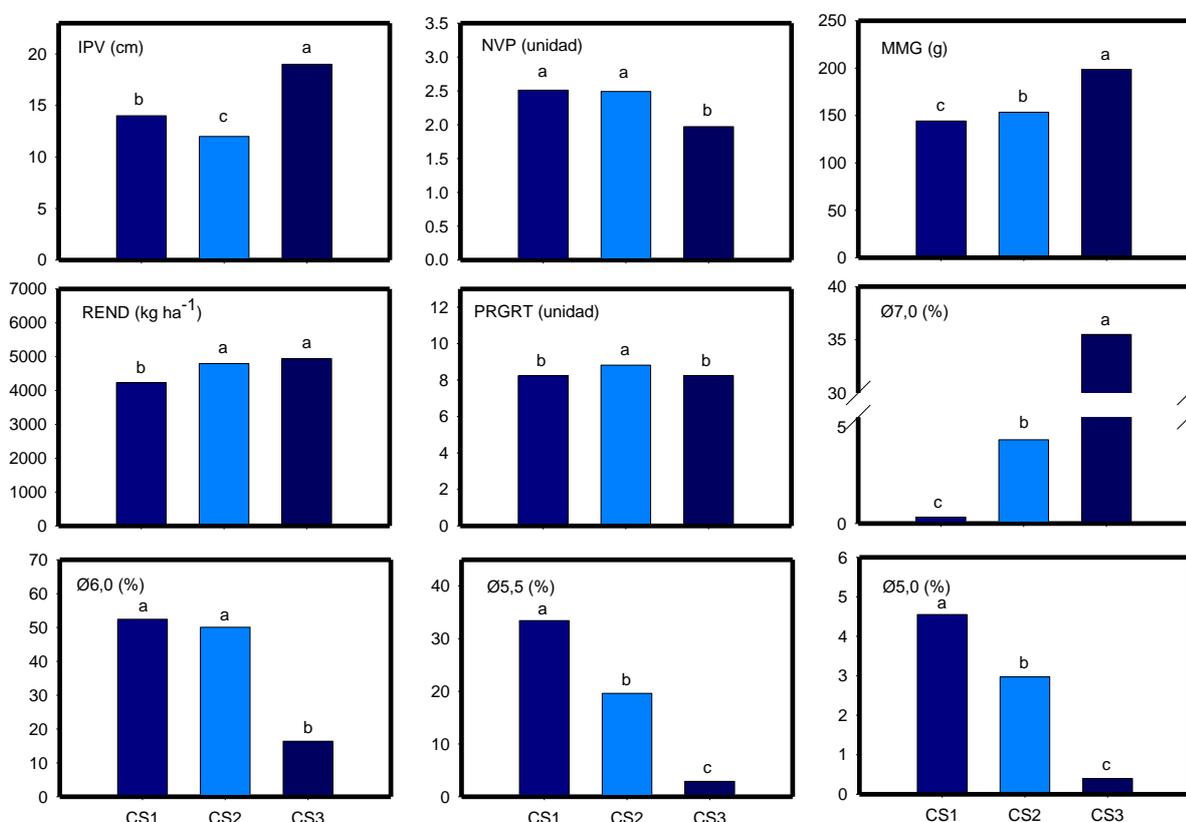
La calidad de los granos fue otro atributo evaluado en este experimento. Apenas el porcentaje de granos retenidos en tamices de orificios de 6,5 mm ($\text{Ø } 6,5$) fue influenciado por la interacción de los dos factores evaluados. El factor cultivar dentro de las diferentes DPB manifestó diferencias apenas la cultivar CS2, con las mayores respuestas alcanzadas en las dosis de 0, 1 y 5 t ha^{-1} (Tabla 4). Al comparar los cultivares, se observa el mismo comportamiento para todas las dosis empleadas, donde los valores siempre variaron en el sentido de $\text{CS3} > \text{CS2} > \text{CS1}$ con diferencias significativas por la prueba de Tukey ($P < 0,05$) para la variable porcentaje de granos retenidos en tamices de orificios de 6,5 mm ($\text{Ø } 6,5$).

Para producir soya, en la mayoría de las regiones productoras a nivel mundial, es necesario que se preste especial atención a la nutrición del cultivo, porque de ella depende en gran medida la respuesta productiva que se quiere obtener (Korber et al., 2017). La nutrición tiene repercusión en la calidad de las cosechas, e influencia sobre todo la altura de la base del suelo a la primera vaina, la masa de mil granos y el rendimiento según Taiz et al. (2017).

Soares et al. (2015) por su parte, no observaron efecto del tamaño de las semillas sobre la germinación y altura de plantas, aunque, si en plantas con mayor masa seca, o sometidas a condiciones de estrés hídrico y salino. El tamaño de los granos determina en parte las reservas que la planta tendrá una vez germinada, siendo favorecido el vigor o la velocidad con que las semillas germinan, como consecuencia de esto, se estimula un crecimiento más acelerado de la parte aérea y raíz beneficiándose así la producción final (Panozzo et al., 2018), es por esta razón que se persigue homogenizar el tamaño de los lotes de semillas comercializables en las empresas dedicadas a su producción o beneficio.

En otros estudios se encontraron efectos directamente proporcionales entre el calibre de la semilla y el porcentaje de germinación, índice de velocidad de germinación y número medio de días a la germinación, como respuesta de dos cultivares de *Sorghum* sp (Sánchez et al., 2018). Esos resultados nos permiten afirmar que la aplicación de DPB contribuye a la obtención de un mejor calibre de las semillas de soja y con eso mejora la calidad de las semillas obtenidas.

Figura 2. Valores medios de variables obtenidas em experimentos con tres cultivares de soja (CS) en La zafra 2018/2019. Chapadão do Sul, MS, Brasil. Letras minúsculas representan diferencias significativas por el teste de Tukey al 5%. CS1: BRASMAX FOCO IPRO, CS2: BRASMAX DESAFIO IPRO, CS3: BRASMAX BÔNUS IPRO. (n = 12).



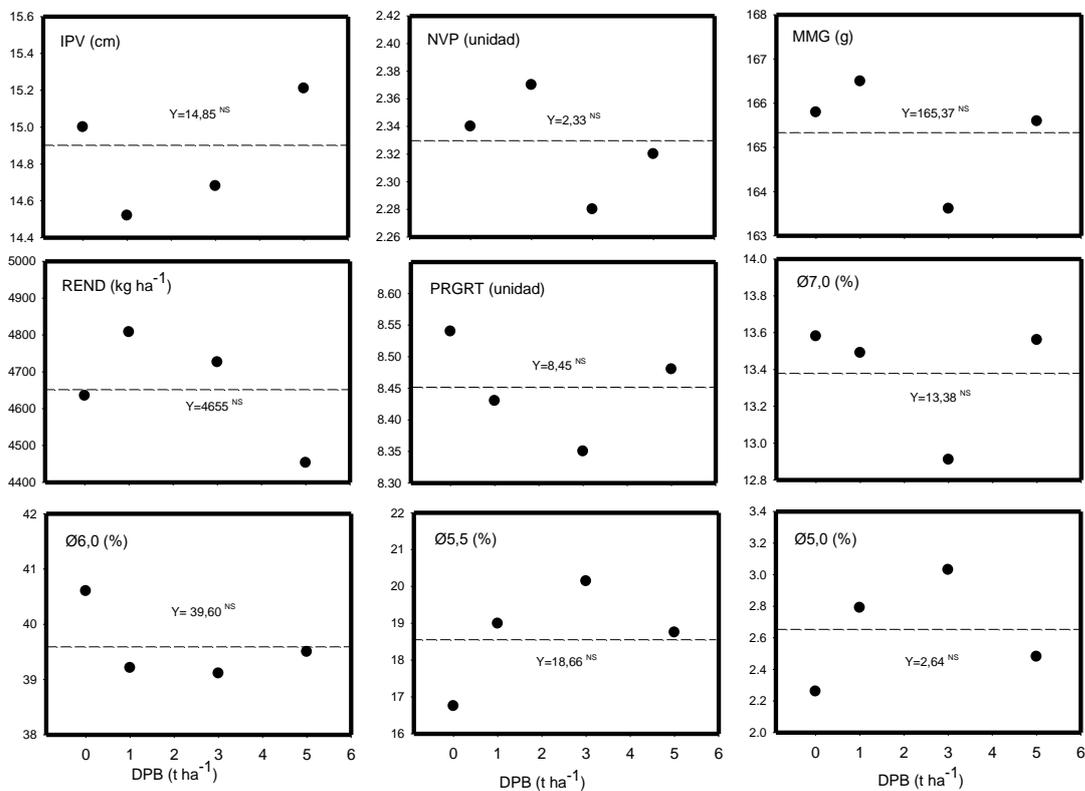
Fuente: Propia de los autores.

Al analizar el comportamiento de los tres cultivares en las variables que mostraron ausencia de interacción entre los factores (Tabla 3) la respuesta es expuesta en la Figura 2. Las mejores respuestas para las variables IPV; MMG; Ø7,0; Ø6,0; Ø5,5 y Ø5,0 se mostraron en el cultivar CS3 que se diferenció estadísticamente de las demás cultivares (Figura 2). Esta cultivar mostro IPV de 20 cm, con un peso mil granos de 198,65 g, unido a una mayor (Ø7,0 con 35,49%) y menor (Ø6,0 con 13,36%; Ø5,5 con 2,9% y para Ø5,0 con 0,4%) proporción de granos distribuidos en los diferentes tamices, atributos que contribuyeron para tener un

rendimiento de 4940 kg ha⁻¹ (Figura 2). Las tres cultivares empleadas constituyen las más plantadas en la región Centro Oeste de Brasil donde fue desarrollado este experimento. Ellas se diferencian principalmente en el ciclo de la cultura (de Almeida et al., 2018). El ciclo para estas cultivares no fue alterado y las condiciones climáticas favorecieron ese comportamiento (Figura 1), siendo registrada un acumulado de lluvia de 1145 mm en todo el periodo del experimento, aliado a una temperatura que no superó los 25 °C, ambos factores contribuyeron para el buen desenvolvimiento del cultivo durante la zafra 2018/2019.

Las magnitudes de las principales variables evaluadas para las tres cultivares fueron muy parecidos a algunos datos ya descritos por de Almeida et al. (2018) (Figura 2). De Almeida et al. (2018) al evaluar 36 cultivares de soja, incluido las tres empleadas en nuestro trabajo, en las condiciones del Centro Oeste Brasileiro, específicamente en Goianésia-GO, a unos 677 km de Chapadão do Sul, donde fue conducido el experimento encontró igual comportamiento. La productividad de la cultivar Bônus (CS3) con 5000 kg ha⁻¹ también fue superior a la de Desafio (CS2) y Focus (CS1) con 4380 kg ha⁻¹ y 4388 kg ha⁻¹ respectivamente, para las condiciones evaluadas por de Almeida et al. (2018), confirmando el resultado mostrado en la Figura 2.

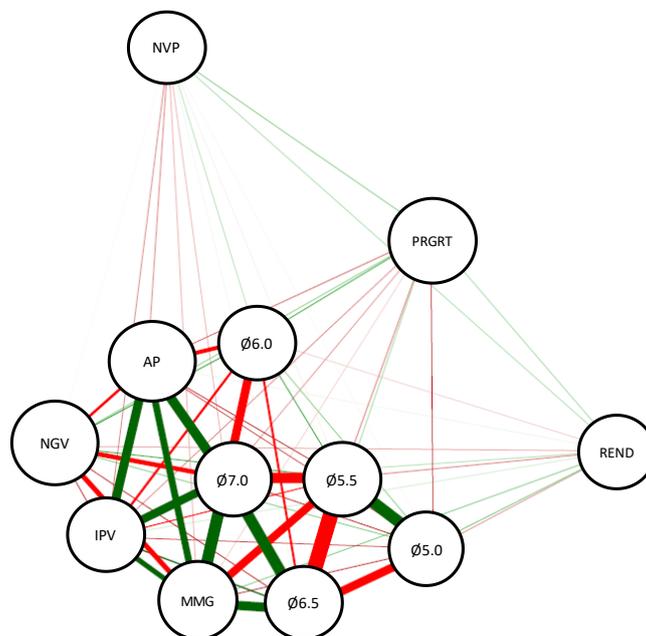
Figura 3. Valores medios de variables obtenidas en experimentos con cuatro dosis de polvo de basalto en la cultura de soja en La zafra 2018/2019. Chapadão do Sul, MS, Brasil. (n = 9).



Fuente: Propia de los autores.

Al evaluar el comportamiento de las dosis de polvo de basalto en las variables que no mostraron interacción entre los factores, los datos son mostrados en la Figura 3. Los análisis mostraron que no hubo diferencias entre las DPB para todas estas variables. Los valores de medias fueron entonces mostrados y ajustado una recta representando la media de cada variable (Figura 3). Ya ha sido descrito que los efectos de los polvos de roca en general, dependen de la granulometría (Anda et al., 2009), de sus propiedades químicas (Tabla 2) y de las condiciones de los suelos, entre otros factores que determinan estas respuestas (Ramos et al., 2015). Una buena parte de la liberación de los elementos que lo componen son liberados con la ayuda de microorganismos del suelo que facilitan la remineralización y la disponibilidad de estos para las plantas (Manning & Theodoro, 2018; Ramos et al., 2015). La transformación de estos minerales que componen las rocas molidas depende de la actividad biológica y aparentemente puede ser muy pequeña o nula, lo que lleva a conclusiones apresuradas de que las rocas no pueden traer beneficios a los suelos agrícolas y a las plantas cultivadas (Straaten, 2006).

Figura 4. Redes de correlaciones establecidas entre todas las variables obtenidas en experimentos con dosis de polvo de basalto y tres cultivares de soya en La zafra 2018/2019. Chapadão do Sul, MS, Brasil. En verde y rojo, las correlaciones positivas y negativas respectivamente. Independiente del color, el ancho de las líneas significa el valor, entre más grueso más próximo de 1.



Fuente: Propia de los autores.

Correlaciones de Pearson entre variables son mostradas en un gráfico de Redes de Correlaciones (Figura 4). Las correlaciones fenotípicas indican la dependencia lineal entre dos características, y ellas dependen de la interacción que tienen los genotipos con el ambiente, siendo sus magnitudes determinadas por el grado de asociación que tengan ambas variables entre sí. Observase en el gráfico que las variables NVL, PRGRT y REND fueron las variables que manifestaron las menores correlaciones con el resto de las variables, y se muestran en el grafico bien distante del resto. Por su vez, las otras variables muestran correlaciones positivas y negativas, la mayoría de ellas fueron significativas por la prueba “t” ($P < 0,01$ y $P < 0,05$).

Correlaciones positivas y de magnitud superior a 0,60 ($P < 0,01$) (Figura 4), fueron obtenidas y son destacadas por trazos más gruesos de color verde, estableciéndose entre AP y las variables Ø7,0 (0,81), IPV (0,79), MMG (0,74) y Ø6,5 (0,60); entre IPL y las variables Ø7,0 (0,78), MMG (0,70) y Ø6,5 (0,61); entre MMG y las variables Ø7,0 (0,86,) y Ø6,5 (0,80); entre Ø7,0 y Ø6,5 (0,84) y entre Ø5,5 y Ø5,0 (0,85). Correlaciones negativas y superiores a 0,60 ($P < 0,01$), fueron encontradas y son destacadas con trazos más gruesos de color rojo (Figura 4). Estas se establecieron entre la variable AP y las variables Ø6,0 (-0,67) y NGV (-0,64); entre IPV y las variables Ø6,0 (-0,63) y Ø5,5 (-0,60); entre NGV y las variables MMG (-0,70) y Ø7,0 (-0,68); entre MMG y las variables Ø6,0 (-0,66) y Ø5,5 (-0,77); entre Ø7,0 y la variable Ø6,0 (-0,78) y Ø5,5 (-0,83); entre Ø6,5 y las variables Ø6,0 (-0,62), Ø5,5 (-0,95) y Ø5,0 (-0,78). Estas correlaciones muestran la grande interacción que existe entre todas las variables analizadas en el presente estudio, y como estas asociaciones entre las variables determinan la respuesta que hemos obtenido al evaluar el desarrollo de cultivares de soya en diferentes dosis de polvo de basalto.

Dentro de la nutrición, se estima que las mayores demandas de nutrientes son de N-P-K que es principalmente suministrado a través de fertilizantes químicos y juegan un importante papel en los procesos fisiológicos que la planta realiza (Taiz et al., 2017). En las condiciones de Brasil la demanda de N, P y K está en el orden de 66,1; 6,1 y 30,1 kg para producir una tonelada de granos por hectárea, respectivamente (Korber et al., 2017; Pavinato et al., 2017; Andrade et al., 2018)

Los impactos ambientales negativos y el alto costo de los fertilizantes químicos pueden tornar inviable la producción a pequeñas escalas (Manning & Theodoro, 2018, Ramos et al., 2015). Por lo tanto, métodos alternativos son necesarios. Dentro de las alternativas actuales ha sido indicado el uso de polvo de rocas como una opción que permite agregar nutrientes al suelo al ser aplicado de modo superficial en el suelo siendo su uso demostrado en

varias especies de plantas (Ramos et al., 2015; Theodoro et al., 2012; Ramezani et al., 2013), así como, ha manifestado buenos resultados como fertilizante partiendo de la diversidad existente en su composición química (Manning & Theodoro, 2018, Ramos et al., 2015; Theodoro et al., 2012).

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran un efecto positivo de las dosis de polvo de basalto para algunas de las características evaluadas y su potencial como fertilizante. Las dosis empleadas influenciaron las variables altura de planta, el número de legumbres por planta y el porcentaje de granos clasificados en tamices de orificio de 6,5 mm, promoviendo aumentos significativos en relación al control. La aplicación de polvo de basalto, aunque descrito en otras especies (Anda et al., 2009; Ramezani et al., 2013; Andrade et al., 2018), para el cultivo de la soja son escasos y recientes los trabajos que muestran esta interacción, de ahí la importancia de realizar este estudio, así como, mostrar los resultados en una primera época de cultivo. Petrikoski et al. (2016) observaron que las medias de productividad de soja, no se diferencian significativamente entre sí, independientemente del tipo de aplicación y las dosis, al ser evaluada en una primera zafra, después de 130 días de la aplicación. Los autores consideran este resultado como satisfactorio, una vez que la producción obtenida corresponde a la media obtenida con el fertilizante mineral.

Estudios futuros informaran a través de variables como respiración microbiana, balance C/N, entre otras, como es esa liberación de macro y micro elementos para la planta y como está la calidad de las semillas al final de este proceso de cultivo, pensando en la calidad como semilla y del punto de vista nutricional. Hanisch et al. (2013) encontraron respuestas similares al trabajar con soja y maíz (*Zea mays* L.) por un período de 4 años sometidos a la influencia de dosis crecientes de polvo de basalto donde fue obtenido un aumento de la disponibilidad de Zn, Cu, Fe, Mg e P en el suelo en la medida que pasó el tiempo, y con esto se confirma que la liberación de los nutrientes del polvo de basalto es de liberación lenta.

El aporte de macro y micro nutrientes, y minerales del polvo de basalto (Tabla 2), muestra la variabilidad de su composición y su potencial en la nutrición de las plantas, confirmando lo relatado por Manning & Theodoro (2018). De los componentes de rendimiento que fueron evaluados la altura da planta y el número de legumbres fueron influenciados por las DPB. El número bajo de variables influenciadas por las DPB puede estar relacionado con las dosis empleadas, por lo que se hace necesario que estudios futuros definirán de modo más evidente cuales dosis mejorarán la respuesta ligadas a la calidad y tamaño de las semillas de soja para las condiciones de suelo y ambiente evaluadas.

Entre las características evaluadas, la masa de mil granos manifestó valores próximos de los relatados por de Almeida et al. (2018), así como, se favoreció el porcentaje de los granos retenidos en los tamices de diámetro 7,0 y 6,5 mm, variables que se correlacionaron e influenciaron la respuesta obtenida.

Aunque muchos trabajos están siendo desarrollados, empleando polvo de rocas como remineralizadores para recuperar suelos y como fuente de nutrientes (Beerling et al., 2018), poco ha sido publicado en relación a la interacción con el cultivo de la soya (Straaten, 2006; Petrikoski et al., 2016) y de ahí la importancia de nuestro trabajo.

Se hace necesario además evaluar los efectos de estos residuales a corto, mediano y largo plazo y conocer si será posible que la aplicación de polvo de basalto se materialice como una práctica sustentable capaz de reducir los costos y promover un incremento sostenido de la producción y la disponibilidad de alimentos de alta calidad.

4. Consideraciones Finales

El uso del polvo de basalto como fertilizante en soya, cultivada en un Latossol Rojo distrófico, es una alternativa para mejorar componentes de producción y de calidad de los granos producidos.

La aplicación de polvo de basalto en los cultivares de soya mostró su mejor desempeño en el cultivar BRASMAX BÔNUS IPRO, al mismo tiempo que influyó positivamente la altura de la planta, el número de vainas por planta y el porcentaje de granos en el tamiz Ø6,5.

Las dosis de polvo de basalto aunque no estimularon el rendimiento de la soya, contribuyeron a la obtención de un mejor calibre de las semillas y con eso mejoraron la calidad de las semillas obtenidas.

Considerando la escasez de informaciones científicas sobre los efectos del polvo de basalto en los cultivos, este trabajo contribuye con el aumento de la literatura científica actual relacionada con los efectos que a corto plazo pueden ser obtenidos con estos residuos. No obstante, es importante considerar que trabajos futuros deben ser realizados empleando otras dosis de polvo de basalto para llegar a un desempeño productivo superior en la cultura de soya, aplicados además en otros suelos, en formas diferentes de incorporación y granulometría, así como, es necesario que evaluaciones a largo plazo sean realizadas.

Agradecimientos

Agradecemos a la UFMS – CPCS, y al productor Evandro Loeff y su equipo, por ceder el material de polvo de basalto empleado en el experimento. Agradecemos el apoyo financiero de la Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nivel Superior - Brasil (CAPES) a nombre de los Profesores Visitantes JGA y AMZ. A la Fundación Chapadão por ceder las máquinas y semillas para la implantación del experimento en campo.

Referencias

- Anda, M., Shamshuddin, J., Fauziah, C. I. & Omar, S. R. S. (2009). Dissolution of ground basalt and its effect on oxisol chemical properties and cocoa growth. *Soil Science*, 174, 264–71.
- Andrade, F. R., Nóbrega, J. C. A., Nóbrega, R. S. A., Lustosa Filho, J. F., Zuffo, A. M. & Moreira, F. M. de S. (2018). Mycorrhization stimulant in soybean associated with phosphate fertilization in oxisols. *Revista Caatinga*, 31(4), 823-831.
- Berling, D. J., Leake, J. R., Long, S. P., Scholes, J. D., Ton, J., Nelson, P. N., Bird, M., Kantzas, E., Taylor, L. L., Sarkar, B., Kelland, M., De Lucia, E., Kantola, I., Müller, C., Rau, G. & Hansen, J. (2018). Farming with crops and rocks to address global climate, food and soil security. *Nature Plants*, 4(3), 138–147.
- Bhering, L. L. (2017). Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 17, 187-90.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes, Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395 p.
- Carbonell, S. A. M., Chiorato, A. F., Gonçalves, J. G. R., Perina, E. F. & Carvalho, C. R. L. (2010). Tamanho de grão comercial em cultivares de feijoeiro. *Ciência Rural*, 40, 2067-2073.
- CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). Acompanhamento da safra brasileira: grãos, Sexto levantamento [Internet] Março 2019. Brasília, DF: Conab, 2019. Available from:

https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/25183_cb54effd57f6232cedcc6c0c7f53522a

Cruz, C. D. (2013). GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*, 35(3), 271-76.

de Almeida, L. G. B., Oliveira, R., Matos, D. J. C., de Souza, J. E. B. & Ribeiro, V. A. (2018). Variação fenotípica de caracteres agronômicos em genótipos de soja. *Ipê Agronomic Journal*, 2(2), 58-67.

Hanisch, A. L., da Fonseca, J. A., Balbinot Junior, A. A. & Spagnollo, E. (2013). Efeito de pó de basalto no solo e em culturas anuais durante quatro safras, em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 3(2), 100-107.

Korber, A. H. C., Pinto, L. P., Pivetta, L. A., Albrecht, L. P. & Frigo, K. D. A. (2017). Adubação nitrogenada e potássica em soja sob sistemas de semeadura. *Revista de Agricultura Neotropical*, 4(4), 38-45.

Manning, D. A. C. & Theodoro, S. H. (2018). Enabling food security through use of local rocks and minerals. *The Extractive Industries and Society*, 1-8.

Nunes, J. M. G., Oliveira, C. & Kautzmann, R. M. (2014). Evaluation of the natural fertilizing potential of basalt dust wastes from the mining district of Nova Prata (Brazil). *Journal of Cleaner Production*, 84, 649-656.

Panozzo, L. E., Schuch, L. O. B., Peske, S. T., Mielezrski, F. & Peske, F. B. (2009). Comportamento de sementes de soja originadas de sementes de diferentes níveis de qualidade fisiológica. *Revista da Faculdade de Zootecnia Veterinária e Agronomia*, 16(1), 32-41.

Pavinato, P. S., Pauletti, V., Motta, A. C. V., Moreira, A. & Motta, A. C. V. (2017). *Manual de adubação e calagem para o estado do paraná*. Curitiba: Sbc, 482 p.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J. & Shitsuka, R. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFMS. Disponível em:

https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_MetodologiaPesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1. Consultado el 26 de abril de 2020.

Petrikoski, S. M., Trevizan, G. D., da Silva, N. R. B., da Silva, A. R. L. & Rocker, C. (2016). Uso de fosfato natural na cultura da soja (*Glycine max*), no município de Vera Cruz do Oeste – PR. *Acta Iguazu*, 5, 235-241.

Ramezani, A., Dahlin, A. S., Campbell, C. D., Hillier, S., Mannerstedt-Fogelfors, B. & Öborn, I. (2013). Addition of a volcanic rockdust to soils has no observable effects on plant yield and nutrient status or on soil microbial activity. *Plant Soil*, 367, 419–436.

Ramos, C. G., Mello, A. G. & Kautzmann, R. M. (2014). A preliminary study of volcanic rocks for stonemeal application. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 3, 1-6.

Ramos, C. G., Querol, X., Oliveira, M. L. S., Pires, K., Kautzmann, R. M. & Oliveira, L. F. S. (2015). A preliminary evaluation of volcanic rock powder for application in agriculture as soil a remineralizer. *Science of the Total Environment*, 512–513, 371–380.

Samora, R. (2019). Juntos, Brasil e Argentina devem superar EUA na exportação de milho em 18/19, diz USDA. [Internet]. Noticias Agrícolas. [cited 2019 Apr 27]. Available from: <https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/usda/233338-juntos-brasil-e-argentina-devem-superar-eua-na-exportacao-de-milho-em-1819-diz-usda.html#.xovln9jkgdu>

Sánchez, M. R., Hernández, Y. M., Guzmán, D., Rodríguez, R. V., López, G. S. D., Martínez, A. Y. & Almeida, F. M. (2018). Efecto del calibre semilla (masa) en la germinación del sorgo. *Cultivos Tropicales*, 39(4), 51-59.

Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C. dos, Oliveira, V. A., Lumberras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J., Araujo Filho, J. C. de, Oliveira, J. B. & Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 355 p. Available from: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>

Soares, M. M., dos Santos Junior, H. C., Simões, M. G., Pazzin, D. & da Silva, L. J. (2015). Estresse hídrico e salino em sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 45(4), 370-378.

Straaten, P.V. (2006). Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78(4), 731-747.

Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M. & Murph, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 888 p.

Theodoro, S. H., Leonardos, O. H., Rocha, E. L. & Rego, K. G. (2006). Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. *Espaço e Geografia (UnB)*, 9(2), 263-292.

Theodoro, S. H., Tchouankoue, J. P., Gonçalves, A. O., Leonardos, O. & Harper, J. (2012). A importância de uma rede tecnológica de rochagem para a sustentabilidade em países tropicais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 6, 1390-1407.

USDA. (2019). United States Department of Agriculture. [Internet]World Agricultural Supply and Demand Estimates.

Val, B. H. P., Júnior, J. A. F., Bizari, E. H., Di Mauro, A. O. & Unêda-Trevisoli, S. H. (2014). Diversidade genética de genótipos de soja por meio de caracteres agromorfológicos. *Ciência & Tecnologia: Fatec-JB*, 6(1),72-83.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Jorge González Aguilera – 20%

Alan Mario Zuffo – 15%

Rafael Felipe Ratke – 10%

Amanda Camila Silva Trento – 10%

Roney Eloy Lima – 10%

Gabriel Alves Gris – 8%

Karen Annie Dias de Moraes – 9%

Jorge Xavier da Silva – 8%

Werverth Costa Martins – 10%