

Teor de macronutrientes e produtividade da soja influenciados pela compactação do solo e adubação fosfatada

Macronutrient content and productivity of soybean influenced by the compaction of soil and phosphate fertilizer

Franciele Caroline de Assis Valadão^{1*}, Oscarlina Lúcia dos Santos Weber², Daniel Dias Valadão Júnior¹, Mayara Fernanda Martins Santin¹ e Alex Scapinelli¹

¹Instituto Federal de Mato Grosso-Campus Campo Novo do Parecis, Rod. MT 235, km 12, CEP-78360-000, Campo Novo do Parecis, Mato Grosso, Brasil;

²Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

(*E-mail: franciele.valadao@cnp.ifmt.edu.br)

<http://dx.doi.org/10.19084/RCA15092>

Recebido/received: 2015.07.29

Recebido em versão revista/received in revised form: 2016.02.08

Aceite/accepted: 2016.02.15

RESUMO

O objetivo neste trabalho foi avaliar a influência da compactação e adubação fosfatada sobre o teor de macronutrientes e produtividade de grãos de soja na Chapada dos Parecis-MT. O estudo foi realizado em Latossolo Vermelho, em delineamento em blocos casualizados, esquema fatorial 2x4x4 e três repetições, sendo duas formas de adubação fosfatada (a lanço e no sulco), quatro doses de P₂O₅ (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹) e quatro estados de compactação (PT0, PT2, PT4 e PT8 – semeadura direta com compactação induzida por tráfego de trator em zero, duas, quatro e oito passadas, respectivamente). A compactação, a forma de adubação e as doses de P₂O₅ influenciaram a disponibilidade de fósforo no solo e a absorção do elemento pela planta, sendo que nos sistemas mais compactados adubados a lanço os teores de P na soja ficaram abaixo dos limites considerados adequados. A compactação reduziu os teores N, P, Ca e Mg e aumentou ou teores de K e S e as doses de P₂O₅ aumentaram os teores de Mg da parte aérea da soja. A adubação a lanço em áreas compactadas reduziu a eficiência da adubação fosfatada com consequente redução da produtividade de grãos da soja.

Palavras-chave: adubação a lanço, *Glycine max*, nutrição mineral, resistência do solo à penetração.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the influence of compaction and phosphorus fertilization on the macronutrient tenor and productivity of soybeans in Chapada dos Parecis-MT. The study was conducted on Latossolo Vermelho, in a randomized block design, factorial 2x4x4 and three repetitions, two forms of phosphorus fertilization (broadcast and groove), four doses of P₂O₅ (0, 50, 100 and 150 kg ha⁻¹) and four compaction levels (PT0, PT2, PT4 and PT8 – tillage with compression-induced tractor traffic at zero, two, four and eight strides, respectively). Compaction, the form of fertilizer and P₂O₅ levels influenced the availability of phosphorus in the soil and the absorption of the element by the plant, and in the more compressed systems fertilized by throwing the P levels in soybeans were below the limits considered appropriate. The compaction reduced N, P, Ca and Mg and increased or K and S and P₂O₅ doses increased the Mg content of the soybean shoot. Fertilization by throwing in compacted areas reduced the efficiency of phosphorus fertilization with consequent reduction in soybean yield.

Key words: broadcast fertilization, *Glycine max*, mineral nutrition, soil penetration resistance.

INTRODUÇÃO

Interações entre os compartimentos químicos e físicos do solo podem influenciar a absorção de nutrientes pelas plantas e provocar alterações na produtividade. Solos sob intensa compactação tem a macroporosidade e a porosidade total reduzida (Bergamin *et al.*, 2010; Valadão *et al.*, 2015) com alterações na aeração, no fluxo de água (Zambrana *et al.*, 2010) e no sistema radicular das culturas (Bergamin *et al.*, 2010; Valadão *et al.*, 2015). Além disso, promove maior contato dos elementos com as partículas sólidas alterando o transporte até a planta (Silva *et al.*, 2008). Assim, maior ou menor absorção de elementos essenciais pode ocorrer, dependendo da espécie e/ou cultivar, tipo de solo, condições ambientais e do próprio elemento (Alves *et al.*, 2003; Cabral *et al.*, 2012; Souza *et al.*, 2012).

Diferentes resultados quanto à absorção de nutrientes em solos compactados são encontrados na literatura. Borges *et al.* (1998) em solo de textura franco-arenosa verificaram que a compactação afetou negativamente a nodulação da soja e por isso acarretou menor teor de N na parte aérea da cultura, mas, houve incremento nos teores de P, provavelmente devido à baixa capacidade de retenção de P naquele solo. Por outro lado, Miransari *et al.* (2009) verificaram limitações na nutrição do milho em solo compactado, sugerindo a utilização de micorrizas para atenuar esta condição. Cabral *et al.* (2012) encontraram que o N é o elemento mais limitado pela compactação do solo quando estudaram a absorção de N, P e K pelos capins Mombaça e Piatã.

A adubação fosfatada por sua vez tem estreita relação com a compactação do solo (Santos *et al.*, 2005; Ribeiro *et al.*, 2010). Devida a baixa mobilidade do fósforo no solo, a eficiência da adubação fosfatada em substrato compactado é dependente do tipo de solo. Quanto maior for a capacidade de adsorção do mesmo, maior possibilidade da compactação reduzir o teor de P nas plantas (Alves *et al.*, 2003) e conseqüentemente, maiores doses de P_2O_5 serão necessárias para manter o teor em quantidades adequadas (Ribeiro *et al.*, 2010).

Deve-se considerar também, que a adubação fosfatada atua no desenvolvimento radicular das culturas (Crusciol *et al.*, 2005; Ribeiro *et al.*, 2010) e

favorece a absorção de água e nutrientes. A maior disponibilidade de fósforo no solo poderá atuar como fator de alívio da compactação do solo, resultando em maior produção para um mesmo grau de compactação (Santos *et al.*, 2005). Portanto, a forma de adubação e as doses de P_2O_5 aplicadas são práticas que podem influenciar na disponibilidade de fósforo para a cultura.

A cultura da soja tem se mostrado sensível a compactação do solo (Beutler e Centurion, 2004; Ribeiro *et al.*, 2010; Valadão *et al.*, 2015) e o estudo da interação entre adubação fosfatada e compactação é importante para melhor dimensionamento do manejo da cultura. Assim, o objetivo neste trabalho foi avaliar a influência da compactação e adubação fosfatada sobre o teor de macronutrientes e produtividade de grãos de soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado entre outubro de 2012 a fevereiro de 2013 no Instituto Federal de Mato Grosso, Campo Novo do Parecis, situado na Chapada dos Parecis-MT a 13°40'31" Sul, 57°53'31" Oeste e 572 m de altitude. Foi cultivado soja em Latossolo Vermelho Distrófico típico (Embrapa, 2013) de textura argilosa tendo na camada de 0,00 a 0,20 m os valores de $pH_{CaCl_2} = 5,4$; $P = 16,9 \text{ mg dm}^{-3}$; $K = 29 \text{ mg dm}^{-3}$; $Ca+Mg = 4,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $H+Al = 3,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $MO = 21,2 \text{ g dm}^{-3}$ (Embrapa, 1997).

O clima da região segundo a classificação de Köppen é Aw cujos dados de temperatura e precipitação no período de realização do experimento encontra-se na Figura 1. A área experimental foi cultivada nos últimos três anos em sucessão entre soja e milho em semeadura direta, sendo nos cinco anos anteriores deixada em pousio com vegetação espontânea. Na instalação do experimento a quantidade de palhada sobre o solo foi estimada em $1,5 \text{ Mg ha}^{-1} (\pm 0,23 \text{ Mg ha}^{-1})$.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, fatorial $2 \times 4 \times 4$ e três repetições, sendo duas formas de adubação fosfatada (no sulco de semeadura e a lanço), quatro doses de P_2O_5 (0, 50, 100 e 150 kg ha^{-1}) e quatro estados de compactação (semeadura direta em zero – PT0, duas – PT2, quatro – PT4 e oito – PT8 passadas de trator).

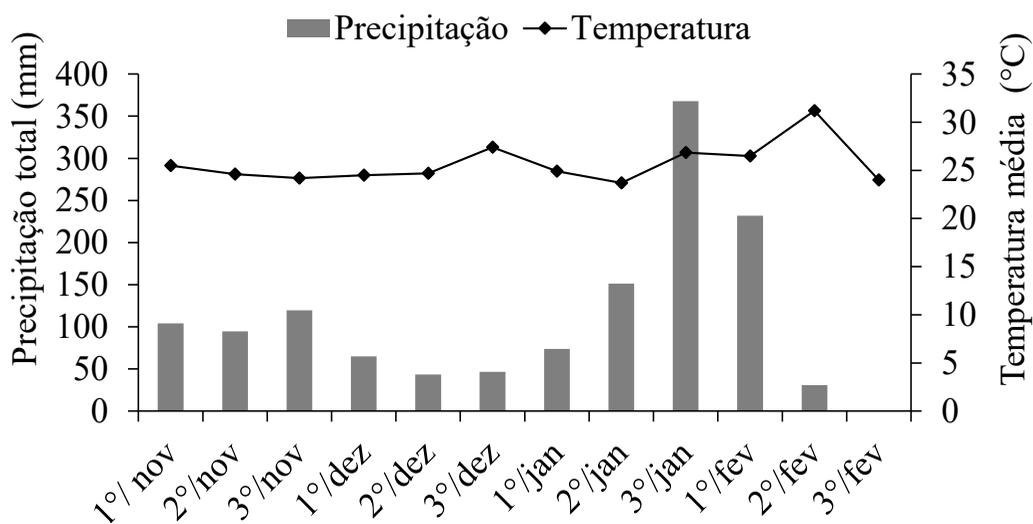


Figura 1 - Precipitação pluvial total e temperatura média do ar em cada decêndio na área experimental, no período de novembro de 2012 a fevereiro de 2013, Campo Novo do Parecis-MT.

Como fonte de P foi utilizado o monoamônio fosfatado (MAP – 58% P_2O_5 solúvel) e a compactação adicional foi realizada após as primeiras chuvas quando o solo possuía conteúdo de água na camada de 0,00 a 0,20 m de 0,30 $m^3 m^{-3}$ com metodologia e equipamentos semelhante a Valadão *et al.*, (2015). A caracterização dos atributos físicos do solo na camada de 0,00 a 0,20 m após compactação, determinada conforme metodologia da Embrapa (1997), encontra-se na Quadro 1.

A unidade experimental tinha 3,4 m de comprimento e 3,15 m de largura. Foi utilizado espaçamento entre linhas de 0,45 m. Como área útil foram consideradas as três linhas centrais com um metro linear cada no centro da parcela. A semeadura da soja (cultivar 98Y12 – ciclo precoce) foi efetuada manualmente

com densidade de 16 sementes por metro linear. Foi feita inoculação das sementes com *Bradyrhizobium japonicum* estirpes SEMIA 5079 e 5080 (5×10^9 bactérias por mL do produto) e utilizada como adubação de base 100 $kg ha^{-1}$ de K_2O sendo a fonte o cloreto de potássio (KCl – 60% K_2O) aplicado no sulco de semeadura. Para neutralizar o efeito do N fornecido em maior quantidade com o aumento das doses de MAP, a diferença de N entre as doses do adubo fosfatado foi fornecida na forma de ureia (45% de N) correspondendo a 28,44; 18,97; 9,48 e 0,00 $kg ha^{-1}$ de N para as respectivas doses de P_2O_5 . A adubação nitrogenada seguiu a forma de adubação fosfatada no sulco ou a lança, conforme o tratamento.

Aos dez dias após emergência foi avaliada população de plantas inicial (plantas ha^{-1}). No estágio R2

Quadro 1 - Atributos físicos do solo na camada de 0,00 a 0,10 m do solo em função do número de passadas de trator, Campo Novo do Parecis-MT, 2013

Atributos *	Número de passadas de trator				CV(%)
	PT0	PT2	PT4	PT8	
Mac ($m^3 m^{-3}$)	0,17	0,13	0,11	0,08	24,53
Mic ($m^3 m^{-3}$)	0,37	0,38	0,38	0,38	6,81
Pt ($m^3 m^{-3}$)	0,54	0,50	0,49	0,46	5,33
Ds ($Mg m^{-3}$)	1,17	1,24	1,29	1,32	5,43
RSP (MPa)	1,27	1,41	1,54	1,57	27,59
US ($m^3 m^{-3}$)	0,28	0,28	0,29	0,29	8,19

*Mac=macroporosidade; Mic=microporosidade; Pt=porosidade total; Ds=densidade do solo; RSP=Resistencia do solo à penetração; US=umidade do solo; CV: coeficiente de variação.

foi avaliada a altura de plantas (H – m) medindo-se aleatoriamente três plantas por parcela desde o solo até a ponta da haste principal. As mesmas plantas foram cortadas rente ao solo, lavadas com detergente neutro e água destilada e levadas a estufa a 65°C com circulação forçada de ar até atingirem massa constante para obtenção da massa seca (MS – g planta⁻¹).

Após serem secas, as plantas foram moídas e digeridas em solução nitro-perclórica 2:1 para determinação de P, K, Ca, Mg e S, e solução sulfúrica para determinação de N de acordo com a metodologia de Malavolta *et al.* (1997). O N foi determinado por destilação Kjeldahl; o P por colorimetria do metavanadato; o K por fotometria de chama; Ca e Mg por titulação e quelatometria do EDTA e S por turbidimetria de sulfato de bário.

Na colheita, por ocasião da maturação fisiológica, foi determinada a população final de plantas (plantas ha⁻¹). Em amostra de 15 plantas, foi contado o número de vagens por planta (NVG) e destas plantas, foram escolhidas 50 vagens para avaliação do número de grãos por vagem (NGV). Foram tomadas duas amostras de 100 grãos e pesadas para obtenção da massa de cem grãos (MCG-g). A produtividade da área útil da parcela foi estimada para um hectare (PROD-kg ha⁻¹). Tanto MCG quanto PROD foram corrigidas para umidade de 13%. Foi avaliado também o teor de fósforo no solo nas camadas de 0,00 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,15 e 0,15 a 0,20 m (Embrapa, 1997).

Foi realizada análise de variância e quando F significativo (p<0,05) foi efetuado o teste de média Scott-Knott (p<0,05) para a compactação e formas de adubação, e análise de regressão para as doses de P₂O₅, respeitando-se as respectivas interações. As análises foram feitas no programa estatístico MINITAB 16.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de P no solo foi influenciado pela interação entre compactação e formas de adubação até a camada de 0,15 m de profundidade (Quadro 2) e pela interação entre formas de adubação e doses de P₂O₅ (Figura 2).

Na adubação a lanço a maior compactação (PT8) reduziu 32% o teor de P na camada de 0,00 a 0,05 m comparando ao PT0, não havendo efeito sobre as demais camadas. Na adubação no sulco, o mesmo sistema provocou reduções de 38% na camada de 0,05 a 0,10 m e 44% de 0,10 a 0,15 m. Como a adubação a lanço é aplicada sem incorporação tende a concentrar os teores de P na superfície, enquanto a adubação no sulco de semeadura tende a aumentar os teores de P de forma mais subsuperficial, próximo à localização de aplicação. Isso evidencia a importância da adubação no sulco em aumentar os teores de P em profundidade em semeadura direta, que normalmente provocam maior gradiente vertical de P (Schlindwein e Anghinoni, 2000).

Quadro 2 - Teor de P no solo em função do número de passadas de trator, forma de adubação fosfatada e camada do perfil do solo, Campo Novo dos Parecis-MT, 2013

Formas de adubação	Camada (m)	Passadas de trator				CV(%)
		PT0	PT2	PT4	PT8	
P-Mehlich (mg dm ⁻³)*						
Lanço	0,00 a 0,05	24,01 ^{Aα}	22,56 ^{Aα}	18,54 ^{Bα}	16,31 ^{Bα}	26,30
	0,05 a 0,10	9,41 ^{Aβ}	9,13 ^{Aβ}	8,35 ^{Aβ}	8,16 ^{Aβ}	33,37
	0,10 a 0,15	5,57 ^{Aβ}	5,33 ^{Aβ}	5,15 ^{Aα}	4,03 ^{Aα}	44,57
	0,15 a 0,20	3,16 ^{Aα}	2,88 ^{Aα}	2,15 ^{Aα}	2,06 ^{Aα}	30,76
Sulco	0,00 a 0,05	12,08 ^{Aβ}	9,17 ^{Aβ}	9,04 ^{Aβ}	9,14 ^{Aβ}	26,30
	0,05 a 0,10	20,38 ^{Aα}	18,74 ^{Aα}	13,30 ^{Bα}	12,58 ^{Bα}	33,37
	0,10 a 0,15	10,33 ^{Aα}	8,19 ^{Aα}	5,89 ^{Bα}	5,74 ^{Bα}	44,57
	0,15 a 0,20	4,98 ^{Aα}	3,58 ^{Aα}	3,83 ^{Aα}	2,70 ^{Aα}	30,76

*Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste Scott-Knott (p>0,05). Dentro de cada camada, letras maiúsculas comparam compactação em cada forma de adubação e letras gregas comparam forma de adubação dentro de cada nível de compactação. PT0, PT2, PT4, PT8 = zero, duas, quatro e oito passadas de trator, respectivamente. CV: coeficiente de variação.

O efeito da compactação sobre os teores de P provavelmente foi devido ao efeito de diluição, pois na maior compactação tem-se a maior massa de solo para o mesmo volume ocupado. Assim, é possível que nos tratamentos compactados a maior massa de solo proporciona a mesma quantidade de P que nos tratamentos não compactados. Porém, compactação reduz a aeração do solo (Bergamin *et al.*, 2010; Valadão *et al.*, 2015) e a mineralização da matéria orgânica (Viana *et al.*, 2011) e aumenta a energia de retenção da água no solo (Dias Júnior e Estanislau, 1999) o que pode favorecer a interação entre fosfato e superfície dos colóides do solo, sugerindo menor disponibilidade temporária para as culturas. Assim, solos sob compactação excessiva, pode reduzir a eficiência da adubação fosfatada.

Ao desdobrar a interação entre formas de adubação e doses de P_2O_5 sobre o teor e estoque de P, foi constatado que houve aumento linear com o aumento das doses na camada de 0,05 a 0,15 m quando a adubação foi feita no sulco e na camada de 0,00 a 0,10 m quando a adubação foi feita a lanço, não havendo efeito sobre as demais camadas (Figura 2) evidenciando a baixa mobilidade do elemento no solo e a distribuição no perfil conforme a forma de adubação.

Na planta, os teores de P foram influenciados pela interação tripla (compactação x doses de P_2O_5 x formas de adubação) (Figura 3). No desdobramento dessa interação, observou-se que a adubação fosfatada no sulco proporcionou maiores teores de P na soja provavelmente porque esse tipo de adubação proporcionou maior desenvolvimento radicular em profundidade que a adubação a lanço, principalmente nos tratamentos sob compactação (Valadão *et al.*, 2015), promovendo maiores teores de P na parte aérea. Esse fato pode estar relacionado com a maior concentração de P em profundidade proporcionado pela adubação no sulco (Quadro 2).

Assim, o posicionamento do adubo próximo às sementes pode facilitar a absorção do P favorecendo a nutrição das plantas (Mortele *et al.*, 2009). Silva *et al.* (2010) encontraram maior acúmulo de P em feijão-caupi quando a adubação fosfatada foi no sulco em relação a adubação a lanço. Outro fator é que a adubação a lanço pode intensificar o processo de adsorção no solo, uma vez que há maior contato entre as partículas do solo e o P (Prado *et al.*, 2001; Silva *et al.*, 2010).

A compactação reduziu os teores de P na soja independente da forma de adubação, entretanto,

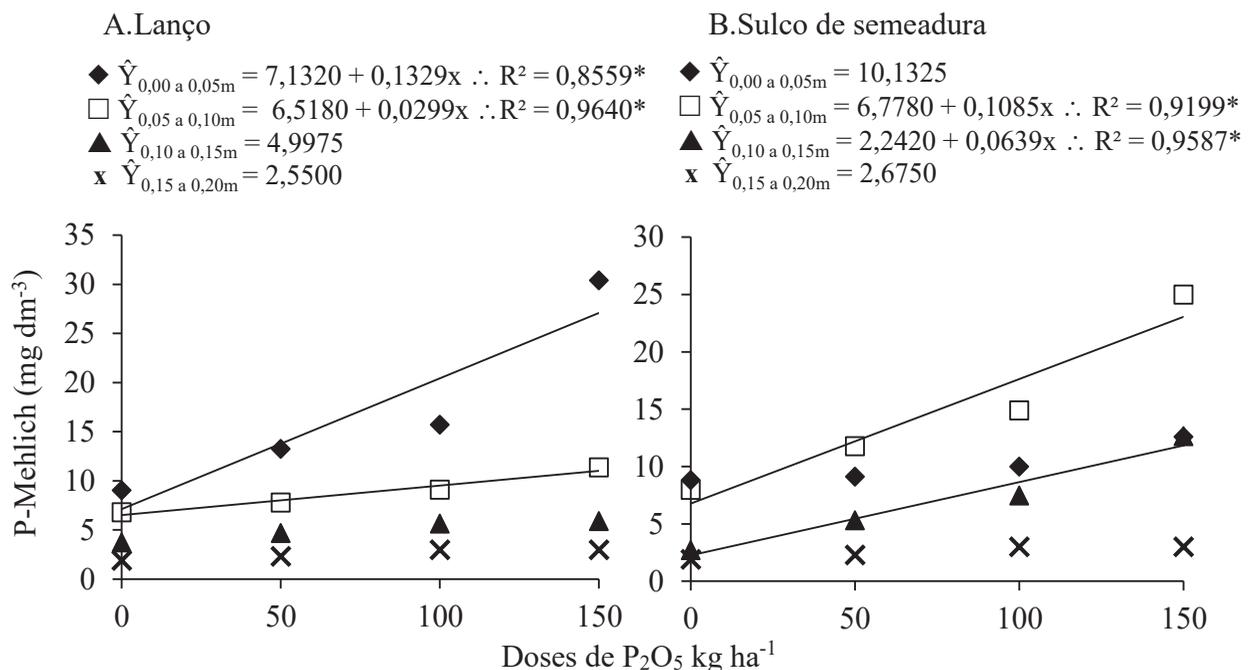


Figura 2 - Teor de P no solo em função da adubação fosfatada em diferentes camadas do perfil do solo, Campo Novo dos Parecis-MT, 2013. *Equações significativas pelo teste F ($p < 0,05$).

quando as doses de P foram fornecidas no sulco de semeadura, houve efeito quadrático para PT0 e PT2 e linear positivo para PT4 e PT8 (Figura 3). Nos sistemas menos compactados (PT0 e PT2), todos os teores de P foram considerados adequados para a soja, permanecendo entre os limites de 2,6 a 5,0 g kg⁻¹ (Malavolta *et al.*, 1997). Nos sistemas mais compactados (PT4 e PT8), nas menores doses de P (entre 0,0 e 50 kg ha⁻¹), os teores na parte aérea ficaram abaixo do limite considerado crítico, indicando que as doses mais elevadas de P₂O₅ amenizaram o efeito da compactação sobre a absorção deste elemento pela soja.

Por outro lado, sob adubação a lanço, não houve efeito das doses de P nos tratamentos mais compactados (PT4 e PT8) não sendo possível ajuste de modelo, demonstrando menor eficiência desta forma de adubação sobre os teores de P em condições físicas limitantes. Nesse sistema de adubação, todos os teores da soja em PT4 e PT8 ficaram abaixo do considerado crítico para a cultura (Malavolta *et al.*, 1997).

A compactação do solo pode aumentar o fluxo difusivo do P até atingir um máximo e depois decresce,

o aumento inicial deve-se à maior aproximação entre as partículas do solo e o sistema radicular, o que favorece a continuidade do filme de água e diminui a distância que o íon deve percorrer até alcançar a superfície absorvente (Silva *et al.*, 2008). Por outro lado, quando a aproximação entre as partículas é muito intensa e o solo possui alta capacidade de adsorção, pode aumentar o processo de adsorção e reduzir a disponibilidade em solução (Ribeiro *et al.*, 2010).

Houve efeito simples da compactação sobre os teores de N, K, Ca, Mg e S da soja (Quadro 3). A forma de aplicação do adubo fosfatado influenciou isoladamente os teores de Ca e S (Quadro 3) e houve efeito simples das doses de P₂O₅ sobre os teores de Mg (Figura 4).

Os teores de N reduziram na parte aérea com o aumento do tráfego de trator, independente da adubação fosfatada. Essa redução foi de 20% no tratamento PT4 e 32% em PT8 em relação a PT0 (Quadro 3), ficando abaixo dos teores considerados adequados para a soja (45 a 55 g kg⁻¹) (Malavolta *et al.*, 1997). Resultados semelhantes foram obtidos

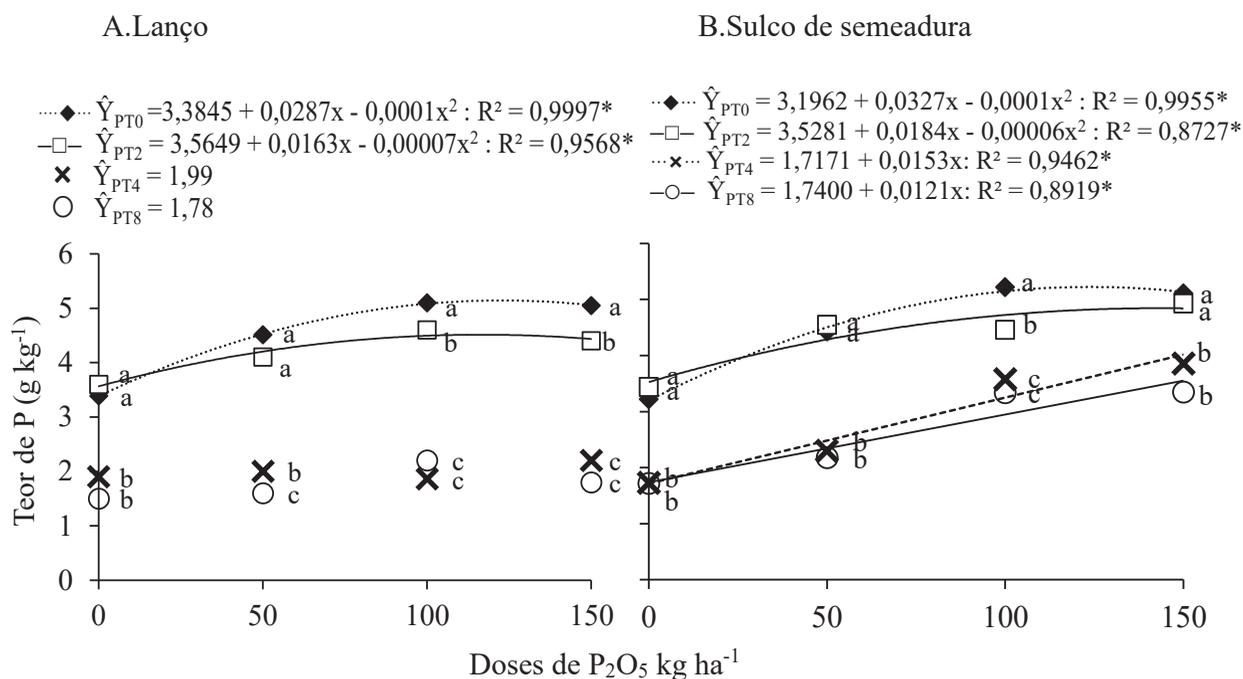


Figura 3 - Teor de P na parte aérea da soja em função de doses de P₂O₅, formas de adubação e do número de passadas de trator. Campo Novo do Parecis-MT, 2013. Letras minúsculas comparam teor de P entre compactação dentro de cada dose e quando iguais não diferem entre si pelo teste Scott-Knott (p>0,05). PT0, PT2, PT4 e PT8 = zero, duas, quatro e oito passadas de trator, respectivamente. *Equações significativas pelo teste F (p<0,05).

Quadro 3 - Teor de N, K, Ca, Mg e S na parte aérea da soja em função do número de passadas do trator e da forma de adubação fosfatada, Campo Novo do Parecis – MT, 2013

Nutrientes (g kg ⁻¹)	Passadas de trator				Adubação fosfatada		CV(%)
	PT0	PT2	PT4	PT8	Lanço	Sulco	
N	47,24 ^A	45,65 ^A	35,22 ^B	30,09 ^B	-	-	12,99
K	17,44 ^B	17,70 ^B	20,42 ^A	20,50 ^A	-	-	27,51
Ca	6,10 ^A	7,25 ^A	6,88 ^A	5,00 ^B	5,01 ^b	6,99 ^a	14,99
Mg	3,17 ^A	3,19 ^A	2,53 ^B	2,74 ^B	-	-	17,26
S	2,06 ^B	2,24 ^B	3,09 ^A	3,12 ^A	2,88 ^b	3,62 ^a	26,59

por Borges *et al.* (1998). A compactação pode influenciar o processo de nodulação da soja pelas bactérias fixadoras de nitrogênio conforme pode ser visualizado no trabalho de Valadão *et al.* (2015) quando avaliaram o sistema radicular da soja sob influência da compactação e adubação fosfatada no mesmo tipo de solo o que pode ter provocado suprimento inadequado de N para a planta.

Valadão *et al.* (2015) encontraram que com o tráfego de tratores em um Latossolo Vermelho de textura argilosa a compactação teve maior intensidade na camada de 0 a 10 m. Sabe-se que a maior parte da atuação dos microrganismos do solo acontece na camada superficial devido a presença de matéria orgânica, ou seja, a camada que a compactação mais ocorre é a mesma onde os microrganismos agem. Dessa forma, com a reduzida oxigenação ocorrida nessa camada pode haver limitações para o desenvolvimento de bactérias responsáveis pela fixação biológica de nitrogênio que são organismos aeróbicos e fornecem grande parte do nitrogênio absorvido pela soja (Hungria, 2001).

Pires *et al.* (2002) encontraram que raízes de soja em condições anaeróbicas apresentaram mudanças anatômico-morfológicas para se adaptarem ao ambiente de hipoxia com o surgimento de aerênquimas na sua estrutura. Houve morte da raiz principal, crescimento de raízes laterais, surgimento de raízes adventícias e redução dos teores de nutrientes nas folhas, especificamente redução de 11,63% nos teores de nitrogênio foliar.

Por outro lado, Bingham *et al.* (2010), observaram redução na absorção de N pela cevada na densidade de 1,1 Mg m⁻³; contudo, quando se aumentou a dose de N este efeito desapareceu, evidenciando

que em solos compactados, maiores doses de N tendem a ser utilizadas para manter elevada a produtividade da cultura e que a compactação reduz a eficiência das adubações.

A compactação a partir de quatro passadas de trator aumentou 17% os teores de K na soja independente da adubação fosfatada (Quadro 3). Isso provavelmente tenha ocorrido pela maior aproximação entre as partículas do solo sob compactação, proporcionando menor lixiviação de K e maior aproveitamento pelas culturas. Efeito semelhante em relação ao teor de K em solo compactado foi encontrado por Alves *et al.* (2003) em feijoeiro e Corrêa *et al.* (2001) em cana-de-açúcar. Os teores de K esteve dentro dos limites considerados adequados entre 17 e 25 g kg⁻¹ (Malavolta *et al.*, 1997). Já, Cabral *et al.* (2012) onde verificaram redução de 61% na concentração foliar de K em capim-mombaça e capim-piatã da menor para a maior compactação, sendo que, a partir da densidade de 1,4 Mg ha⁻¹ as concentrações foliares demonstram deficiência desse nutriente.

A maior compactação (PT8) reduziu 18 e 14% os teores de Ca e Mg na soja em relação a PT0 (Quadro 3). Souza *et al.* (2012) também verificaram redução dos teores de Ca e Mg cultura da soja em função da compactação. Apesar disso, em todos os tratamentos os teores de Ca e Mg foram considerados adequados, estando entre os limites de 4,0 a 20 g kg⁻¹ e 3,0 a 10 g kg⁻¹, respectivamente (Malavolta *et al.*, 1997).

Por outro lado, a compactação aumentou 51% os teores de S da parte aérea da soja comparando o sistema PT8 com PT0 (Quadro 3). A exemplo do que ocorreu com o K, a compactação pode ter

aumentado a retenção de S no solo evitando perdas por lixiviação e culminado no maior teor na soja, como verificado por Alves *et al.* (2003). Apenas os tratamentos mais compactados (PT4 e PT8) tiveram os teores classificados como adequados para a soja, acima de 2,5 g kg⁻¹ (Malavolta *et al.*, 1997).

Quanto a adubação fosfatada, quando fornecida no sulco proporcionou maior teor de Ca e S (Quadro 3), isto porque esta forma de adubação provocou maior desenvolvimento radicular da soja (Valadão *et al.*, 2015), por consequência, favoreceu a manutenção dos nutrientes na parte aérea.

Os teores de Mg foram favorecidos pelas doses de P (Figura 4). Esta relação positiva entre adubação fosfatada e Mg também foi verificada por Nakagawa e Rosolem (2005) em aveia-preta. A dose de P₂O₅ que proporcionou o maior teor de Mg na soja foi de 150 kg ha⁻¹ já que o modelo que mais se adequou ao ajuste foi o linear correspondendo ao teor de 3,92 g kg⁻¹.

O Mg tem papel fundamental na absorção de P pela planta, pois age como carregador participando de ativação de ATPases da membrana (Malavolta *et al.*, 1997), entretanto, o inverso ainda não tem sido explicado e os resultados obtidos neste trabalho confirmam uma possível interação benéfica entre ambos elementos. Deve ser destacado que a adubação fosfatada atua no crescimento radicular, desta forma, pode indiretamente aumentar a absorção de outros elementos (Crusciol *et al.*, 2005; Nakagawa e Rosolem, 2005).

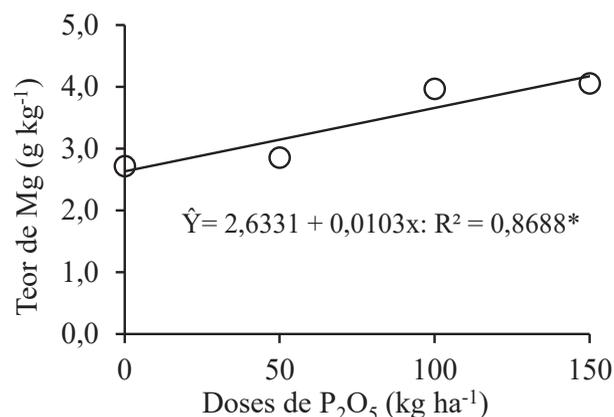


Figura 4 - Teor de Mg na parte aérea da soja em função da adubação fosfatada, Campo Novo do Parecis-MT, 2013. *Equação significativas pelo teste F ($p < 0,05$).

De forma geral, sob compactação, há redução da macroporosidade e porosidade total do solo e aumento da resistência do solo à penetração o que provoca redução e modificação do sistema radicular (Valadão *et al.*, 2015) e diminuição da taxa de infiltração e o fluxo de água no solo (Zambrana *et al.*, 2010), afetando o contato íon-raiz. Assim, tanto os nutrientes absorvidos por fluxo de massa, como N, Ca e Mg, como os absorvidos por difusão, como P, podem ter a sua absorção diminuída (Alves *et al.*, 2003; Cabral *et al.*, 2012).

A interação entre compactação e formas de adubação afetou o estabelecimento populacional, crescimento aéreo e componentes de produção da soja (Quadro 4). A interação entre formas de adubação e doses de P₂O₅ influenciou a altura de plantas (H), número de vagens por planta (NVP), massa de cem grãos (MCG) e produtividade de grãos (Figura 5).

Verifica-se que o tráfego reduziu a população de plantas inicial e final, ou seja, a compactação influenciou na emergência da soja e na sobrevivência das plantas durante o período de cultivo, tanto na adubação no sulco quanto a lanço (Quadro 4). Embora tenha havido redução do estande no sistema adubado no sulco de semeadura a partir de PT2, houve maior estabelecimento da cultura neste sistema de adubação, pois, se observou maior população quando comparado com a adubação a lanço, efeito esse observado em PT8.

A redução da população pela compactação provavelmente ocorreu devido à irregularidade de chuvas ocorrida durante o ciclo da cultura. Conforme comentado, a compactação pode aumentar a retenção de água, mas, com reduzida precipitação pluviométrica pode ocorrer a secagem mais rápida da superfície do solo e aumento da RSP nas camadas mais profundas, impedindo que as plântulas penetrem as radículas e absorvam a água retida nestas camadas.

Para H, MS, NVP, NGV e MCG não houve influência da compactação quando a adubação foi fornecida no sulco de semeadura, porém, quando a aplicação foi feita a lanço, a compactação reduziu estes componentes (Quadro 4). Verifica-se que na adubação a lanço no sistema mais compactado (PT8) houve redução de aproximadamente 13% na no acúmulo de massa pelos grãos (Quadro 4).

Quadro 4 - Estande inicial e final, altura, massa seca e componentes de produção da soja em função do número de passadas de trator e formas de adubação fosfatada, Campo Novo do Parecis-MT, 2013

Adubação	PT0	PT2	PT4	PT8	CV(%)
Estande inicial (plantas ha ⁻¹)					
Lanço	248.365 ^{Aa}	242.374 ^{Aa}	230.760 ^{Bb}	226.758 ^{Bb}	6,05
Sulco	256.971 ^{Aa}	246.949 ^{Ba}	241.394 ^{Ba}	237.690 ^{Ba}	
Estande final (plantas ha ⁻¹)					
Lanço	224.691 ^{Ab}	218.209 ^{Aa}	215.432 ^{Aa}	206.790 ^{Bb}	16,09
Sulco	238.271 ^{Aa}	219.135 ^{Ba}	217.283 ^{Ba}	215.123 ^{Ba}	
Altura de planta (m)					
Lanço	0,4438 ^{Aa}	0,3953 ^{Bb}	0,3903 ^{Bb}	0,3894 ^{Bb}	3,76
Sulco	0,4558 ^{Aa}	0,4526 ^{Aa}	0,4497 ^{Aa}	0,4450 ^{Aa}	
Massa seca (g planta ⁻¹)					
Lanço	19,09 ^{Aa}	16,79 ^{Ab}	14,48 ^{Bb}	14,32 ^{Ba}	5,69
Sulco	19,93 ^{Aa}	19,84 ^{Aa}	18,90 ^{Aa}	16,50 ^{Aa}	
Número de vagens por planta					
Lanço	46,90 ^{Aa}	37,45 ^{Bb}	37,06 ^{Bb}	30,18 ^{Bb}	16,37
Sulco	48,00 ^{Aa}	45,52 ^{Aa}	43,79 ^{Aa}	42,01 ^{Aa}	
Número de grãos por vagem					
Lanço	2,68 ^{Aa}	2,64 ^{Aa}	2,47 ^{Aa}	2,00 ^{Ba}	18,37
Sulco	2,74 ^{Aa}	2,50 ^{Aa}	2,48 ^{Aa}	2,34 ^{Aa}	
Massa de cem grãos (g)					
Lanço	20,06 ^{Aa}	19,17 ^{Aa}	18,99 ^{Aa}	17,47 ^{Bb}	2,35
Sulco	20,52 ^{Aa}	19,68 ^{Aa}	19,20 ^{Aa}	19,18 ^{Aa}	
Produtividade (kg ha ⁻¹)					
Lanço	3.979,94 ^{Aa}	3.333,29 ^{Bb}	3.192,75 ^{Bb}	2.770,33 ^{Cb}	14,07
Sulco	4.113,76 ^{Aa}	3.988,12 ^{Aa}	3.463,76 ^{Ba}	3.479,79 ^{Ba}	

*Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p>0,05$). Letras maiúsculas comparam compactação em cada forma de adubação e letras minúsculas comparam formas de adubação em cada nível de compactação. PT0, PT2, PT4, PT8 = zero, duas, quatro e oito passadas de trator, respectivamente. CV: coeficiente de variação

Quanto à produtividade, em PT0, não foi verificado efeito da forma de adubação, entretanto, na medida em que os atributos físicos do solo foram alterados, a adubação no sulco de semeadura proporcionou maior produtividade em relação à aplicação a lanço. Com duas passadas de trator, houve redução de 16% da produtividade da soja na adubação a lanço, enquanto no sulco essa proporção na redução da produtividade só foi verificada a partir de PT4. Em PT8, a redução de produtividade de grãos foi de 30 e 15% no sistema adubado a lanço e no sulco, respectivamente, em relação a PT0. Essa redução pode ser explicada pela produção de grãos mais leves nos sistemas mais compactados e adubados a lanço.

A redução provocada pela compactação na adubação no sulco foi devida a redução da população de plantas inicial e final, que consequentemente, afetou o número de grãos total produzido. Já nos tratamentos adubados a lanço, a redução de

produtividade foi proporcionada não somente pela redução da população de plantas, mas também por alterações nos componentes de produção que foram afetados pela compactação. Dessa forma, pode-se inferir que a adubação a lanço acentuou os efeitos negativos da compactação sobre a produtividade da soja.

Em relação às doses de P_2O_5 , tanto na adubação a lanço quanto no sulco, houve aumento linear na produtividade da soja (Figura 5). Nas menores doses não houve diferença entre as formas de adubação, mas, na dose de $150 \text{ kg ha}^{-1} P_2O_5$, a adubação no sulco proporcionou maior produtividade de grãos. O aumento linear na produtividade de grãos com o aumento de P_2O_5 é desejável principalmente ao considerar as condições físicas do solo inadequadas para absorção de água e nutrientes. Assim a adubação fosfatada pode amenizar os efeitos da compactação (Santos *et al.*, 2005; Ribeiro *et al.*, 2010).

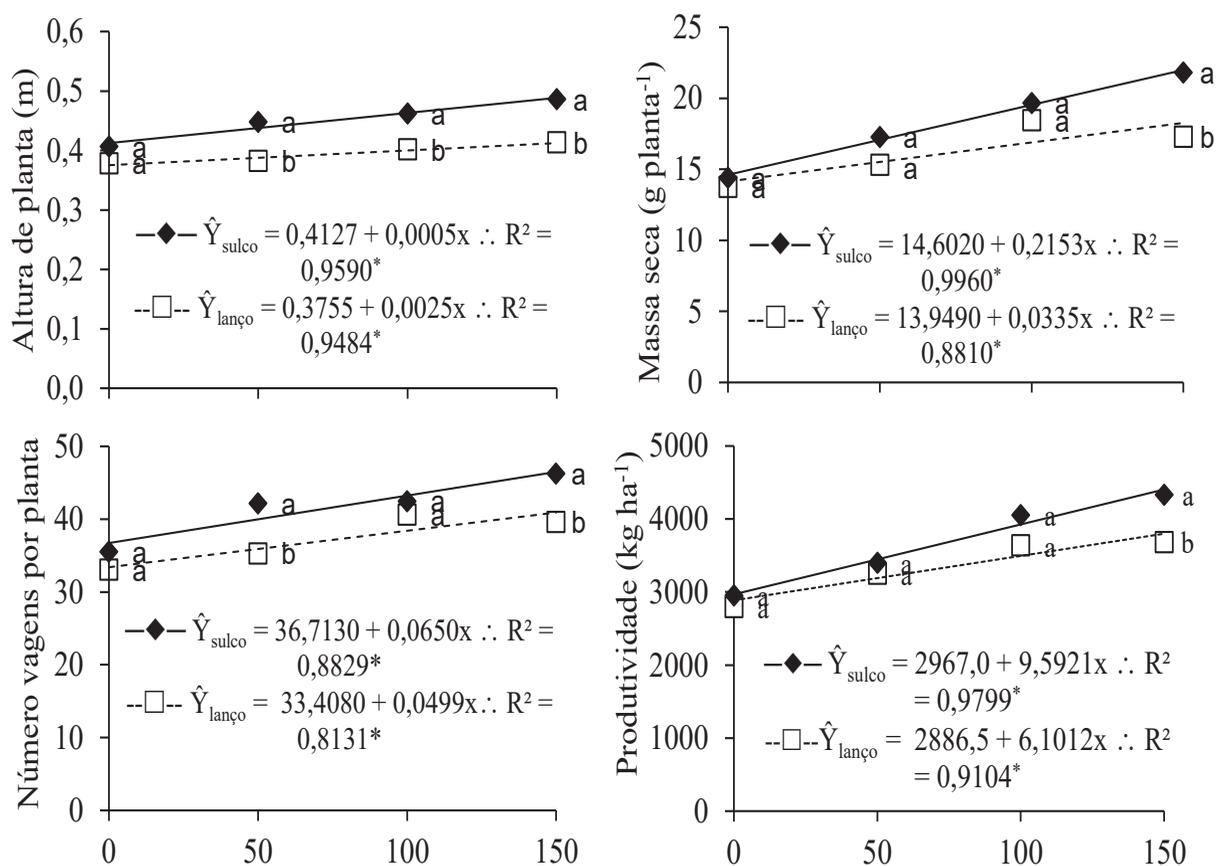


Figura 5 - Altura, massa seca da parte aérea, número de vagens por planta e produtividade da soja em função da adubação fosfatada, Campo Novo do Parecis-MT, 2013. *Equações significativas pelo teste F ($p < 0,05$). Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p > 0,05$). Letras minúsculas comparam formas de adubação em cada dose de P_2O_5 .

Por outro lado, esse aumento linear indica que mesmo a dose aplicada neste estudo ser 400% maior em relação ao recomendado para a cultura (30 kg ha^{-1} de P_2O_5), considerando teor de P inicialmente alto no solo (Sousa e Lobato, 2004), não foi suficiente para atingir a máxima produtividade de grãos, mesmo nas áreas não compactadas, dada a maior exigência nutricional dos cultivares modernos que possuem potencial produtivo elevado. Assim, pode-se inferir que a cultivar utilizada é sensível à limitação física e química do solo.

O efeito da compactação e da forma de adubação na cultura da soja deve-se principalmente à deficiência hídrica sofrida pela cultura durante o ciclo de desenvolvimento. No período experimental houve grande oscilação de precipitação o que contribuiu

para manifestação dos resultados na absorção de nutrientes e produtividade das culturas. Com a limitação do crescimento radicular (Valadão *et al.*, 2015), provavelmente houve restrição na absorção de água afetando as características avaliadas, uma vez que as respostas das plantas à compactação são maiores em condições de deficiência hídrica, pela maior resistência do solo a penetração nesta situação (Beutler e Centurion, 2004).

Beutler e Centurion (2004) encontraram que a RSP de $0,85 \text{ MPa}$ (umidade na capacidade de campo) em Latossolo Vermelho argiloso é crítica para a produtividade da soja. Neste trabalho, as áreas que receberam compactação adicional com duas ou mais passadas de trator tiveram RSP maiores que a exposta por aqueles autores (Quadro 1), com significativa redução de produtividade da soja.

Verifica-se que mesmo a RSP estando abaixo de 2,0 MPa (Quadro 1), considerada crítica para a maioria das culturas (Taylor *et al.*, 1966), resultou em limitações da produtividade de grãos. Isso por que, nos sistemas mais compactados houve redução da macroporosidade e da porosidade total do solo chegando a $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de macroporosidade. Esse valor é menor que os $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ considerado o limite inferior para adequada aeração no solo e crescimento radicular (Pagliari *et al.*, 2003), resultando em menor absorção de nutrientes e produtividade. Dessa forma, fica evidente que sob algum estresse hídrico, a compactação pode ter efeito negativo sobre os rendimentos de grãos da soja e isto pode ser acentuado com a adubação fosfatada a lanço, uma vez que nessa condição a redução da produtividade foi maior.

Prado *et al.* (2001) em Latossolo Vermelho argiloso, não encontraram efeito das doses de P aplicadas à lanço na produtividade de milho. Contudo, quando a aplicação foi no sulco de semeadura, o aumento da dose de P ocasionou aumento linear da produtividade e explicaram que na aplicação a lanço, há maior contato entre as partículas de solo e o adubo fosfatado, que quando apresenta alta solubilidade em água, proporciona maior sorção de P nos colóides organo-minerais e menor disponibilidade em solução. Conforme observado pelos mesmos autores, na adubação a lanço necessitaria de maior quantidade de adubo para proporcionar a mesma eficiência da adubação no sulco de semeadura.

Contudo, sob maior disponibilidade hídrica e boa disponibilidade de P anterior à adubação, pode não ocorrer diferença entre a adubação no sulco e a adubação a lanço quanto à produtividade de grãos (Pavinato e Ceretta, 2004). A resposta das culturas à forma de adubação também está relacionada com a capacidade adsortiva do solo, para solos mais arenosos e com baixa retenção de P é possível que

não haja diferença entre as formas de adubação em semeadura direta (Prado *et al.*, 2001).

De forma geral, apesar de não serem verificados sintomas visuais de deficiência de nutrientes nos tratamentos sob compactação, o menor teor dos macronutrientes na parte aérea da soja resultou possivelmente em menor redistribuição para os grãos e conseqüente, redução da produtividade. Assim, em sistemas compactados qualquer prática que aumente a eficiência das adubações deve ser priorizada. Portanto, práticas como a adubação fosfatada e aplicação localizada no sulco podem melhorar a absorção de nutrientes e culminar em maior produtividade amenizando o efeito da compactação.

CONCLUSÕES

A compactação, a forma de adubação e as doses de P_2O_5 influenciaram a disponibilidade de P no solo e a absorção do elemento pela planta, sendo que nos sistemas mais compactados adubados a lanço os teores de P na soja ficaram abaixo dos limites considerados adequados.

A compactação reduziu os teores N, P, Ca e Mg e aumentou ou teores de K e S;

As doses de P_2O_5 aumentaram os teores de Mg da parte aérea da soja.

A adubação a lanço em áreas compactadas reduziu a eficiência da adubação fosfatada com redução da produtividade de grãos da soja.

AGRADECIMENTO

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Mato Grosso-FAPEMAT pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, V.G.; Andrade, M.J.B.; Corrêa, J.B.M.; Moraes, A.R. e Silva, V.S. (2003) – Concentração de macronutrientes na parte aérea do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em função da compactação e classes de solos. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 27, n. 1, p.44-53. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542003000100005>
- Bergamin, A.C.; Vitorino, A.C.T.; Franchini, J.C.; Souza, C.M.A. e Souza, F.R. (2010) – Compactação em um Latossolo Vermelho distroférrico e suas relações com o crescimento radicular do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 34, n. 3, p. 681-691. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300009>
- Beutler, A.N. e Centurion, J.F. (2004) – Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 39, n. 6, p. 581-588.
- Binghan, I.J.; Bengough, A.G. e Rees, R.M. (2010) – Soil compaction – N interactions in barley: Root growth and tissue composition. *Soil and Tillage Research*, vol. 106, n. 2, p. 241-246. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2009.10.008>
- Borges, E.N.; Lombardi Neto, F.; Corrêa, G.F.; Borges, E.V.S. e Costa, L.M. (1998) – Acúmulo de N e P na parte aérea da soja após compactação superficial e aplicação de gesso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 22, n. 1, p. 127-133. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831999000100016>
- Cabral, C.E.A.; Bonfim-Silva, E.; Bonelli, E.A.; Silva, T.J.A.; Cabral, C.H.A. e Scaramuzza, W.L.M.P. (2012) – Compactação do solo e macronutrientes primários na *Brachiaria brizantha* cv. Piatã e *Panicum maximum* cv. Mombaça. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, vol. 16, n. 4, p. 362-367. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000400005>
- Corrêa, J.B.D.; Andrade, L.A.; Dias Junior, M.S. e Alves, V.G. (2001) – Influência da compactação na concentração de nutrientes da parte aérea da cana-de-açúcar, em três tipos de solos. *Revista STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos*, vol. 19, p. 34-37.
- Crusciol, C.A.C.; Mauad, M.; Alvarez, R.C.F.A.; Lima, E.V. e Tiritan, C.S. (2005) – Doses de fósforo e crescimento radicular de cultivares de arroz de terras altas. *Bragantia*, vol. 64, n. 4, p. 643-649. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052005000400014>
- Dias Júnior, M.S. e Estanislau, W.T. (1999) – Grau de compactação e retenção de água de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 23, n. 1, p. 45-51. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831999000100006>
- Embrapa (1997) – *Manual de métodos análises de solo*. 2.^a ed, Rio de Janeiro, 212 p.
- Embrapa (2013) – *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3.^a ed. Rio de Janeiro, 306 p.
- Hungria, M.; Campo, R.J. e Mendes, I.C. (2001) – *Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja*. Londrina, Embrapa Soja, 48 p.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A (1997) – *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2.^a ed. Piracicaba, POTAFÓS, 319 p.
- Miransari, M.; Bahrami, H.A; Rejali, F. e Malakouti, M.J. (2009) – Effects of soil compaction and arbuscular mycorrhiza on corn (*Zea mays* L.) nutrient uptake. *Soil and Tillage Research*, vol. 103, n. 2, p. 282-290. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2008.10.015>
- Mortele, L.M.; Santos, R.F.; Brassini, A.L.; Scapim, C.A. e Lana, M.C. (2009) – Influência da adubação com fósforo e potássio na emergência das plântulas e produtividade da cultura da soja. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 40, n. 2, p. 256-265.
- Nakagawa, J. e Rosolem, C.A. (2005) – Teores de nutrientes na folha e nos grãos de aveia-preta em função da adubação com fósforo e potássio. *Bragantia*, vol. 64, n. 3, p. 441-445. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052005000300014>
- Pagliai, M.; Marsili, A.; Servadio, P.; Vignozzi, N. e Pellegrini, S. (2003) – Changes in some physical properties of a clay soil in Central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. *Soil and Tillage Research*, vol. 73, n. 1-2, p. 119-129. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00105-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00105-3)
- Pavinato, P.S. e Ceretta, C.A. (2004) – Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação. *Ciência Rural*, vol. 34, n. 6, p. 1779-1784. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782004000600017>
- Pires, J.L.F.; Soprano, E. e Cassol, B. (2002) – Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 37, n. 1, p. 41-50. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000100006>
- Prado, R.M.; Fernandes, F.M. e Roque, C.G. (2001) – Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo em adubação de manutenção. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 25, n. 1, p. 83-90. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832001000100009>

- Ribeiro, M.A.V.; Novais, R.F.; Faquin, V.; Ferreira, M.M.; Furtini Neto, A.E.; Lima, J.M. e Villani, E.M.A. (2010) – Resposta da soja e do eucalipto ao aumento da densidade do solo e a doses de fósforo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 34, n. 6, p. 1157-1164. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000400015>
- Schlindwein, J.A. e Anghinoni, I. (2000) – Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. *Ciência Rural*, vol. 30, n. 4, p. 611-617. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782000000400009>
- Santos, G.A.; Dias Júnior, M.S.; Guimarães, P.T.G. e Furtini Neto, A.E. (2005) – Diferentes graus de compactação e fornecimento de fósforo influenciando no crescimento de plantas de milho (*Zea mays*) cultivadas em solos distintos. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 29, n. 4, p. 740-752. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542005000400005>
- Silva, S.R.; Barros, N.F. e Souza, C.M. (2008) – Fluxo difusivo de fósforo e zinco influenciado pela compactação de dois Latossolos. *Revista Ceres*, vol. 55, n. 6, p. 619-624.
- Silva, A.J.; Uchôa, S.C.P.; Alves, J.M.A.; Lima, A.C.S.; Santos, C.S.B.; Oliveira, J.A.F. e Melo, V.F. (2010) – Resposta do feijão-caupi às doses e formas de aplicação de fósforo em Latossolo Amarelo do Estado de Roraima. *Acta Amazônica*, vol. 40, n. 1, p. 31-36. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672010000100004>
- Souza, M.A.; Faquin, V.; Guelfi, D.R.; Oliveira, G.C. e Bastos, C.E. (2012) – Acúmulo de macronutrientes na soja influenciado pelo cultivo prévio do capim-marandu, correção e compactação do solo. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 43, n. 4, p. 611-622.
- Souza, D.M.G. e Lobato, E. (2004) – *Cerrado: correção do solo e adubação*. 2.^a ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 416 p.
- Taylor, H.M.; Roberson, G.M. e Parker Júnior, J.J. (1966) – Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. *Soil Science*, vol. 102, n. 1, p.18-22. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-196607000-00002>
- Valadão, F.C.A.; Weber, O.L.S.; Valadão Junior, D.D.; Scapinelli, A. e Deina, F.R.; Bianchini, A. (2015) – Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 39, n. 1, p. 243-255. <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcs20150144>
- Viana, E.T.; Batista, M.A.; Tormena, C.A.; Costa, A.C.S. e Inoue, T.T. (2011) – Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 35, n. 6, p. 2105-2114. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000600025>
- Zambrana, M.O.D.; Ruiz, H.A.; Silva, T.C.A.; Neves, C.L.N.; Corrêa, G.F. e Eraso, M.H. (2010) – A compactação de três materiais de solo, na redução da condutividade hidráulica, porosidade do solo e matéria seca de raiz nas culturas de soja e caupi. *Revista de Agronomia*, vol. 27, n. 1, p. 74-84.