

Produtividade de grãos de trigo e de soja em função do estado de compactação de um Latossolo Vermelho

ARAÚJO, K.¹; ZINA, I.¹; AGASSI, V.¹; MORAES, M. T.²; DEBIASI, H.³; FRANCHINI, J. C.³; BALBINOT JR. A. A.³ | ¹ UNOPAR – Universidade Norte do Paraná; ²Universidade Federal do Rio Grande do Sul; ³Embrapa Soja.

Introdução

Pesquisas têm demonstrado que, no sistema plantio direto (SPD), ocorre a formação de uma camada de solo caracterizada por um maior grau de compactação, localizada, geralmente, entre 10 e 20 cm de profundidade (FRANCHINI et al., 2011). Além de aumentar a resistência do solo à penetração das raízes (CAVALIERI et al., 2006), o que limita a profundidade e o volume de solo explorado pelas raízes em busca de água e nutrientes (BERGAMIN et al., 2010), a compactação do solo reduz a porosidade total, a macroporosidade, a capacidade de infiltração de água, a aeração e a condutividade hidráulica (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996). Essas modificações podem diminuir a produtividade das culturas, entre elas a soja (*Glycine max* L. Merrill) e o trigo (*Triticum aestivum* L.), especialmente em anos secos e/ou com excesso de chuvas (TORRES; SARAIVA, 1999), bem como pode aumentar as perdas de

nutrientes, as emissões de gases causadores do efeito estufa e a poluição dos recursos hídricos, além de alterar o ciclo hidrológico (LIPIEC et al., 2003). Adicionalmente, aumentos na incidência e severidade de doenças radiculares causadas por fungos como *Macrophomina phaseolina*, *Fusarium* sp., *Sclerotium rolfsii*, *Phytophthora sojae* e *Rhizoctonia solani* têm sido relacionados à existência de camadas compactadas de solo (TORRES et al., 2010).

Existem diversos indicadores do estado de compactação do solo, sendo a resistência mecânica do solo à penetração (RP), a macroporosidade e a densidade do solo os mais utilizados. A determinação de níveis críticos para estes indicadores, acima ou abaixo dos quais o estado de compactação é considerado limitante ao desenvolvimento das culturas, tem sido objeto de várias pesquisas, conforme relatado por Reichert et al. (2007). No entanto, a maioria destes estudos foi realizada em uma época em que os sistemas de produção, o manejo das culturas, o potencial produtivo e o ciclo das cultivares de soja e de trigo eram diferentes em comparação aos dias atuais. Assim, a resposta da soja e do trigo à compactação do solo pode ter sido modificada, sendo necessários novos estudos buscando detectar níveis críticos dos indicadores de qualidade física do solo.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do estado de compactação do solo na produtividade de grãos da soja e do trigo, buscando a determinação dos limites críticos de indicadores de qualidade física do solo.

Material e métodos

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental da Embrapa Soja, em Londrina/PR, (23° 12' S, 51° 11' W e 585 m de altitude) sobre um Latossolo Vermelho Distroférrico (784 g kg⁻¹ de argila na camada de 1-30 cm de profundidade). O clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido mesotérmico, segundo a classificação de Köppen, com médias anuais de 20°C de temperatura e de 1340 mm de precipitação pluviométrica. Entre os anos de 1991 e 2009, a área foi manejada em SPD,

com a rotação soja/milho (*Zea mays* L.) no verão e trigo/aveia (*Avena strigosa* Schreb.) no inverno. De 2010 a 2012, a área foi mantida sob cobertura de *Urochloa ruziziensis* (sem pastejo), que foi dessecada aos 90 dias e aos 20 dias antes da aplicação dos tratamentos, com a utilização do herbicida glifosato nas doses de 1.800 e 1.080 g e.a ha⁻¹.

A implantação do experimento foi realizada em fevereiro de 2013, seguindo o delineamento experimental de blocos completos casualizados com 12 repetições. Os tratamentos (parcelas de 5 m x 15 m) consistiram de quatro estados de compactação (EC) estabelecidos por diferentes intensidades de tráfego e mobilização do solo: EC1 = sistema plantio direto (SPD) com mobilização de solo por meio de um escarificador de 5 hastes espaçadas 35 cm entre si, equipado com rolo destorroador e ponteiros com 8 cm, sendo a profundidade média de escarificação equivalente a 25 cm; EC2 = SPD sem compactação adicional e sem escarificação; EC3 = SPD com compactação adicional por 4 passadas de um trator CBT 4 x 2 TDA, modelo 8060, equipado com estrutura para pá/concha na dianteira, pneus dianteiros 14.9-24 R1 e traseiros 18.4-34 R1, completo em lastros (metálicos e líquido nos pneus), com massa total de 7,2 Mg; e EC4 = SPD com compactação adicional por 8 passadas de uma colhedora SLC 6200 com o depósito de grãos vazio, equipada com plataforma de colheita de milho (4 linhas), pneus dianteiros 18.4-30 R1 e traseiros 9.00-16, com massa total de 9,5 Mg. No momento da realização dos tráfegos, o solo se encontrava na capacidade de campo (conteúdo de água do solo na camada de 0-20 cm de 0,33 g g⁻¹). A escarificação foi realizada quatro dias depois, quando o solo se encontrava em sua consistência friável (conteúdo de água de 0,29 g g⁻¹, na camada de 0-20 cm).

A semeadura do trigo (cultivar BRS Pardela) foi realizada em 06/05/2013, por meio de uma semeadora-adubadora equipada com sulcadores de adubo e semente do tipo disco defasado, dosadores de adubo do tipo roda dentada e de sementes do tipo rotor acanalado. A semeadura foi regulada de forma a se obter uma população de 250 plantas m⁻², com um espaçamento entrelinha de 17 cm, sendo as sementes distribuídas a uma profundidade média de 3 cm. A adubação de base

consistiu da aplicação de 260 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O 8-20-20 na linha de semeadura. Aos 35 dias após a semeadura da cultura, foram aplicados 40 kg ha⁻¹ de N em cobertura, a lanço, na forma de sulfato de amônio. A soja (cultivar BRS-359RR) foi semeada no dia 10/10/2013, empregando-se uma semeadora-adubadora equipada com sulcadores de adubo e semente do tipo haste e disco duplo desencontrado, respectivamente, dosadores de adubo do tipo rosca sem fim (Fertisystem), e de sementes do tipo disco perfurado vertical a vácuo. A semeadora foi regulada visando à obtenção de uma população de 300 mil plantas ha⁻¹, com um espaçamento de 45 cm entrelinhas. A profundidade média de semeadura foi de 5 cm, e a haste sulcadora foi regulada para depositar o fertilizante (N-P₂O₅-K₂O 0-20-20, 270 kg ha⁻¹) a uma profundidade média de 10 cm. Os tratos culturais foram realizados de acordo com as indicações técnicas para o trigo e a soja na região.

Na segunda quinzena de abril de 2013, amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas em três camadas do solo (0-10; 10-20; e 20-30 cm), usando anéis de aço inox com volume de 100 cm³ (5 cm de altura e 5 cm de diâmetro interno). Os anéis foram inseridos verticalmente no solo por meio de um dispositivo amostrador acoplado ao uma camionete. Foram coletados dois anéis por parcela e camada, totalizando 288 amostras. Em laboratório, as amostras foram utilizadas para a determinação da densidade do solo, da porosidade total, macroporosidade e microporosidade, conforme metodologias descritas em EMBRAPA (1997). A RP foi determinada na segunda quinzena de setembro de 2013, no período entre a colheita do trigo e a semeadura da soja, por meio de um penetrômetro digital marca Falker, equipado com cone de 130 mm² de área de base e 30° de ângulo em relação à vertical. Foram realizadas 10 leituras espaçadas 15 cm entre si, sobre um transecto às linhas de semeadura do trigo, em 6 das 12 parcelas que compõe as repetições de cada tratamento. Os dados de RP foram medidos na profundidade de 0 a 30 cm, com resolução de 1 cm, sendo calculados os valores médios nas camadas de 0-10, 10-20, e 20-30 cm. Adicionalmente, no momento da determinação da RP, foram coletadas amostras deformadas de solo para avaliação do conteúdo de água do solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm por meio de trado. A produtivi-

dade de grãos do trigo e da soja foi determinada por meio da colheita mecânica de 12 m das 14 e 6 linhas centrais, respectivamente. A área útil da parcela para avaliação da produtividade do trigo e da soja foi de 28,56 m² e 32,4 m², respectivamente. Após a colheita, os grãos foram limpos, pesados e os valores corrigidos para 13% de umidade.

Os dados foram submetidos à análise da variância (ANOVA, Teste F, $p \leq 0,05$). No caso dos atributos físicos do solo, a ANOVA foi realizada em separado para cada camada avaliada. Em havendo efeito significativo dos estados de compactação, a comparação entre as médias dos tratamentos foi realizada por meio do teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Tanto a ANOVA quanto o teste de médias foram realizados com o auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008). A relação entre os atributos físicos de solo e a produtividade de grãos de trigo e soja foi determinada por meio de análise de regressão, utilizando o programa Sigmaplot® 9.0 (Systat software, Inc.).

Resultados e discussão

Não houve diferenças significativas no conteúdo de água do solo no momento da determinação da RP, em todas as camadas avaliadas. Em média, o conteúdo médio de água no momento da determinação da RP foi 0,32 g g⁻¹ em todas as camadas avaliadas, o qual corresponde à capacidade de campo deste Latossolo. Os valores de densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e RP indicam que o grau de compactação do solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm aumentou proporcionalmente com incremento da intensidade do tráfego (Tabela 1), conforme já relatado por MORAES et al. (2013). Por outro lado, a escarificação do solo no tratamento EC1 resultou no menor grau de compactação do solo nestas camadas. Na camada de 20-30 cm, as diferenças entre os tratamentos foram menores e, de modo geral, revelaram um maior grau de compactação nos tratamentos com compactação adicional pelo tráfego de trator (EC3) e colhedora (EC4) em relação ao SPD escarificado (EC1) e ao SPD sem tráfego e escarificação (EC2), os quais não diferiram significativamente entre si. Isso demonstra que o efeito do tráfego tanto da colhedora quanto do trator

alterou a qualidade física do solo até, pelo menos, 30 cm de profundidade. Os resultados comprovam a existência de diferenças na qualidade física do solo entre os diferentes estados de compactação do solo, principalmente nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, o que é pré-requisito para estudos visando o estabelecimento de limites críticos para atributos físicos do solo. Além disso, os dados da Tabela 1 indicam que os indicadores com maior sensibilidade aos diferentes estados de compactação do solo foram, em ordem, macroporosidade, RP e densidade do solo, concordando com Debiasi e Franchini (2012). Cabe salientar ainda que a sensibilidade da RP tende a ser maior caso a mesma seja avaliada em condição de solo mais seco (MORAES et al., 2013).

A produtividade de grãos de trigo não foi influenciada pelos tratamentos (Tabela 2). Dessa forma, não houve correlação significativa entre a produtividade do trigo e os atributos físicos avaliados nas três camadas de solo. Resultados similares foram obtidos por Collares et al. (2008) que, em trabalho conduzido sobre um Latossolo Vermelho argiloso (607 g kg⁻¹ de argila), concluíram que a produtividade do trigo não foi significativamente alterada tanto pelo compactação por quatro passadas de uma pá carregadeira com 16,6 Mg de massa total, quanto pela escarificação, em relação ao tratamento sem compactação e sem escarificação. Entretanto, reduções significativas da produtividade de grãos de trigo em função do aumento do estado de compactação do solo foram detectadas nos estudos conduzidos por Silva (2003) e Secco et al. (2004). É provável que a falta de resposta da produtividade do trigo ao aumento do estado de compactação do solo esteja associada à adequada disponibilidade hídrica durante o ciclo da cultura, conforme verificado por Torres e Saraiva (1999). Cabe ainda salientar que a produtividade do trigo não foi beneficiada pela realização de escarificação no SPD, concordando com Franchini et al. (2012).

Por outro lado, a produtividade de grãos da soja variou significativamente em função dos estados de compactação (Tabela 2). Os resultados demonstram que o tratamento com maior compactação (EC4) resultou na menor produtividade de grãos da soja, sem diferir, no entanto, do tratamento escarificado (EC1). Reduções da produtividade

de grãos da soja em função do aumento do estado de compactação do solo foram observadas em outros estudos (BEUTLER et al., 2005; SUZUKI et al., 2007; BEUTLER et al., 2008), e estão provavelmente relacionadas à redução da disponibilidade hídrica pela menor infiltração de água e pela restrição ao desenvolvimento radicular da cultura. Dentro os atributos físicos estudados, o único que foi significativamente correlacionado com a produtividade de grãos da soja foi a RP na camada de 0-20 cm (Figura 1). A produtividade de grãos da soja variou de forma quadrática em função do aumento da RP (Figura 1), demonstrando que um grau de compactação muito baixo (resultado da escarificação) ou muito alto (resultado do tráfego de máquinas) reduziu o potencial produtivo da cultura. Beutler et al. (2005) também obtiveram resposta quadrática da produtividade de grãos da soja ao aumento do grau de compactação do solo, em Latossolos de textura média e argilosa. A equação da Figura 2 indica que a máxima produtividade de grãos da soja ocorre com uma RP de 1477 kPa (camada de 0-20 cm), determinada com o solo na capacidade de campo. No entanto, reduções de 10% e de 40% em relação à máxima produtividade de grãos da soja ocorrem a partir de valores de RP de 2,5 MPa e 3,5 MPa, respectivamente. Isso indica que os limites críticos de RP devem ser maiores do que o valor de 2 MPa (Taylor et al., 1966), amplamente indicado nas bibliografia. Em trabalho conduzido no mesmo tipo de solo, Moraes et al. (2014) também concluíram que os limites críticos de RP em SPD consolidado devem ser aumentados. É importante destacar ainda que os resultados da Tabela 2 e Figura 1 evidenciam que a escarificação não se mostrou uma prática tecnicamente viável mesmo quando comparada ao tratamento com maior grau de compactação, podendo inclusive reduzir a produtividade de grãos da soja, conforme já relatado por Debiasi et al. (2010) e Franchini et al. (2012).

Conclusões

- Considerando o sistema de produção trigo/soja, valores de RP acima de 2,5 MPa, medidos em um conteúdo de água equivalente à capacidade de campo, indicam um estado de compactação crítico neste Latossolo Vermelho Distroférico muito argiloso.

- A escarificação do solo não proporciona aumento da produtividade de grãos do trigo e, no caso da soja, pode reduzir o potencial produtivo da cultura.

Referências

- BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, C. M. A.; SOUZA, F. R. compactação em um Latossolo Vermelho distroférrico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 681-691, 2010.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de latossolos vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 843-849, 2005.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P.; Soil Resistance to Penetration and Least Limiting Water Range for Soybean Yield in a Haplustox from Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 48, p.863-871, 2008.
- CAVALIERI, K. M. V.; TORMENA, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES, A. C. A.; COSTA, A. C. S. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 137-147, 2006.
- COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 933-942, 2008.
- DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária com braquiária e soja. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1180-1186, 2012.
- DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; KAMIMURA, K. M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 603-612, 2010.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TONON, B. C.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. C. N. de; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**, v. 137, p. 178-185, 2012.

DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 175-182, 1996.

EMBRAPA. **Manual de métodos e análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212 p.

FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v. 6, p. 36-41, 2008.

FRANCHINI, J.C.; COSTA, J.M.; DEBIASI, H.; TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 52p. (Embrapa Soja. Documentos, 327).

FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; TONON, B.C.; FARIAS, J.R.B.; OLIVEIRA, M.C.N. & TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil, **Field Crops Research**, v. 137, p. 178-185, 2012.

LIPIEC, J.; ARVIDSSON, J.; MURER, E. Review of modeling crop growth, movement of water and chemicals in relation to topsoil and subsoil compaction. **Soil and Tillage Research**, v. 73, p. 145-170, 2003.

MORAES, M. T. de; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. da. Soil penetration resistance in a Rhodic Eutrudox affected by machinery traffic and soil water content. **Engenharia Agrícola**, v. 33, p. 748-757, 2013.

MORAES, M. T. de; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Critical limits of soil penetration resistance in a Rhodic Eutrudox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 288-298, 2014.

REICHERT, J. M.; SUZUKY, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 5, p. 49-134, 2007.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 797-804, 2004.

SUZUKI, L. E. A. S; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; LIMA, C. L. R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1159-1167, 2007.

SILVA, V. R. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. 2003. 171 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Biodinâmica de Solos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER JR., J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. (*Glycine max*), v.102, p. 18-22, 1966.

TORRES, E.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; ODILON FERREIRA SARAIVA; ALMEIDA, A.M.R. Manejo do solo na prevenção de doenças radiculares. In: ALMEIDA, A.M.R.; SEIXAS, C.D.S. (Ed.) **Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações com o manejo do solo e da cultura**. Embrapa Soja: Londrina, 2010. p. 207-279.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: EMBRAPA Soja, 1999. 58 p. (EMBRAPA Soja, Circular Técnica, 23).

Tabela 1. Densidade (DS), porosidade total (PT), macroporosidade (MA), microporosidade (MI) e resistência mecânica à penetração (RP) do solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, em diferentes estados de compactação de um Latossolo Vermelho Distroférico. Embrapa Soja, Londrina/PR, 2013.

Estado de compactação ¹	DS	PT	MA	MI	RP
	Mg m ⁻³		m ³ m ⁻³		kPa
0-10 cm					
EC1	1,01 c	0,58 a	0,20 a	0,38 c	497 d
EC2	1,21 b	0,55 b	0,11 b	0,44 b	1476 c
EC3	1,35 a	0,51 c	0,04 c	0,47 a	1790 b
EC4	1,39 a	0,50 c	0,01 d	0,48 a	2458 a
10-20 cm					
EC1	1,16 c	0,55 a	0,12 a	0,43 c	968 c
EC2	1,26 b	0,54 a	0,08 b	0,45 b	2177 b
EC3	1,34 a	0,51 b	0,05 c	0,46 ab	2092 b
EC4	1,37 a	0,51 b	0,03 d	0,48 a	2582 a
20-30 cm					
EC1	1,27 b	0,52 b	0,06 ab	0,46 b	1438 b
EC2	1,26 b	0,54 a	0,07 a	0,47 b	2224 a
EC3	1,32 a	0,52 b	0,04 b	0,48 ab	2334 a
EC4	1,33 a	0,52 b	0,04 b	0,49 a	2647 a

¹ EC1 = sistema plantio direto (SPD) escarificado; EC2 = SPD sem compactação adicional e sem escarificação; EC3 = SPD com compactação adicional por 4 passadas de um trator com massa total de 7,2 Mg; e EC4 = SPD com compactação adicional por 8 passadas de uma colhedora com massa total de 9,5 Mg. Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, dentro de cada camada, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 2. Produtividade de grãos do trigo e da soja em diferentes estados de compactação de um Latossolo Vermelho Distroférico. Embrapa Soja, Londrina/PR, safra 2013/2014.

Estado de compactação ¹	Produtividade de grãos	
	Trigo	Soja
	kg ha ⁻¹	
EC1	3100 n.s	3090 ab
EC2	2908	3210 a
EC3	3061	3126 a
EC4	3009	2904 b

¹ EC1 = sistema plantio direto (SPD) escarificado; EC2 = SPD sem compactação adicional e sem escarificação; EC3 = SPD com compactação adicional por 4 passadas de um trator com massa total de 7,2 Mg; e EC4 = SPD com compactação adicional por 8 passadas de uma colhedora com massa total de 9,5 Mg. Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, dentro de cada camada, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). n.s. = não significativo (Teste F, $p < 0,05$).

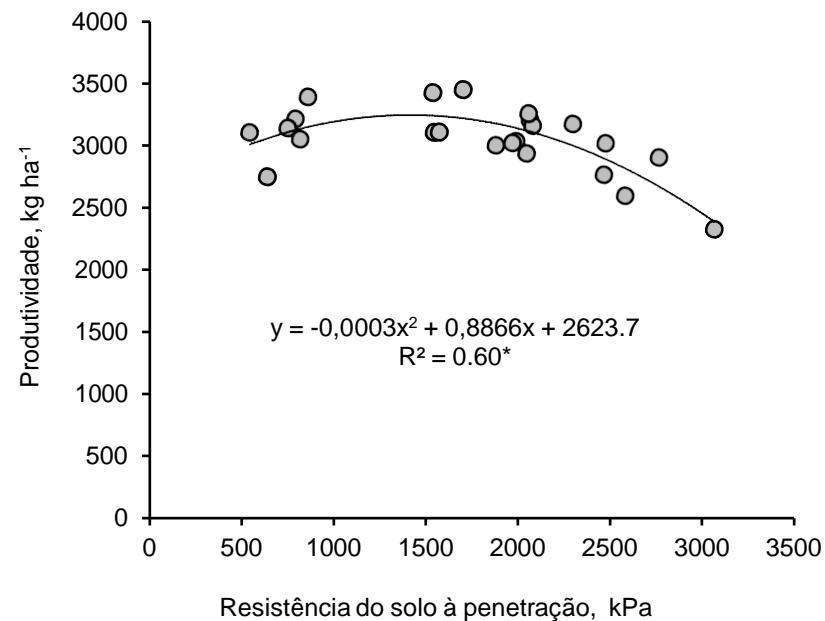


Figura 1. Relação entre a produtividade da soja e a resistência mecânica do solo à penetração média na camada de 0-20 cm em Latossolo Vermelho Distroférico. Embrapa Soja, Londrina/PR, safra 2013/2014.