

Qualidade física do solo e produtividade da cultura do feijoeiro em sistema de integração agricultura-pecuária

Cristiano Andre Pott^{1,2}, Elói Baretta Júnior², Marcelo Marques Lopes Müller^{1,2}, Aline Marques Genú^{1,2}, Itacir Elói Sandini^{1,2}, Luiz Fernando Machado Kramer³

¹Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Departamento de Agronomia. Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03, Campus CEDETEG, Vila Carli, CEP 85040-080, Guarapuava-PR.

²Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03, Campus CEDETEG, Vila Carli, CEP 85040-080, Guarapuava-PR.

³Faculdade Guarapuava, Guarapuava-PR.

E-mail autor correspondente: cpott@unicentro.br

Artigo enviado em 28/09/2017, aceito em 23/06/2018.

Resumo: A compactação do solo ocasionada pelo pisoteio animal tem sido apontada como um dos principais agentes causadores da degradação de áreas cultivadas em sistema de integração agricultura-pecuária (SIAP). O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade física do solo após oito anos de SIAP sob diferentes doses de nitrogênio. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas. Nas parcelas foram alocadas as doses de nitrogênio (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹) e nas subparcelas o pastejo (com pastejo e sem pastejo). O feijoeiro foi utilizado como indicador biológico para verificação dos efeitos do pastejo e da adubação nitrogenada. A densidade máxima do solo obtida com ensaio de Proctor variou de 1,21 a 1,26 Mg m⁻³. Houve diferença significativo para os atributos densidade do solo, densidade relativa e macroporosidade na camada de 0,00-0,05 m nos tratamentos com e sem pastejo. A velocidade de infiltração de água teve efeito do pastejo e do nitrogênio, indicando maior infiltração sem pastejo animal e com o aumento das doses de nitrogênio. A resistência à penetração foi maior com pastejo animal nas camadas de 0,05 a 0,20 m. A profundidade da resistência à penetração máxima teve efeito da interação entre os fatores estudados, indicando redução da profundidade com o aumento das doses de nitrogênio na área sem pastejo e valor constante mais superficial na área com pastejo. O pastejo não influenciou a produtividade do feijoeiro, porém houve efeito das doses de nitrogênio aplicado na pastagem na produtividade do feijoeiro. Com base nos resultados de densidade do solo, densidade relativa, macroporosidade, resistência à penetração e velocidade de infiltração de água no solo o sistema com pastejo encontrava-se com maior compactação do solo, porém não afetou a produtividade do feijoeiro.

Palavras-chave: densidade do solo, velocidade de infiltração de água, compactação do solo, ensaio de Proctor.

Soil physical quality and bean crop productivity in agriculture-livestock integration system

Abstract: Soil compaction caused by animal trampling has been identified as one of the leading causes of degradation of cultivated areas in agricultural and livestock integration system (SIAP). The objective of this work was to evaluate soil physical

quality after eight years of SIAP under different nitrogen rates. The experimental design was randomized blocks with subdivided plots. Nitrogen treatments (0, 75, 150 and 225 kg ha⁻¹) were applied to the plots and the subplots were grazing treatments (grazing and without grazing). The bean crop was used as a biological indicator to verify the effects of grazing and nitrogen fertilization. The maximum bulk density obtained with Proctor test ranged from 1.21 to 1.26 Mg m⁻³. There was a significant difference for the attributes bulk density, relative density and macroporosity in the layer of 0.00-0.05 m in treatments with and without grazing. The rate of water infiltration had grazing and nitrogen effects, indicating higher infiltration without animal grazing and with increasing nitrogen rates. The resistance of soil penetration was higher with grazing animals in layers of 0.05 to 0.20 m. The depth of the maximum soil penetration resistance had an effect of the interaction among the studied factors, indicating a reduction of depth with the increase of the nitrogen doses in the area without grazing and a constant value more superficial in the area with grazing. Based on the results of bulk soil density, relative density, soil macroporosity, resistance of soil penetration and water infiltration rate, the soil system with grazing evidenced higher soil compaction, but did not affect bean productivity.

Key words: Bulk soil density, water infiltration rate, soil compaction, Proctor's test.

Introdução

Sistema de integração agricultura-pecuária (SIAP) baseia-se na implantação de diferentes sistemas produtivos agrícolas e pecuários, na mesma área, de forma consorciada, seqüencial e rotacionada, de maneira que ambas as atividades se beneficiem (MORAES et al., 2014). O SIAP é uma alternativa para maximizar a renda do produtor rural (GARCIA et al., 2012), porém, a preocupação com compactação do solo afetando negativamente a qualidade física do solo (COLLARES et al., 2011) gera questionamentos quanto à sustentabilidade do sistema. Para assegurar essa sustentabilidade é de fundamental importância a associação de um sistema de rotação de culturas diversificado que produza adequada quantidade de resíduos culturais na superfície do solo (SILVA et al., 2007).

Solos bem manejados funcionam adequadamente para manter o balanço equilibrado de ar e água, a ciclagem de nutrientes e o crescimento do sistema radicular das plantas (REYNOLDS et al., 2002). Para um adequado crescimento,

as plantas necessitam de um solo com boa estrutura, que permita a obtenção de água e nutrientes e com suficiente espaço poroso para o fornecimento adequado de oxigênio (LHOTSKÝ et al., 1991).

Dentre os nutrientes, o nitrogênio (N) é um dos mais exigidos em grandes quantidades pelas plantas, sua aplicação no SIAP acarreta aumento da produtividade, o acréscimo da produção de forragem e estimula o aumento da taxa de lotação animal (SANDINI et al., 2011). O aumento na taxa de lotação animal, por sua vez, pode gerar problemas de compactação no solo (SPERA et al., 2010). Em pastos manejados com maior intensidade, isto é, com altura do pasto baixa, o pisoteio animal por unidade de área aumenta e torna maior a probabilidade de compactação do solo (CARASSAI et al., 2011; FIDALSKI e ALVES, 2015).

O pisoteio animal pode ser considerado como um dos principais responsáveis pela degradação física dos solos, pois aumenta a densidade e a

microporosidade e a resistência à penetração, além de reduzir a macroporosidade e porosidade total, principalmente nas camadas superficiais (COLLARES et al., 2011).

Existe uma dificuldade na definição de limites críticos de densidade do solo para o desenvolvimento das plantas, que é complexa, uma vez que é dependente da textura e do teor de matéria orgânica (MARCOLIN e KLEIN, 2011). Klein et al. (2013) recomendam o uso da densidade relativa (DR), que é a relação entre a densidade do solo no campo e a densidade máxima do solo ($DS_{máx}$) máximo obtida pelo ensaio de Proctor, um parâmetro capaz de padronizar e delimitar os limites críticos.

Desta forma o aumento de doses de fertilizante nitrogenado pode reduzir os problemas de compactação do solo, pois uma boa nutrição da planta promoveria maior produção de biomassa (Cassol et al., 2011) o que geraria menores problemas de compactação (Spera et al., 2010). Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar a qualidade física do solo após oito anos de SIAP sob diferentes doses de nitrogênio.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na área experimental de integração agricultura-pecuária do Departamento de Agronomia da UNICENTRO, *Campus CEDETEG* em Guarapuava-PR localizado a 25°33' latitude Sul e 51°29' longitude Oeste e tem altitude de aproximadamente 1100 m. A área experimental é conduzida desde 2006 em SIAP, na qual durante o período de inverno são manejados as culturas de plantas forrageiras tais como aveia preta e azevém para pastejo com ovinos, e durante o verão, ocorre a sucessão de culturas de milho e feijão. O clima da região é o Cfb, pela classificação de

Köppen-Geiger, com temperatura média menor que 18 °C no mês mais frio (mesotérmico), verões amenos, temperatura média no mês mais quente inferior a 22 °C, sem estação seca definida e com geadas severas (Peel et al., 2007). O solo da área experimental foi classificado por Michalovicz (2012) como sendo um Latossolo Bruno, textura muito argilosa.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas, com três repetições. As doses de nitrogênio (N) representam as parcelas e as subparcelas foram compostas por presença (Com pastejo) ou ausência de pastejo (Sem pastejo). As doses de N foram de 0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹ aplicados na pastagem de azevém 21 dias após a emergência, período de início do perfilhamento. Cada unidade experimental do fator N tinha uma área de 2000 m², e a área não pastejada (subparcela) tinha um tamanho de 17 x 6 m. Haja visto que as doses de N proporcionaram diferente produção de massa seca de forragem, a quantidade de animais por unidade de área foi variável, sendo programado uma altura de pastejo constante de 0,20 m de altura para todos os tratamentos, a qual foi conseguida utilizando-se animais reguladores de crescimento vindos de outro piquete (SANDINI et al., 2011). Os animais permaneceram nos tratamentos pastejados durante o período de 14 de agosto a 05 de novembro de 2014.

A avaliação da qualidade física do solo foi realizada no dia 15 de novembro de 2014, a contar 10 dias após a retirada dos animais da área pastejada. Para tanto, coletou-se amostras indeformadas, utilizou-se a metodologia de coleta de anéis volumétricos de 100 cm³ (EMBRAPA, 2011), empregando-se um macaco hidráulico para minimizar a deformação das amostras no momento da coleta. Para cada tratamento foram

coletados três anéis no centro das respectivas camadas: 0,00-0,05, 0,05-0,15 e 0,15-0,25 m. Após a coleta, os anéis foram saturados com água e após submetidos à mesa de tensão à -6kPa para determinação da macro e microporosidade, e após, secas em estufa para determinar a porosidade total e a densidade do solo, conforme descrito em Embrapa (2011).

Para realização do ensaio de Proctor, foram coletados em torno de 50 kg de solo em três locais da área experimental para determinação da densidade máxima do solo ($DS_{m\acute{a}x}$), e posterior cálculo da densidade relativa (DR), conforme recomendação de Klein et al. (2013). A velocidade de infiltração básica de água (VIB) no solo foi determinada utilizando-se infiltrômetro de duplo anéis com carga constante (Pott et al., 2005). Foram realizadas duas determinações de VIB por unidade experimental. O tempo de avaliação para se alcançar a VIB constante foi estipulado em 2 h para todos os tratamentos.

Para a avaliação da resistência à penetração (RP) do solo foi utilizado o penetrômetro eletrônico, marca Falker modelo PLG1020, que apresenta como vantagens a facilidade e velocidade de uso, forte relação com as condições físicas do solo para o crescimento do sistema radicular das plantas, além da possibilidade de medidas diretas de campo com grande número de repetições e exportação eletrônica dos dados diretamente em planilha eletrônica. Foram realizadas 10 medições de RP em cada unidade experimental. As medições foram realizadas com resolução de 0,01 m até a profundidade de 0,50 m. Após, as medições de campo da RP, foram realizadas as médias das medições separadas em classes de 0,05 m, até a profundidade de 0,50 m. Além, das medidas RP, determinou-se a RP

máxima ($RP_{m\acute{a}x}$) e a profundidade da $RP_{m\acute{a}x}$. A obtenção da umidade gravimétrica do solo foi realizada por meio da metodologia descrita por Embrapa (2011).

Para verificar o efeito do pastejo e da aplicação de N na pastagem de inverno, cultivou-se a cultura do feijão, afins de ser utilizado como indicador biológico desses efeitos. O feijão cultivar IPR Tuiuiu foi semeado em 11 de dezembro de 2014. A adubação foi realizada no momento de semeadura na dose de 11, 56 e 56 Kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. A colheita foi realizada no dia 19 de março de 2015 em uma área útil de 6m² em cada unidade experimental. Os dados de produtividade do feijão foram transformados para kg ha⁻¹ com umidade de 0,13 kg kg⁻¹.

Os dados dos atributos físicos do solo e de produtividade da cultura do feijão foram submetidos à análise de variância. Os efeitos do fator pastejo foram comparados por teste de médias (teste F, para comparação de dois tratamentos qualitativos) e os dados do fator N foram comparados por meio de análise de regressão quando houve o efeito significativo deste. Quando houve interação entre os dois fatores, fez-se os desdobramentos pertinentes. Para realização dessas análises estatísticas utilizou-se o software Assistat 7.7 (SILVA e AZEVEDO, 2016).

Resultados e discussão

A densidade máxima do solo da área de estudo determinada com o ensaio de Proctor, apresentou valores de 1,21 Mg m⁻³ para a camada de 0-0,05 m (Figura 1A), 1,25 Mg m⁻³ para as camadas de 0,05-0,15 m (Figura 1B) e 0,15-0,25 m (Figura 1C), e de 1,26 Mg m⁻³ para a camada de 0,25-0,35 m (Figura 1D).

Os resultados dos atributos físicos do solo obtidos por meio das amostras indeformadas, não tiveram

efeito da interação entre o fator N e o fator pastejo, nem tampouco do fator N isoladamente. Houve efeito do fator pastejo para os atributos densidade do solo, densidade relativa e macroporosidade na profundidade de 0,00-0,05 m. Para as outras camadas e atributos, não houve diferença significativa entre os tratamentos com pastejo e sem pastejo (Tabela 1). A densidade do solo apresentou valor médio de 1,14 e 1,08 Mg m^{-3} na camada

de 0,00-0,05 m, nas condições de com pastejo e sem pastejo, respectivamente. A densidade relativa foi de 94 e 88% na camada de 0,00-0,05 m, diferente significativamente no tratamento com pastejo e sem pastejo, respectivamente. A macroporosidade na camada de 0,00-0,05 m, apresentou maior valor na área com pastejo ($0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) diferente estatisticamente do sem pastejo ($0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$).

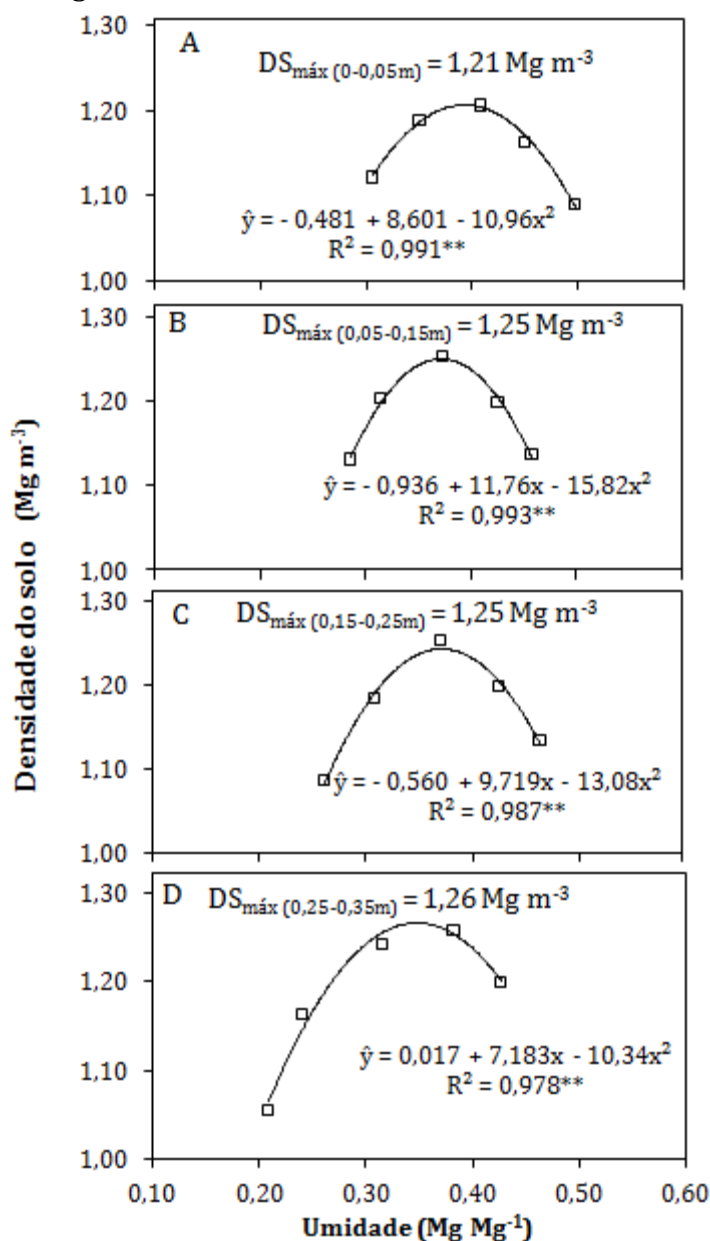


Figura 1. Curvas de Densidade do solo em função da umidade gravimétrica realizadas pelo teste de Proctor nas camadas de 0-05 m (A), 0,05-0,15 m (B), 0,15-0,25 m (C) e de 0,25-0,35 m (D) em área de SIAP, em novembro de 2014, Guarapuava, PR. **Equação significativa pelo teste F ($p < 0,01$).

Tabela 1. Densidade do solo, densidade relativa, umidade do solo no momento da coleta, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo em 8 anos de SIAP em novembro de 2014, Guarapuava, PR.

Camada (m)	Com Pastejo	Sem Pastejo	CV(%)
Densidade do Solo (Mg m⁻³)			
0,00-0,05	1,14a*	1,08b	4,0
0,05-0,15	1,15a	1,15a	2,9
0,15-0,25	1,11a	1,10a	5,0
0,25-0,35	1,03a	1,04a	4,0
Densidade relativa (%)			
0,00-0,05	94a*	88b	4,0
0,05-0,15	92 a	92a	2,9
0,15-0,25	89a	88a	5,0
0,25-0,35	81a	82a	4,0
Umidade do solo (Mg Mg⁻¹)			
0,00-0,05	0,30a	0,31a	9,7
0,05-0,15	0,35a	0,36a	10,3
0,15-0,25	0,40a	0,41a	3,0
0,25-0,35	0,43a	0,42a	6,1
Macroporosidade (m³ m⁻³)			
0,00-0,05	0,06b*	0,08a	14,7
0,05-0,15	0,08a	0,07a	18,3
0,15-0,25	0,08a	0,08a	28,1
0,25-0,35	0,09 a	0,10a	15,7
Microporosidade (m³ m⁻³)			
0,00-0,05	0,53a	0,51a	4,2
0,05-0,15	0,49a	0,51a	2,0
0,15-0,25	0,51a	0,52a	3,6
0,25-0,35	0,52a	0,52a	3,0
Porosidade total (m³ m⁻³)			
0,00-0,05	0,59a	0,59a	4,4
0,05-0,15	0,57a	0,58a	1,8
0,15-0,25	0,59a	0,60a	2,5
0,25-0,35	0,61a	0,62a	2,2

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste F (p<0,05).

Consalter et al. (2014) avaliando a física do solo em SIAP também em

Latossolo Bruno em Guarapuava-PR, verificaram que a densidade do solo teve

uma variação temporal crescente, de 1,10 Mg m⁻³ a 1,15 Mg m⁻³ na camada de 0,00-0,05 m e de 1,14 a 1,20 Mg m⁻³ na camada de 0,05-0,10 m. Após a colheita da soja, esses autores verificaram que houve um decréscimo na densidade do solo, atingindo 1,15 Mg m⁻³ e 1,16 Mg m⁻³ nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m, respectivamente. Consalter et al. (2014) verificaram uma tendência de aumento da densidade do solo quando a área permaneceu com o pisoteio do animal, mas concluem que esse sistema de produção não atingiu valores que caracterizassem um solo compactado, capaz de limitar o desenvolvimento da cultura subsequente ao pastejo.

De acordo com Reinert et al. (2008) e Reichert et al. (2009), densidade relativa acima de 90% é considerado condição de restrição de crescimento radicular para as plantas. Para a cultura da soja, Beutler et al. (2005) sugerem valores ótimos de densidade relativa menores de 86%. Klein et al. (2013) indicam o valor de 88% como limite para a densidade relativa para um Latossolo Vermelho. Deste ponto de vista, na camada superficial, tratamento com pastejo atingiu 94%, devido o pisoteio animal, evidenciando a suscetibilidade desse SIAP à compactação e contrariando as indicações de não haver compactação como sugerido por Andreolla et al. (2014) e Consalter et al. (2014) em Latossolo Bruno com valores de densidade do solo variando de 1,10 a 1,20 Mg m⁻³.

Do ponto de vista do parâmetro macroporosidade, em ambos sistemas, com e sem pastejo apresentaram valor abaixo do limite de 0,10 m³ m⁻³ sugerido como limitante por Silva et al. (1994) e Xu et al. (1992), por diminuir a condutividade de oxigênio. Porém, Reichert et al. (2009) sugerem que esse limite pode ser menor, especialmente em áreas de sistema de plantio direto. Albuquerque et al. (2001) avaliaram os

efeitos do SIAP em um Nitossolo Vermelho e observaram drástica redução da macroporosidade, em relação à mata nativa, principalmente na camada de 0,00-0,05 m em área de plantio direto com pisoteio animal durante o inverno.

Não houve efeito da interação entre o fator N e o fator pastejo para a VIB. Porém houve efeito isolado do fator pastejo para a VIB (Figura 2A), em que a área com pastejo apresentou menor VIB (46,7 mm h⁻¹), comparada com a área sem pastejo (59,2 mm h⁻¹). Também houve efeito significativo do fator N, com resposta linear crescente em função das doses de N (Figura 2B).

Albuquerque et al. (2001) verificaram alta relação da redução da macroporosidade com a redução da condutividade hidráulica do solo. A relação da VIB com densidade do solo e macroporosidade já foi bem descrita por outros autores (POTT e DE MARIA, 2003; ALVES et al., 2007; BONO et al., 2012). Porém nesse estudo, houve comportamento distinto da macroporosidade e da VIB, em que somente a última teve efeito do fator N.

A alteração dos atributos físicos na área com pastejo indica um comprometimento da função ambiental do solo (redução da infiltração de água no solo), especialmente no que se refere a capacidade de recarga dos aquíferos e maior escoamento de água superficial, que pode comprometer a qualidade de água dos mananciais superficiais.

A RP não apresentou efeito de interação entre o fator N e o fator pastejo, nem tampouco do fator N isoladamente. No entanto, houve efeito isolado do fator pastejo para os valores de RP, apresentado as camadas de 0,05 a 0,20 m, RP maior no tratamento com pastejo do que no sem pastejo (Figura 3). Abaixo da camada de 0,20 m, não houve mais efeito significativo do pisoteio animal.

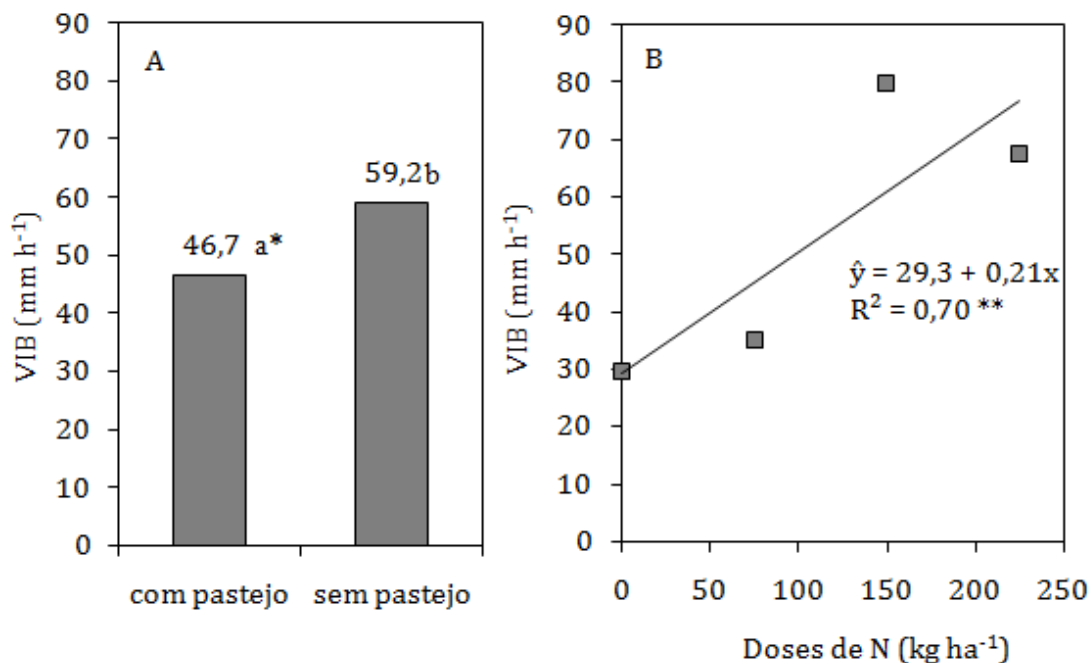


Figura 2. Média de velocidade de infiltração básica (VIB) em função do pastejo (A) e em função das doses de N (B) após 8 anos de SIAP em novembro de 2014, Guarapuava, PR. *Diferença significativa pelo teste F ($p < 0,05$). **Diferença significativa pelo teste F ($p < 0,01$).

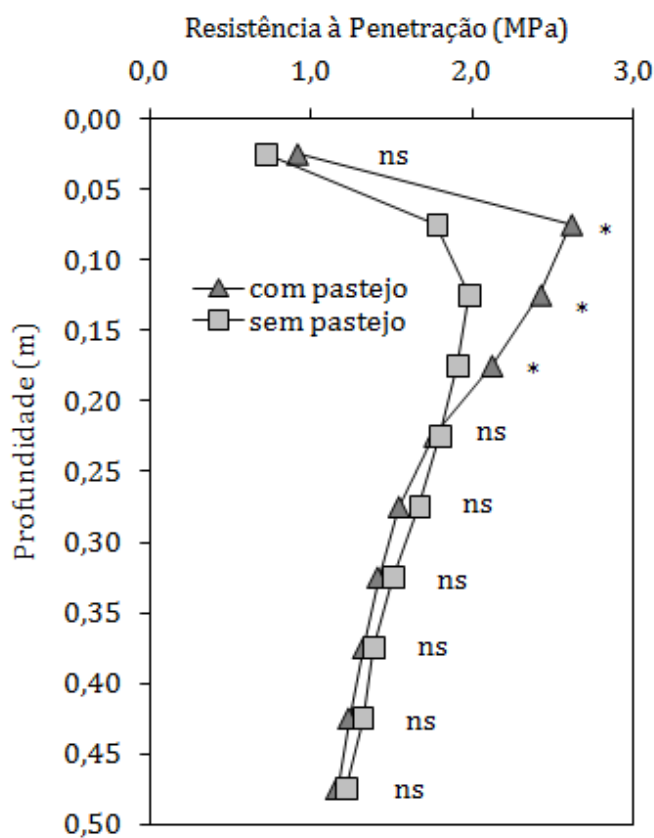


Figura 3. Médias de resistência à penetração (RP) em função do pastejo até a profundidade de 0,50m, após 8 anos de SIAP, novembro de 2014, Guarapuava, PR. *Diferença significativa pelo teste F ($p < 0,05$). ns: não significativo.

A $RP_{m\acute{a}x}$ obtida com o penetrômetro eletrônico apresentou efeito significativo do fator pastejo, com valores de 2,92 MPa no tratamento com pastejo e 2,44 MPa no sem pastejo

(Figura 4A). Também, houve efeito isolado do fator N para a $RP_{m\acute{a}x}$, com resposta linear negativa em função do aumento das doses de N (Figura 4B).

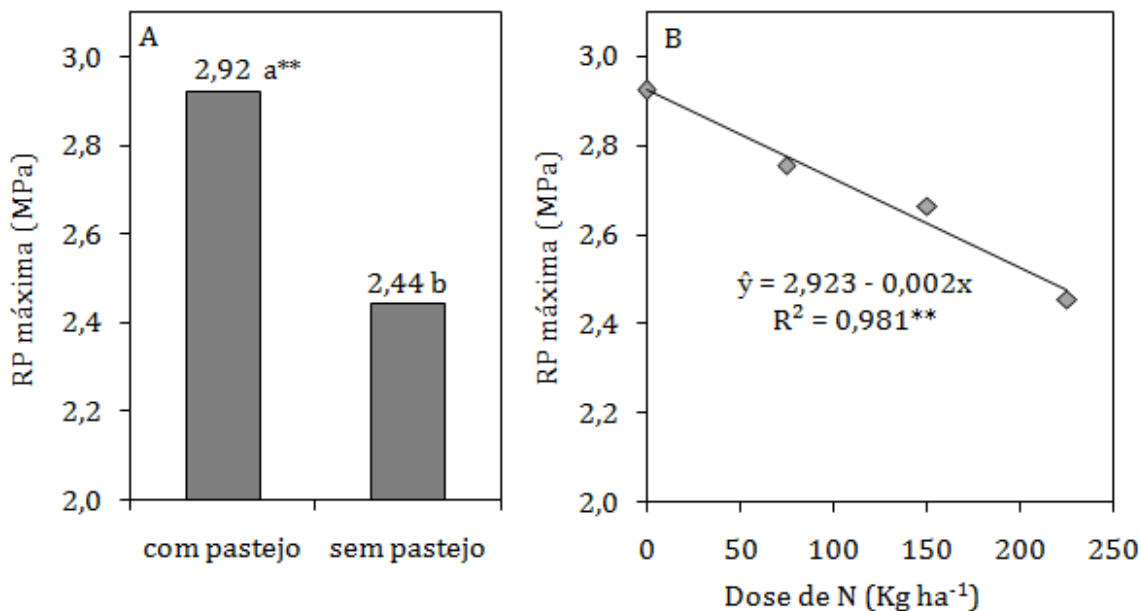


Figura 4. Médias de RP máxima em função do pastejo (A) e em função das doses de N (B) após 8 anos de SIAP, novembro de 2014, Guarapuava, PR. **Diferença significativa pelo teste F ($p < 0,01$).

Além disso, a profundidade da $RP_{m\acute{a}x}$ ocorreu em profundidades significativamente diferentes em função do pastejo e das doses do N (Figura 5). No tratamento com pastejo, a profundidade da $RP_{m\acute{a}x}$ apresentou regressão linear não significativa, com valor médio de 0,082 m de profundidade. Já no tratamento sem pastejo, a profundidade da $RP_{m\acute{a}x}$ apresentou regressão linear negativa e significativa ($p < 0,01$), evidenciando maior profundidade da $RP_{m\acute{a}x}$ em função do aumento das doses de N. Essa resposta também foi ser verificada especialmente para $RP_{m\acute{a}x}$ e para a profundidade da $RP_{m\acute{a}x}$, demonstrando que a camada de impedimento ocorreu mais superficialmente no tratamento

com pastejo, e em maior profundidade no tratamento sem pastejo. Além disso, houve efeito das doses de N para VIB e $RP_{m\acute{a}x}$, sugerindo que, ao longo de 8 anos de SIAP, as doses de N aumentam a produção de raízes, as quais são decompostas e favorecem a infiltração de água no solo. Cassol et al. (2011) estudando a adubação nitrogenada em aveia preta e azevém verificam expressivo incremento de massa seca com essa fertilização. Com alta produção de biomassa tem-se aumento do carbono orgânico no solo (DIVITO et al., 2011), o qual é responsável pela diminuição da densidade do solo (BRAIDA et al., 2006) e aumento da infiltração de água no solo (POTT E DE MARIA, 2003).

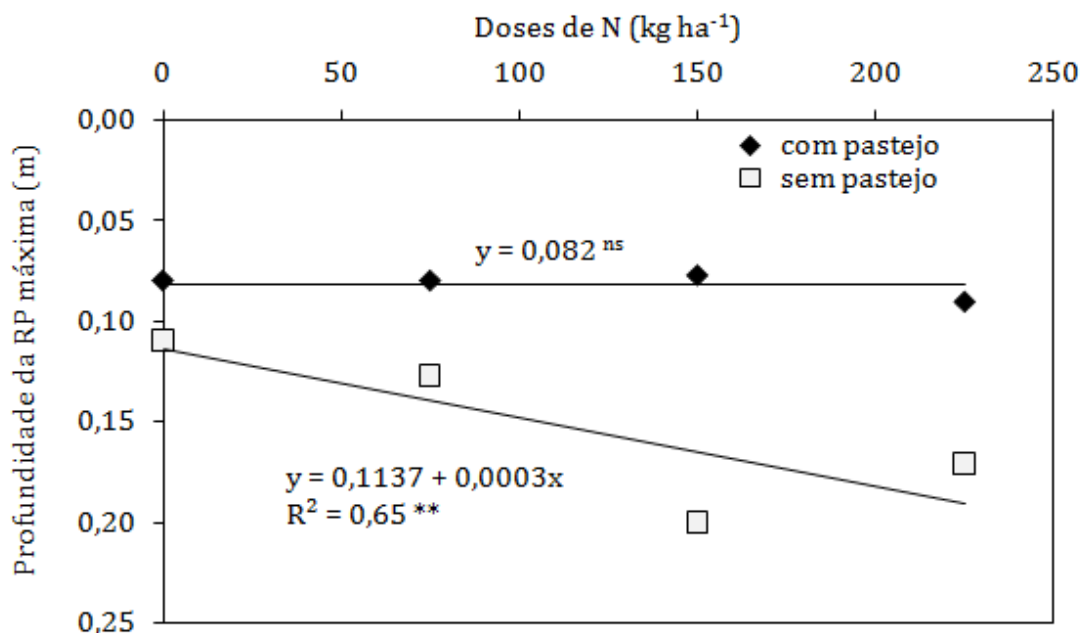


Figura 5. Profundidade da RP máxima em função de doses de N e do pastejo, após 8 anos de SIAP em novembro de 2014, Guarapuava, PR. **Diferença significativa pelo teste F ($p < 0,01$). ns: não significativo.

Já os valores de RP maiores na área pastejada também foram constatados por Spera et al. (2010) na camada de 0,10 a 0,15 m, comparado com área não compactada. Bortolini et al. (2016) estudando a física do solo de um Cambissolo Húmico, verificaram que a maior condutividade hidráulica saturada ocorreu nos sistemas com maior produção de massa seca, além disso esses autores também constataram baixos valores de macroporosidade (valores entre 0,06 a 0,08 $m^3 m^{-3}$) e altos valores de resistência à penetração, o que corrobora com os resultados desse estudo.

Os resultados do efeito do pastejo no período do inverno foram avaliados por meio da produtividade da cultura do feijão cultivado no período de verão. Não houve efeito significativo do fator pastejo para a produtividade do feijoeiro (Figura 6A), no entanto houve efeito isolado e significativo das doses de N

aplicado no período de inverno (Figura 6B).

Com os resultados de física do solo indicando maior compactação do solo no sistema com pastejo animal, esperava-se também verificar efeito na produtividade do feijoeiro. No entanto o efeito do pastejo não refletiu em menor produtividade do feijoeiro (Figura 6A), porém ocorreu efeito do fator N, em que as maiores doses de N aplicado no inverno favoreceram a cultura do feijoeiro (Figura 6B). Esse fato reforça os resultados de Reichert et al. (2009) que sugere que o limite de macroporosidade pode ser menor 0,10 $m^3 m^{-3}$ em áreas de plantio direto. Andreolla et al. (2015) na mesma área de estudo, porém na safra de feijão de 2006/2007 verificaram interação entre o fator pastejo e o fator N, porém concluíram que o pastejo de inverno não influenciou na produtividade da cultura do feijoeiro.

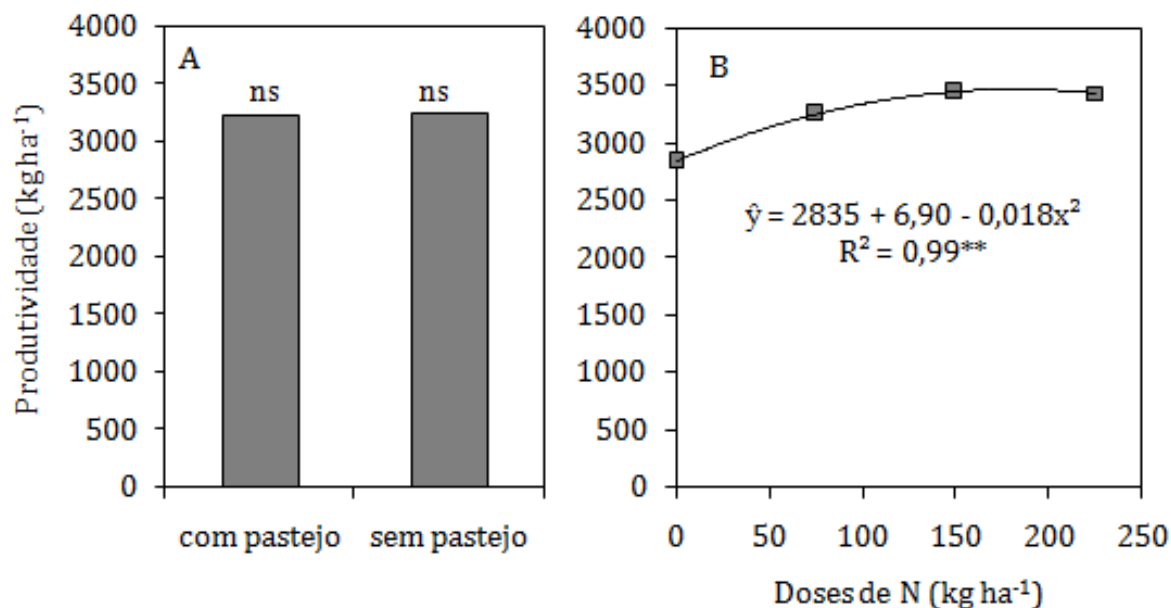


Figura 6. Produtividade da cultura do feijão, em função do pastejo no inverno (A) e das doses de N aplicada na pastagem, após 8 anos de SIAP, março de 2015, Guarapuava, PR. ** Diferença significativa pelo teste F ($p < 0,01$); ns: não significativo.

Em avaliação da produtividade da cultura do milho na mesma área experimental na safra 2007/2008, Sandini et al. (2011) verificaram que o pastejo também não influenciou na produtividade de grãos da cultura do milho, entretanto, o N aplicado na pastagem, influenciou na produtividade da cultura do milho em sucessão. Num período maior de tempo de condução do SIAP (safra de feijão 2014/2015), o efeito do N aplicado no inverno favoreceu a cultura do feijão na safra de verão, indicando o bom desempenho da adubação antecipada do N, sem haver comprometimento da produção devido ao pastejo animal.

Conclusões

Os atributos físicos, densidade do solo, densidade relativa, macroporosidade do solo, resistência à penetração e velocidade de infiltração de água no solo indicam compactação do solo no sistema com pastejo animal, porém não comprometendo a produtividade do feijoeiro cultivado no verão.

O efeito das doses de nitrogênio foi constatado somente nos atributos avaliados diretamente no campo (profundidade da resistência à penetração máxima e da velocidade de infiltração de água no solo), evidenciando que a amostragem por meio das amostras indeformadas nem sempre conseguem representar exatamente a camada de maior compactação.

Referências

ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.717-723, 2001.

ALVES, M.C.; SUZUKI, L.G.A.S.; SUZUKI, L.E.A.S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.4, p.617-625, 2007.

- ANDREOLLA, V.R.M.; MORAES, A.; BONA FILHO, A.; SANDINI, I.E.; BONINI, A.K.; DEISS, L. Pastejo e nitrogênio no azevém sobre a qualidade física do solo e produtividade do feijão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.1, p.11-26, 2015.
- ANDREOLLA, V.R.M.; MORAES, A.; BONINI, A.K.; DEISS, L.; SANDINI, I.E. Soil physical attributes in integrated bean and sheep system under nitrogen levels. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.45, n.5, p.922-930, 2014.
- 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**, Viçosa, v.29, n.6, p.843-849, 2005.
- BONO, J.A.M.; MACEDO, M.C.M.; TORMENA, C.A.; NANNI, M.R.; GOMES, E.P.; MÜLLER, M.M.L. Infiltração de água no solo em um latossolo vermelho da região sudoeste dos cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.6, p.1845-1853, 2012.
- BORTOLINI, D.; ALBUQUERQUE, J.A.; RECH, C.; MAFRA, Á.L.; RIBEIRO FILHO, H.M.N.; PÉRTILE, P. Propriedades físicas do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.15, n.1, p.60-67, 2016.
- BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M.D.; REINERT, D.J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.4, p.605-614, 2006.
- CARASSAI, I.J.; CARVALHO, P.C.F.; CARDOSO, R.R.; FLORES, J.P.C.; ANGHINONI, I.; NABINGER, C.; FREITAS, F.K.; MACARI, S.; TREIN, C.R. Atributos físicos do solo sob intensidades de pastejo e métodos de pastoreio com cordeiros em integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1284-1290, 2011.
- CASSOL, L.C.; PIVA, J.T.; SOARES, A.B.; ASSMANN, A.L. Produtividade e composição estrutural de aveia e azevém submetidos a épocas de corte e adubação nitrogenada. **Revista Ceres**, Viçosa, v.58, n.4, p.438-443, 2011.
- COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Compactação superficial de Latossolos sob integração lavoura: pecuária de leite no noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.2, p.246-250, 2011.
- CONSALTER, M.A.S.; SOUZA, M.L.D.P.; MORAES, A.D.; COIMBRA, C.H.G. Compactação de Latossolo Bruno em sistema integrado lavoura pecuária. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.15, n.1, p.23-31, 2014.
- DIVITO, G.A.; ROZAS, H.R.S.; ECHEVERRÍA, H.E.; STUDDERT, G.A.; WYNGAARD, N. Long term nitrogen fertilization: Soil property changes in an Argentinean Pampas soil under no tillage. **Soil and Tillage Research**, v.114, n.2, p.117-126, 2011.
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230.
- FIDALSKI, J.; ALVES, S.J. Altura de pastejo de braquiária e carga animal limitada pelos atributos físicos do solo em sistema integração lavoura-pecuária com Soja. **Revista Brasileira de Ciência**

do Solo, Viçosa, v.39, n.3, p.864-870, 2015.

GARCIA, C.M.P.; ANDREOTTI, M.; TARSITANO, M.A.A.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; LIMA, A.E.S.; BUZETTI, S. Análise econômica da produtividade de grãos de milho consorciado com forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* em sistema plantio direto. **Revista Ceres**, Viçosa, v.59, n.2, p.157-163, 2012.

KLEIN, V.A.; MADALOSSO, T.; BASEGGIO, M. Ensaio de Proctor normal – análise metodológica e planilha para cálculo da densidade do solo máxima e teor de água ótimo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.12, n.2, p.199-203, 2013.

LHOTSKÝ, J.; BERAN, P.; PARIS, P.; VALIGURSKÁ, L. Degradation of soil by increasing compression. **Soil and Tillage Research**, v.19, n.2-3, p.287-295, 1991.

MARCOLIN, C.D.; KLEIN, V.A. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.33, n.2, p.349-354, 2011.

MICHALOVICZ, L. **Atributos químicos do solo e resposta da sucessão milho-cevada-feijão-trigo influenciados por doses e parcelamento de gesso em plantio direto**. 2012. 41 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava.

MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; LUSTOSA, S.B.C.; COSTA, S.E.V.G.A.; KUNRATH, T.R. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, v.57, p.4-9, 2014.

PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L.; MCMAHON, T.A. Update world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.11, n.5, p.1633-1644, 2007.

POTT, C.A.; DE MARIA, I.C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.1, p.19-27, 2003.

POTT, C.A.; ROSIM, D.C.; DE MARIA, I.C. Velocidade de Infiltração de água (VIB): Para que serve e como avaliar essa importante propriedade dos solos. **O Agrônomo**, Campinas, v.57, n.1, p.27-28, 2005.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v.102, n.2, p.242-254, 2009.

REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M.; AITA, C.; ANDRADA, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.5, p.1805-1816, 2008.

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; LUC, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v.110, n.1, p.131-146, 2002.

SANDINI, I.E.; MORAES, A.; PELISSARI, A.; NEUMANN, M.; FALBO, M.K.; NOVAKOWISKI, J.H. Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura-

pecuária. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.8, p.1315-1322, 2011.

SILVA, A.A.; SILVA, P.R.F.; SUHRE, E.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M.L.; RAMBO, L. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.4, p.928-935, 2007.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the Least Limiting Water Range of Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, n.6, p.1775-1781, 1994.

SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.32, n.1, p.37-44, 2010.

XU, X.; NIEBER, J.L.; GUPTA, S.C. Compaction Effect on the Gas Diffusion Coefficient in Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, n.6, p.1743-1750, 1992.