

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CAMPUS ITAQUI
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**Rotação de culturas, propriedades físicas do solo e
produtividade de grãos de feijão, milho e soja**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Fernando Gonçalves Brouwers

**Itaqui
2017**

FERNANDO GONÇALVES BROUWERS

**Rotação de culturas, propriedades físicas do solo e produtividade de
grãos de feijão, milho e soja**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Agronomia da Universidade Federal do
Pampa (UNIPAMPA), como requisito
parcial para obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Drº Amauri Nelson Beutler

Itaqui
2017

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Henry Brouwers e Suzete Gonçalves Brouwers pelo grande apoio, carinho, amor e compreensão, e aos meus irmãos Caroline Cristina Brouwers e Felipe Gonçalves Brouwers. Dedico a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste curso.

AGRADECIMENTOS

Primeiro a Deus, pela oportunidade e por ter me proporcionado condições de realizar esse trabalho.

Aos meus pais Henry Brouwers e Suzete Gonçalves Brouwers e a meus irmãos Caroline Cristina Brouwers e Felipe Gonçalves Brouwers.

Ao Professor Drº Amauri Nelson Beutler pela orientação, paciência, ensinamentos e apoio para que eu realizasse esse trabalho de conclusão de curso.

Aos professores que fizeram parte da minha vida acadêmica e contribuíram para a minha formação.

A todos os amigos que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

“Antes de poder vencer, tem de crer que é digno disso.”
Mike Ditka

RESUMO

Rotação de culturas, propriedades físicas do solo e produtividade de grãos de feijão, milho e soja

Autor: Fernando Gonçalves Brouwers

Orientador: Dr ° Amauri Nelson Beutler

Local e data: Itaqui, 10 november de 2017.

A produtividade das plantas está relacionada a vários fatores, entre esses o manejo, compactação do solo e rotação de culturas. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência de plantas de cobertura de inverno e rotação de culturas nas propriedades físicas do solo e produtividade de grãos de feijão, milho e soja durante dois anos. Foram realizados três experimentos, cada um correspondente à cultura de feijão, milho ou soja. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados, com três tratamentos e quatro repetições constituídas por parcelas de 3 x 10 m, para cada experimento. Os tratamentos foram: dois sistemas de plantas de cobertura e rotação de culturas em sistema plantio direto e a testemunha com pousio e plantio convencional. Foram avaliadas a massa seca das plantas de cobertura, propriedades físicas do solo e produtividade de grãos das culturas se feijão, milho e soja durante dois anos. A rotação de culturas e plantas de cobertura, na maioria das vezes, aumentam a produtividade de grãos de milho e soja. O sistema plantio direto, com rotação de culturas, aumenta a compactação do solo na camada superficial comparado ao preparo convencional, porém não reduz a produtividade de grãos de feijão, milho e soja.

Palavras-chave: plantio direto. plantas de cobertura. *Phaseolus vulgaris*. *Zea mays*. *Glycine max*.

ABSTRACT

BLACK OAT STRAW AND RICE PERFORMANCE IRRIGATED IN SUCESSION

Author: Fernando Gonçalves Brouwers
Advisor: Dr ° Amauri Nelson Beutler
Place and date: Itaquí, november 10, 2017

The plants yield is related to several factors, among these, soil tillage, soil compaction and crop rotation. The objective was to evaluate the influence of winter cover crops, crop rotation on soil physical properties and beans, corn and soybean yield for two years. Three experiments were carried out, each corresponding to bean, corn or soybean culture. Was used the randomized complete block design with three treatments and four replications consisting of plots of 3 x 10 m. The treatments were the managements: two systems of cover crops and crop rotation in no-till and without cultivation in winter in conventional tillage. The dry mass of the cover crops, soil physical properties and grain yield for beans, corn and soybean for two years were evaluated. Crop rotation systems and cover crops mostly increase yields of corn and soybeans. System with crop rotation in no-till increases soil compaction in the superficial layer compared to conventional tillage, but does not reduce the yield of beans, corn and soybean.

Key words: no-till. cover crops. *Phaseolus vulgaris*. *Zea mays*. *Glycine max*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitação pluviométrica, na área experimental, nas safras agrícolas 2013/14e 2014/15	22
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Sistemas de manejo, rotação, plantas de cobertura de inverno e massa seca da parte aérea, na safra 2013/2014 e 2014/2015, antes do cultivo de feijão, milho e soja	16
Tabela 2. Propriedades físicas do solo, rotação e plantas de cobertura do solo, para feijão, milho soja, na safra 2013/14	18
Tabela 3. Propriedades físicas do solo, rotação e plantas de cobertura do solo, para feijão, milho e soja, na safra 2014/15	19
Tabela 4. Produtividade de grãos da cultura do feijão preto (BRS Campeiro), milho (safra 2013/14 híbrido AG 8041 PRO e safra 2014/15 SX 7331 VIP) e soja (BMX Alvo), em sistemas manejo, rotação e plantas de cobertura de solo	20

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 MATERIAL E MÉTODOS	15
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
3.1SAFRA 2013/2014	20
3.2SAFRA 2014/2015	24
4 CONCLUSÃO	25
5 REFERÊNCIAS	26

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior exportador mundial de soja com 113 milhões de toneladas produzidas, seguido pelos Estados Unidos (CONAB, 2017). No Estado do RS, mais de 80% da área agrícola é cultivada em sistema plantio direto (PD) (FEBRAPDP, 2012), com destaque às culturas de terras altas, como soja e milho, pela maior facilidade de adaptação e manejo do PD.

O sistema conservacionista de PD aumenta anualmente em detrimento do sistema de preparo convencional do solo (PC) (FEBRAPDP, 2012), pois o PC degrada o solo, o meio ambiente e necessita ser realizado anualmente com alto custo operacional, uma vez que os efeitos benéficos da descompactação do solo permanecem por período inferior a um ano neste sistema (SILVA et al., 2012; FIDALSKI et al., 2015).

Neste viés, apesar das vantagens conservacionistas, ambientais e econômicas do PD, neste sistema ocorre a compactação do solo pelo tráfego de máquinas sobre a superfície do solo, que é fator que frequentemente reduz a produtividade das culturas como soja (BOTTA et al., 2010) e feijão (GUBIANI et al., 2014), principalmente em condições de manejo inadequado do solo como tráfego em condições de elevada umidade, ausência de rotação de culturas e pouca palha superficial.

A rotação de culturas com utilização de plantas de cobertura e presença de palha na superfície do solo são dois dos três pilares essenciais para a funcionalidade e sustentabilidade do PD, juntamente com a ausência de revolvimento do solo. No PD elevadas quantidades de palha superficial são desejáveis, pois reduzem a evaporação da água do solo mantendo este mais úmido e atenuando os efeitos prejudiciais da compactação do solo no crescimento radicular e na produtividade das culturas. Isto, pois a resistência do solo à penetração das raízes das plantas é inversamente relacionada com o conteúdo de água (TORMENA et al., 1999; LIMA et al., 2012; ROSIM et al., 2012) e em condições de maiores conteúdos de água no solo o efeito prejudicial da compactação na redução produtividade das culturas é mitigado (GUBIANI et al., 2014).

Na existência de restos culturais na superfície do solo, parte da energia aplicada sobre o solo, pelo tráfego de máquinas, é dissipada, pois aumenta a área de contato com o solo e dissipa parte da pressão aplicada, diminuindo a compactação (ROSIN et al., 2012). Braidá et al. (2006), verificaram que a utilização de palha de folhas de milho em superfície no ensaio de compactação pelo teste de Proctor, em laboratório, dissipou até 30% da energia e reduziu o valor de densidade do solo máxima, sendo que à medida que

aumentou a quantidade de palha na superfície diminuiu inversamente a densidade do solo. Rosin et al. (2012) verificaram que a palha de milho, em pé ou deitada, na superfície do solo, resultou em menor resistência do solo à penetração após o tráfego de um trator leve de 5,65 t, comparado ao solo descoberto, e que com o aumento da quantidade de palha ocorreu menor valor de resistência à penetração, porém sem alterar a densidade e porosidade do solo.

A baixa compactação do solo, que indica qualidade física, é essencial para o crescimento e distribuição adequada das raízes no solo e a absorção de água, nutrientes e oxigênio pelas raízes para permitir o pleno crescimento e produtividade das plantas (TORMENA et al., 1999). Porém, a compactação é a principal forma de degradação física do solo e é ocasionada pelo tráfego de máquinas na superfície do solo durante o cultivo. Esta tem efeitos diretos na resistência do solo à penetração, densidade e porosidade do solo, aeração e infiltração de água.

A compactação excessiva, também altera a germinação e emergência de plântulas, deforma o sistema radicular, diminui a mobilidade de nutrientes, altera o ciclo do nitrogênio, do carbono e a atividade biológica no solo (NAWAZ et al., 2013), culminando em redução no crescimento e produtividade das culturas de grãos (MOALEMI ORE & KARPARVARFARD, 2008; BOTTA et al., 2010; GUBIANI et al., 2014). Na cultura da soja, Siczek & Lipiec (2011) verificaram que a compactação diminuiu a nodulação e fixação de nitrogênio, porém, a utilização de mulching de palha na superfície do solo amenizou esse efeito prejudicial da compactação.

Por outro lado, em solos de terras altas, a contração e expansão do solo por meio de ciclos de umedecimento e secagem revertem grande parte da compactação que o tráfego de máquinas causa em Latossolo, em estudo de laboratório e de campo, avaliado por meio da densidade do solo (GUBIANI et al., 2015).

O objetivo do trabalho foi avaliar a influência plantas de cobertura de inverno e da rotação de culturas, nas propriedades físicas do solo e produtividade de grãos de feijão, milho e soja durante dois anos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado nas safras agrícolas 2013/14 e 2014/15, nas coordenadas geográficas 27° 44' S e 52° 26' W, altitude de 680 m e clima Cfa (temperado úmido com verão quente) de acordo com a classificação de Köppen-Geiger (PEEL et al., 2007).

A precipitação pluviométrica é apresentada na figura 1. O solo foi classificado como Cambissolo Háplico Ta eutrófico (EMBRAPA, 2013) e apresentou, antes da instalação do experimento: pH água: 5,7; SMP: 5,9; MO: 3%; P: 3,7 e K: 120,0 mg L⁻¹; Ca: 18,3; Mg: 6,5; H+Al: 4,9; Al: 0; CTC efetiva: 25,1; e CTC_{pH7}: 30,0 cmol_c kg⁻¹; saturação por bases: 84%; argila: 30%. Foram realizados três experimentos, correspondentes a cultura de feijão, milho ou soja.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com três tratamentos e quatro repetições constituídas por parcelas de 3 x 10 m. Os três tratamentos foram: dois sistemas de plantas de cobertura e rotação de culturas em sistema plantio direto (PD) e a testemunha com pousio invernal em plantio convencional (PC) (Tabela 1).

Para avaliação das propriedades físicas do solo utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com parcelas subdivididas, sendo as parcelas os sistemas de manejo e subparcelas as camadas de 0-5, 5-10 e 15-20 cm de profundidade.

Antes do experimento, a área foi cultivada em PD por 10 anos e, nos últimos dois anos, cultivo consecutivos de soja no verão e no inverno utilizado para pastejo animal, sendo a vegetação composta predominantemente por azevém (*Lolium multiflorum*). Em maio de 2013 e 2014 foram semeadas as plantas de cobertura.

As densidades de semeadura foram: 130 plantas m⁻² de aveia preta, 100 plantas m⁻² de nabo forrageiro e 170 plantas m⁻² de ervilhaca comum; nos cultivos consorciados: 90 + 50 plantas m⁻² de aveia preta + ervilhaca comum; 90 + 30 plantas m⁻² de aveia preta + nabo forrageiro; e 170 + 35 plantas m⁻² de ervilhaca + nabo. A semeadura foi realizada com uma semeadora adubadora no espaçamento 0,17 m entre linhas e adubação de base de 200 kg ha⁻¹ da fórmula 08-24-12 (NPK) e adubação de cobertura com 45 kg ha⁻¹ de N. A adubação também foi realizada no tratamento pousio.

TABELA 1. Sistemas de manejo, rotação, plantas de cobertura de inverno e massa seca da parte aérea, na safra 2013/2014 e 2014/2015, antes do cultivo de feijão, milho e soja.

2013/2014			2014/2015		
Planta de cobertura de inverno	Massa seca (kg ha ⁻¹)	Cultura de verão	Planta de cobertura de inverno	de Massa seca (kg ha ⁻¹)	Cultura de verão
PD-Aveia + nabo ¹	4.074	Feijão	PD-Aveia	5.340	Milho
PD-Nabo	1.546	Feijão	PD-Nabo+ ervilhaca	6.358	Feijão
PC-Pousio	3.235	Feijão	PC-Pousio	3.674	Feijão
PD-Nabo+ ervilhaca	5.498	Milho	PD-Aveia+ nabo	4.312	Feijão
PD-Ervilhaca	5.623	Milho	PD-Aveia+ ervilhaca	6.266	Soja
PC-Pousio	3.235	Milho	PC-Pousio	3.674	Milho
PD-Aveia	4.439	Soja	PD-Nabo	1.405	Soja
PD-Aveia+ ervilhaca	6.413	Soja	PD-Ervilhaca	5.635	Milho
PC-Pousio	3.235	Soja	PC-Pousio	3.674	Soja

¹Nos tratamentos com plantas de cobertura do solo realizou-se rotação de culturas e sistema plantio direto (PD). No sistema de pousio no inverno, realizou-se o plantio convencional (PC) da cultura de verão de feijão, milho e soja, sempre no mesmo tratamento, sem rotação de culturas.

A dessecação das plantas de cobertura foi realizada com o herbicida glyphosate na dose de 1,08 kg ha⁻¹ + sethoxydim na dose de 0,22 kg ha⁻¹, 50 e 20 dias antes da semeadura, na safra 2013/14 e 2014/15, respectivamente.

A semeadura das culturas de verão foram realizadas no dia 24/11/2013 e 15/11/2014.

A densidade de semeadura foi de 30 plantas m⁻² para a cultura da soja (*Glycine max*) (BMX Alvo), 21 plantas de feijão preto m⁻² (*Phaseolus vulgaris* L.) (BRS Campeiro) e 6 plantas m⁻² para a cultura do milho (*Zea mays* L.) (AG 8041 PRO em 2013 e SX 7331 VIP em 2014), no espaçamento de 0,47 m entre linhas. A adubação de

base foi de 350 kg ha^{-1} , para as três culturas, da fórmula 05-30-15 (NPK), nos dois anos de cultivo.

As propriedades físicas do solo foram avaliadas em abril de 2014 e 2015, após a colheita das culturas de verão. Foram coletados anéis de 3 cm de altura e 5 cm de diâmetro para avaliar a densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macro e microporosidade nas camadas de 0-5, 5-10 e 15-20 cm de profundidade.

Foram avaliadas a massa seca das plantas de cobertura em área de $0,25 \text{ m}^2$. Na cultura do feijão, milho e soja foi avaliada a produtividade de grãos em área de 3 m^2 e a umidade corrigida à 13%.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e quando significativo às médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ocorreram alterações nas propriedades físicas do solo e algumas interações entre sistemas de manejo e camadas de solo na safra 2013/14 (Tabela 2) e na safra 2014/2015 não ocorreram interações (Tabela 3).

TABELA 2. Propriedades físicas do solo, rotação e plantas de cobertura do solo, para feijão, milho e soja, na safra 2013/14.

Planta de cobertura	Camada (cm)	Densidade do solo (g cm ⁻³)	Porosidade Total	Microporosidade (cm ³ cm ⁻³)	Macroporosidade
Feijão					
Aveia + nabo	0-5	1,39 Aa	0,57 Ab	0,50 Aa	0,07 Bb
	5-10	1,39 Aa	0,58 Aab	0,47 Aa	0,12 Ab
	15-20	1,41 Aa	0,58 Aa	0,48 Aa	0,10 Aba
Nabo	0-5	1,38 Aa	0,55 Ab	0,44 Bb	0,11 Ab
	5-10	1,41 Aa	0,58 Ab	0,46 Aba	0,11 Ab
	15-20	1,38 Aa	0,58 Aa	0,49 Aa	0,09 Aa
Pousio	0-5	1,13 Bb	0,65 Aa	0,38 Bc	0,27 Aa
	5-10	1,15 Bb	0,62 Aa	0,42 ABb	0,20 Ba
	15-20	1,37 Aa	0,55 Ba	0,45 Ba	0,10 Ca
Milho					
Ervilhaca + nabo	0-5	1,40 Aa	0,53 Ab		0,10 Ab
	5-10	1,43 Aa	0,57 Aa		0,11 Ab
	15-20	1,42 Aa	0,58 Aa		0,09 Aa
Ervilhaca	0-5	1,30 Aa	0,59 Aab		0,13 Ab
	5-10	1,43 Aa	0,57 Aa		0,10 Ab
	15-20	1,39 Aa	0,58 Aa		0,11 Aa
Pousio*	0-5	1,04 Cb	0,65 Aa		0,28 Aa
	5-10	1,20 Bb	0,60 Aa		0,17 Ba
	15-20	1,48 Aa	0,53 Ba		0,07 Ca
Milho					
Aveia + nabo				0,46 a	
Ervilhaca				0,47 a	
Pousio	0-5			0,42 a	
	5-10			0,42 B	
	15-20			0,46 AB	
Soja					
Aveia		1,36 a	0,55 a	0,47 ab	0,07 b
Ervilhaca + aveia		1,43 a	0,57 a	0,49 a	0,09 ab
Pousio		1,34 a	0,57 a	0,42 b	0,15 a
	0-5	1,31 B	0,60 A	0,46 A	0,14 A
	5-10	1,39 A	0,55 B	0,47 A	0,09 B
	15-20	1,43 A	0,54 B	0,45 A	0,08 B

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para o mesmo sistema de planta de cobertura (entre camadas de solo) e, letras minúsculas, entre sistemas de plantas de cobertura (mesma camada de solo), não diferem pelo teste de Tukey a 5%, para feijão, milho e soja. Para feijão e milho são apresentados os resultados com interação e para milho e soja os valores onde não houve interação sistema de manejo x camada de solo.

TABELA 3. Propriedades físicas do solo, rotação e plantas de cobertura do solo, para feijão, milho e soja, na safra 2014/15.

Planta de cobertura/ camada de solo	Densidade do solo (g cm ⁻³)	Porosidade Total ----- (cm ³ cm ⁻³) -----	Microporosidade	Macroporosidade
Feijão				
Ervilhaca + nabo	1,42 A	0,54 B	0,44 A	0,10 B
Aveia + nabo	1,34 A	0,56 B	0,44 A	0,12 B
Pousio	1,19 B	0,62 A	0,38 B	0,24 A
0-5	1,21 b	0,61 a	0,40 b	0,21 a
5-10	1,34 a	0,56 b	0,42 ab	0,14 b
15-20	1,40 a	0,55 b	0,45 a	0,11 b
Milho				
Aveia	1,34 A	0,58 A	0,44 A	0,13 B
Ervilhaca	1,35 A	0,58 A	0,43 A	0,15 B
Pousio	1,21 B	0,60 A	0,39 B	0,21 A
0-5	1,23 b	0,60 a	0,41 a	0,19 a
5-10	1,30 ab	0,58 a	0,42 a	0,17 a
15-20	1,38 a	0,57 a	0,43 a	0,14 a
Soja				
Nabo	1,36 A	0,59 A	0,46 A	0,12 A
Ervilhaca + aveia	1,41 A	0,54 A	0,44 A	0,10 A
Pousio	1,33 A	0,59 A	0,41 B	0,17 A
0-5	1,28 b	0,60 a	0,43 b	0,17 a
5-10	1,39 a	0,58 ab	0,44 ab	0,14 a
15-20	1,42 a	0,54 b	0,45 a	0,09 b

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para sistemas de planta de cobertura e, letras minúsculas para camadas de solo, não diferem pelo teste de Tukey a 5%, para feijão, milho e soja. Não houve interação entre sistemas de plantas de cobertura e camadas de solo.

TABELA 4. Produtividade de grãos da cultura do feijão preto (BRS Campeiro), milho (safra 2013/14 híbrido AG 8041 PRO e safra 2014/15 SX 7331 VIP) e soja (BMX Alvo), em sistemas manejo, rotação e plantas de cobertura de solo.

Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)					
Feijão preto		Milho		Soja	
Safra 2013/2014					
PD-Aveia + nabo	2.514 a	PD-Nabo + ervilhaca	9.727 ab	PD-Aveia	3.916 a
PD-Nabo	2.003 b	PD-Ervilhaca	11.043 a	PD-Aveia + ervilhaca	3.695 a
PC-Pousio	2.700 a	PC-Pousio	9.627 b	PC-Pousio	3.199 b
CV (%)	6,4		6,4		4,7
Safra 2014/2015					
PD-Aveia + nabo ¹	3.291 ns	PD-Aveia ²	7.739 b	PD-Nabo	4.674 a
PD-Nabo + ervilhaca	3.807	PD-Ervilhaca ³	10.414 a	PD-Aveia + ervilhaca ⁴	3.825 b
PC-Pousio	3.623	PC-Pousio	6.189 c	PC-Pousio	3.174 b
CV (%)	12,0		7,7		8,8

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, para cada safra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo. ^{1, 4}Milho na safra 2013/14. ^{2, 3}Feijão e soja na safra 2013/14, respectivamente.

3.1 Safra 2013/14

Os sistemas de PD com plantas de cobertura e rotação de culturas de feijão e milho apresentaram maior compactação do solo, avaliada por meio maior densidade do solo e menor macroporosidade, na camada de 0-5 e 5-10 cm, comparado ao sistema com PC (Tabela 2). Isto ocorreu em razão do revolvimento do solo com aração e gradagem no PC antes da semeadura da cultura de verão, que descompactou o solo na camada superficial.

Ainda, no PC verificou-se que na camada de 15-20 cm a compactação foi maior, em relação às camadas superiores, e não diferiu dos sistemas em PD, indicado

que a descompactação do solo pelo preparo convencional ocorreu em camada inferior a 15 cm de profundidade e se manteve durante o ciclo da cultura de verão, visto que a avaliação foi realizada após a colheita.

Menores valores de Ds e maior Pt em sistema de preparo convencional, em razão do revolvimento do solo na camada superficial, foram verificados em vários estudos (MARCOLAN, ANGHINONI, 2006; KLEIN, CAMARA, 2007; GUBIANI et al., 2014). No entanto, a menor compactação não resultou em maior produtividade de grãos do feijão (Tabela 4), conforme também verificado por Collares et al. (2006) e Gubiani et al. (2014).

Apesar de não haver diferença nas propriedades físicas do solo nos sistemas PD e menor compactação no PC, para a cultura do feijão foi obtida menor produtividade de grãos apenas quando cultivado após nabo forrageiro, em comparação ao PD com consórcio aveia preta + nabo e ao PC após pousio (Tabela 4). Isto possivelmente ocorreu em decorrência da grande incidência de mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) no feijão preto, em razão do nabo forrageiro ser hospedeiro dessa doença (BOLAND, HALL, 1994).

A alta incidência de mofo branco ocorreu por causa das altas precipitações pluviométricas (Figura 1) e umidade, que favoreceram o desenvolvimento da doença no feijão após nabo, mesmo a dessecação sendo realizada 50 dias antes da semeadura do feijão.

Essa doença é mais prejudicial para o feijão em condições de altas umidades e em lavouras irrigadas. Já no cultivo consorciado de nabo e aveia preta (25% nabo + 75% aveia) a manifestação da doença foi menos intensa em decorrência da menor quantidade de nabo forrageiro e da aveia não ser hospedeiro da doença, resultando em produtividade do feijão e igual à obtida no pousio no inverno.

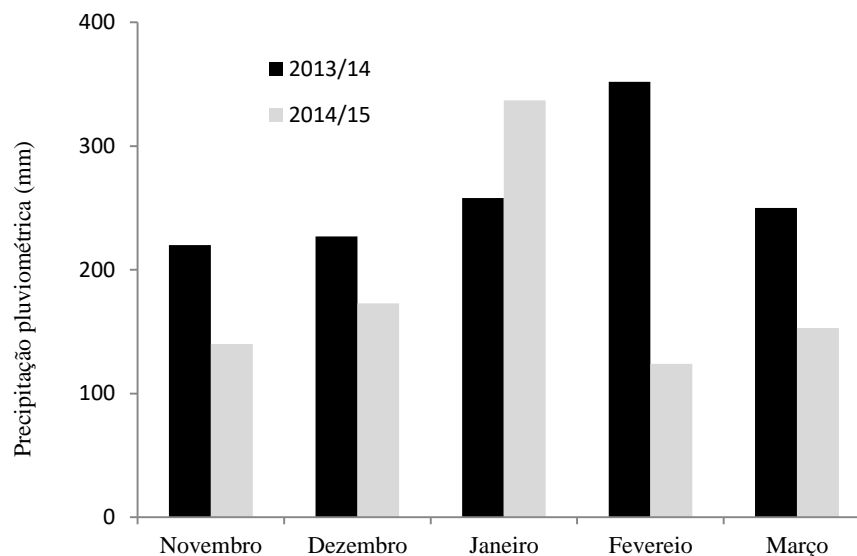


FIGURA 1. Precipitação pluviométrica, na área experimental, nas safras agrícolas 2013/14 e 2014/15.

A produtividade de grãos de feijão no PD com consórcio aveia + nabo não diferiu do PC após pousio, com menor compactação do solo. Isto em decorrência dos baixos valores de D_s , sendo inferiores a $1,6 \text{ g cm}^{-3}$, valor a partir do qual ocorre decréscimo da produtividade das culturas, segundo Reichert et al. (2009), para solos que apresentam conteúdo de argila de 30%, conforme determinado no experimento.

Isso indica baixo grau de compactação do solo, mesmo no PD com os maiores valores de D_s . Resultados semelhantes foram obtidos por Gubiani et al. (2014), em que a produtividade de grãos de feijão não diferiu entre PD e PDE (escarificado), porém foi menor no PD com compactação adicional pelo tráfego de quatro passadas de trator, permitindo inferir que um pouco de compactação no PD não reduz a produtividade de grãos de feijão.

Entre os dois sistemas de manejo em PD com utilização de plantas de cobertura, e rotação das culturas de verão, não foram verificadas diferenças nas propriedades físicas do solo, indicando que as diferentes plantas de cobertura de inverno e culturas de verão não alteraram o grau de compactação do solo em função da quantidade de massa seca das espécies, sistema radicular e materiais orgânicos diferenciados adicionados pelas plantas.

Balbinot Junior et al. (2011), também não observaram alterações nas propriedades físicas do solo após inclusão de plantas de cobertura e cultivo de feijão, milho e soja no verão, em PD. Martins e Rosa Junior (2005) também não verificaram

alterações na Ds e Pt, após a colheita de milho, com a utilização das plantas de cobertura de inverno de nabo, aveia e ervilhaca isoladas ou em consórcio, em PD.

A cultura do milho e PD após ervilhaca produziu mais massa de grãos comparado ao PC, nos dois anos, após pousio que apresentou menor compactação do solo. Isso, em razão da ervilhaca fixar e após sua decomposição liberar altas quantidades de N no solo, que é utilizado pela cultura do milho subsequente, que é uma gramínea altamente exigente e responsiva a N (AITA et al., 2001). No PD, com utilização de ervilhaca, a maior produtividade de milho ocorreu também em razão da ocorrência de um ano com precipitações pluviométricas bem distribuídas durante o ciclo da cultura, que ameniza o efeito da compactação do solo no PD, pela relação inversa da resistência do solo à penetração das raízes com a umidade do solo, sendo que à medida que aumenta a umidade do solo diminui a resistência à penetração e ao crescimento radicular (LIMA et al., 2012; GUBIANI et al., 2014). Ainda, no PD, ocorreram baixos valores de Ds, em relação aos valores limitantes (REICHERT et al., 2009), indicando que o solo não estava excessivamente compactado.

Porém, o PD com o consórcio ervilhaca + nabo apresentou a mesma produtividade de grãos de milho comparado ao PC pousio, possivelmente em razão da menor quantidade de massa de ervilhaca, que contém mais N em relação ao nabo, considerando que o grau de compactação não diferiu entre os dois sistemas com PD.

Neste contexto, o efeito benéfico da ervilhaca foi superior ao efeito nocivo da compactação do solo no PD com utilização de ervilhaca, resultando em maior produtividade de grãos de milho nesse sistema comparado ao PC. Ainda, a produtividade de grãos de milho no PD após consórcio ervilhaca + nabo foi igual a obtida no PC, indicando que o sistema de manejo (preparo do solo) tem pouca influência na produtividade.

Resultados semelhantes foram obtidos por Marcolan e Anghinoni (2006), que não verificaram diferença na produtividade de grãos de milho no PC comparado ao PD de 12 anos, após cultivo de aveia no inverno, mesmo com o PD apresentando maior Ds, menor Pt e macroporosidade do solo. Fidalski et al. (2015) também não verificaram aumento na produtividade de soja e milho, após aração e gradagem de Latossolo argiloso, em PD há 17 anos.

Na cultura da soja não houve interação entre sistemas de manejo e camadas de solo e verificou-se menor compactação na camada de 0-5 cm de profundidade, por meio

de menor Ds, maior Pt e macroporosidade. Porém, a produtividade de soja foi maior no PD com plantas de cobertura comparado ao PC após pousio no inverno, indicando efeito benéfico das plantas de cobertura e pouca influência do PD e PC. Na literatura, existem vários trabalhos de pesquisa comparando o PD e PC e também indicam resultados benéficos de algumas plantas de cobertura antecedendo a cultura principal.

No entanto, Klein & Camara (2007) não verificaram diferenças na produtividade de grãos de soja em PD comparado ao PC. Neste contexto, é necessário considerar o grau de compactação do solo no PD, que quando em excesso pode reduzir a produtividade das plantas (REICHERT et al., 2009), fato que possivelmente explica as produtividades das culturas similares no PD e PC ou, para a cultura da soja, produtividade superior no PD em razão do benefícios das plantas de cobertura e da baixa compactação do solo.

3.2 Safra 2014/15

Na segunda safra, as propriedades físicas do solo oscilaram menos entre os manejos e camadas e não ocorreu interação. Na cultura do feijão a Ds e a microporosidade foram menores e a Pt e macroporosidade foram maiores no pousio em PC. Para o milho e soja o pousio também apresentou menor compactação, porém, caracterizado por menor número de propriedades físicas.

A produtividade de grãos do feijão não diferiu entre os sistemas de PD e PC e de plantas de cobertura do solo. Para o milho, a maior produtividade foi obtida no PD com ervilhaca, conforme ocorreu na primeira safra, e a menor produtividade foi obtida no PC com pousio invernal. A maior produtividade de soja foi obtida no PD após nabo forrageiro e o PD com aveia + ervilhaca não diferiu do PC com pousio.

Esses resultados permitem inferir que o PC apesar de apresentar menor compactação, avaliada pelas propriedades físicas do solo, não promoveu maior produtividade de grãos das culturas de feijão, milho e soja e, que o PD com inclusão de plantas de cobertura e rotação de culturas é recomendado em função das inúmeras vantagens do sistema.

4. CONCLUSÃO

A rotação de culturas e plantas de cobertura, na maioria das vezes, aumentam a produtividade de grãos de milho e soja, comparado ao pousio no inverno e sem rotação de culturas.

O sistema plantio direto, com rotação de culturas, aumenta a compactação do solo na camada superficial comparado ao preparo convencional, porém não reduz a produtividade de grãos de feijão, milho e soja.

5. REFERÊNCIAS

- AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; ROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 157-165, 2001.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; VEIGA, M.; MORAES, A.; PELISSARI, A.; MAFRA, A. L.; PICCOLLA, C. D. Winter pasture and cover crops and their effects on soil and summer grain crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1357-1363, 2011.
- BOLAND, G. J.; HALL, R. Index of plant hosts of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Canadian Journal of Plant Pathology*, London, v. 16, n. 2, p. 93-108, 1994.
- BOTTA, G. F.; TOLON-BECERRA, A.; LASTRA-BRAVO, S.; TOURN, M. Tillage and traffic effects (planters and tractors) on soil compaction and soybean (*Glycine max* L.) yields in Argentinean pampas. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 110, n. 1, p. 167-174, 2010.
- COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Qualidade física do solo e produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1663-1674, 2006.
- COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. *Acompanhamento da safra brasileira: grãos, oitavo levantamento*, v. 4, n. 8. safra 2016/17. CONAB, 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_05_12_10_37_57_boletim_graos_maio_2017.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2017.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.
- FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA - FEBRAPDP. *Evolução da área de plantio direto no Brasil*. FEBRAPDP, 2012. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/download/PD_Brasil_2013.I.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2017.
- FIDALSKI, J.; YAGI, R.; TORMENA, C. A. Revolvimento ocasional e calagem em Latossolo muito argiloso em sistema plantio direto consolidado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 1483-1489, 2015.

GUBIANI, P. I.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Interação entre disponibilidade de água e compactação do solo no crescimento e na produtividade de feijoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 765-733, 2014.

GUBIANI, P. I.; VAN LIER, Q. J.; DRESCHER, M. S.; MEZZOMO, H. C.; VEIGA, C. M. C. Relação entre densidade do solo e conteúdo de água em repetidos ciclos de contração e expansão em um Latossolo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 39, n. 1, p. 100-108, 2015.

KLEIN, V. A.; CAMARA, R. K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 221-227, 2007.

LIMA, C. L. R.; MIOLA, E. C. C.; TIMM, L. C.; PAULETTO, E. A.; SILVA, Á. P. Soil compressibility and least limiting water range of a constructed soil under cover crops after coal mining in Southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 124, n. 2, p. 190-195, 2012.

MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 163-170, 2006.

MARTINS, R. M. G.; ROSA JUNIOR, E. J. Culturas antecessoras influenciando a cultura de milho e os atributos do solo no sistema de plantio direto. *Acta Scientiarum: Agronomy*, Londrina, v. 27, n. 2, p. 225-232, 2005.

MOALEMI ORE, A.; KARPARVARFARD, S. H. Effects of soil compaction due to wheel traffic on corn growth and yield. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, Tehran, v. 11, n. 4, p. 579-594, 2008.

NAWAZ, M. F.; BOURRIÉ, G.; TROLARD, F. Soil compaction impact and modelling. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, Paris, v. 33, n. 2, p. 291-309, 2013.

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

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 & Tillage Research*, Amsterdam, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009.

ROSIM, D. C.; MARIA, I. C.; SILVA, R. L.; SILVA, Á. P. Compactação de um Latossolo Vermelho distroférico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. *Bragantia*, Campinas, v. 71, n. 4, p. 502-508, 2012.

SICZEK, A.; LIPIEC, J. Soybean nodulation and nitrogen fixation in response to soil compaction and surface straw mulching. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 114, n. 1, p. 50-56, 2011.

SILVA, S. G. C.; SILVA, Á. P.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; SÁ, J. C. M. Temporary effect of chiseling on the compaction of a Rhodic Hapludox under no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 547-555, 2012.

TORMENA, C. A.; SILVA, Á. P.; LIBARDI, P. L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 52, n. 3/4, p. 223-232, 1999.