

Rendimento do milho em diferentes condições físicas de solo e quantidade de resíduo na ausência ou na presença de irrigação

Corn response in different physical conditions of soil and amount soil cover residues with or without irrigation

Osmar Conte^I Renato Levien^{II} Carlor Ricardo Trein^{II} Henrique Debiasi^{III} Michael Mazurana^{IV}

RESUMO

Visando avaliar o efeito do tráfego de máquinas, da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo e da quantidade de resíduos presentes na superfície do solo sobre o desempenho do milho, com e sem irrigação, foi conduzido um experimento, em semeadura direta, sobre um Argissolo Vermelho Distrófico. O delineamento foi de blocos casualizados (DBC), com 36 parcelas, sendo 18 irrigadas e 18 sem irrigação. Os tratamentos consistiram de seis doses de resíduos de aveia preta consorciada com ervilhaca (0, 2, 4, 5, 6 e 8Mg ha⁻¹), duas profundidades teóricas de atuação da haste sulcadora de adubo da semeadora (6 e 12cm) e duas condições de tráfego de máquinas (trator e colhedora), sendo enquadrados numa análise trifatorial com três repetições. A semeadura do milho foi realizada em 10 de dezembro de 2005, com densidade de 62.000 sementes por hectare. A adubação usada foi de 400kg ha⁻¹ da formulação NPK 5-20-20 e duas aplicações de nitrogênio, totalizando 180kg ha⁻¹. Foram avaliados o rendimento de grãos, a população e a matéria seca de raízes. Tanto a população de plantas, quanto o rendimento de grãos do milho, foram influenciados pela presença ou não de irrigação. A profundidade de atuação das hastes sulcadoras não interferiu em nenhuma das variáveis avaliadas no milho. A condição de tráfego de rodado afetou a produtividade e a população de plantas.

Palavras-chave: semeadura direta, tráfego controlado, produtividade de milho, semeadoras-adubadoras.

ABSTRACT

This study evaluates the effect of machine traffic, soil mobilization, soil cover by crop residues and water supply on corn under no tillage on a Paleudult. Machine traffic

intensity, working depth of driller shank furrow opener for fertilizer deposition and amount of residues covering the soil surface, with and without irrigation, were evaluated. The experimental design used was split plot, with 36 plots being 18 with irrigation and 18 without irrigation. The treatments were quantities (0, 2, 4, 5, 6 and 8Mg ha⁻¹) of black oats (*Avena strigosa*) and vetch (*Vicia sativa*) residues, two driller shank depths for fertilizer deposition (6 and 12cm) and traffic machine conditions (tractor and combine) in a triple factorial design with three replicates. Corn was sowed in 12/10/2005, using 62.000 seeds per hectare. A basal dressing of NPK 5-20-20 was applied at a rate of 400kg ha⁻¹. Two top dressing nitrogen applications were performed, totalizing 180kg ha⁻¹ of N. Corn grain yield, plant population and root dry matter were evaluated. Corn yield and plant population were influenced by presence or absence of irrigation. None of the above parameters were modified by working depth of driller shank furrow opener for fertilizer deposition. Wheel traffic conditions affected corn yield and plant population.

Key words: no tillage, controlled traffic, corn productivity, seed drill.

INTRODUÇÃO

O sistema de semeadura direta difundido no Sul do Brasil tem como uma das premissas o uso de espécies de cobertura de solo no inverno, resultando em benefícios para o sistema de produção, principalmente no que se refere às características físicas, químicas e biológicas do solo (MELLO, 2006). Essas culturas, ao final de seu ciclo, deixam sobre o solo

^IPrograma de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Av. Bento Gonçalves, 7712, 91540-000, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: agroconte@yahoo.com.br. Autor para correspondência.

^{II}Departamento de Solos, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

^{III}Embrapa Soja, Londrina, PR, Brasil.

^{IV}Curso de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

diferentes quantidades de biomassa em função das particularidades de cada espécie, período de crescimento, adubação, uso em pastejo e microclima, dentre outros fatores. Em semeadura direta, a manutenção permanente de cobertura sobre o solo, aliada à entrada constante e elevada de carbono no sistema, mantém a qualidade do solo, pois as taxas de entrada superam as de perda, similarmente ao que ocorre em sistemas naturais (SHUKLA & LAL, 2005; MELLO, 2006). Assim, sistemas agrícolas que possibilitem adições maiores que as perdas terão suas propriedades melhoradas, o que afetará de forma positiva o desempenho dos cultivos (DEBIASI, 2008). Atualmente, uma preocupação freqüente entre os produtores está relacionada aos efeitos da compactação do solo sobre o desempenho produtivo das culturas, que, de acordo com DEBIASI (2008), é mais pronunciado quando ocorre déficit hídrico. Uma das principais causas da compactação do solo corresponde ao tráfego de máquinas agrícolas, afetando principalmente a densidade do solo e a resistência mecânica à penetração (RAPER, 2005). Porém, a compressão do solo ocorre somente quando a magnitude da tensão aplicada ao solo ultrapassar sua resistência ao cisalhamento (BRAIDA, 2004). Dessa forma, a compactação do solo pode ser evitada mediante a redução da massa das máquinas ou o aumento da área de contato rodado/solo (RAPER, 2005), bem como o uso de pressões de inflação dos pneus adequadas à carga suportada por estes (MAZETTO et al., 2004). No entanto, o uso de tratores leves e, em conseqüência, menos potentes pode implicar aumento do número de passadas (JORAJURÍA COLLAZO, 2005), de modo a resultar em danos à estrutura do solo semelhantes aos observados com trator pesado trafegando menos vezes sobre o solo (JORAJURIA & DRAGHI, 1997). Por outro lado, o teor de água a partir do qual a compactação do solo pelo tráfego se torna desprezível pode ser tão baixo a impossibilitar, tecnicamente, a realização de determinadas operações, como a semeadura e a aplicação de agrotóxicos (DEBIASI, 2008). Tais problemas podem ser contornados por meio de medidas alternativas de controle da compactação, como a restrição do tráfego a determinadas regiões dentro da área agrícola (tráfego controlado).

O uso de hastes sulcadoras é uma das alternativas à redução dos efeitos negativos da compactação excessiva do solo sobre o crescimento das plantas. A aplicação dos fertilizantes em profundidade pode beneficiar a cultura, tendo em vista a possibilidade de estímulo ao aprofundamento do sistema radicular das plantas. Entretanto, o trabalho

dos mecanismos rompedores do solo para a deposição do adubo pode deixar grandes espaços de ar próximos das sementes, prejudicando sua emergência (PRADO et al., 2002) e aumentando a demanda de potência exigida no trator, principalmente ao atuarem em maior profundidade (CONTE et al., 2007).

O presente trabalho é norteado pelas seguintes hipóteses: a) maior dose de resíduos culturais na superfície proporciona uma melhor condição de solo, que resulta em melhor desempenho da cultura do milho, expressando-se em rendimento de grãos, sendo esse efeito maximizado na ausência de irrigação; b) a atuação da haste sulcadora para deposição do fertilizante em maior profundidade, mobilizando maior volume de solo na linha de semeadura, se reflete em melhor desempenho da cultura; c) o rendimento de grãos do milho é influenciado pelo tipo de tráfego (trator ou colhedora de grãos), afetando a condição física de solo.

Este trabalho teve por objetivo estudar o efeito de diferentes doses de resíduo de aveia preta e ervilhaca aplicadas sobre a superfície do solo no momento da semeadura do milho, da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo e do tráfego de rodados do trator e da colhedora na população e no rendimento de grãos de milho em semeadura direta, na presença ou na ausência de irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento está instalado na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), localizada no Município de Eldorado do Sul (30°4'S e 51°43'W), Rio Grande do Sul (RS), região fisiográfica da Depressão Central, e vem sendo conduzido desde o ano de 2000. A região possui precipitação média anual de 1.440mm, e o clima é subtropical – Cfa (BERGAMASCHI et al., 2003). O solo do local apresenta textura arenosa, com 220g kg⁻¹ de argila, sendo classificado como um Argissolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 1999).

O experimento foi dividido em dois grandes blocos (irrigado e não irrigado), com 18 parcelas de 5,5 por 7m com delineamento de blocos casualizados (DBC) e três repetições. Os tratamentos principais englobam seis doses de resíduos de aveia preta consorciada com ervilhaca sobre o solo no momento da semeadura da cultura de verão: 0, 2, 4, 5, 6 e 8Mg ha⁻¹. Antecedendo a semeadura do milho, as culturas de aveia preta e ervilhaca foram dessecadas e, após a palhada secar, foram colhidas. Na colheita, a palha proveniente do saca-palhas e das peneiras da colhedora foi coletada com auxílio de uma lona plástica e, após a pesagem da

quantidade necessária em cada parcela, as doses de resíduo foram uniformemente distribuídas sobre as parcelas.

A irrigação na área experimental foi usada de forma suplementar quando a pluviosidade era insuficiente ou não ocorreu como verificado em boa parte do ciclo do milho neste experimento. O conjunto de irrigação usado, com motobomba e aspersores, possibilitava a aplicação de água a uma taxa de 17mm h⁻¹. Quando não havia registro de chuva, foi ligado semanalmente por um período de três horas.

Essa área experimental vem sendo manejada desde 2000 nas operações com máquinas agrícolas de forma a se ter um tráfego controlado de rodados, ou seja, dentro de cada parcela experimental há zonas não trafegadas e trafegadas por rodados de colhedora ou trator, com efeito de tráfego agrícola acumulado por seis cultivos afetando as condições físicas de solo. No entanto, quando a cultura é o milho, devido ao espaçamento utilizado (90cm), não há linhas dispostas nas zonas sem tráfego, tendo em vista que o experimento foi planejado para a cultura da soja (45cm de espaçamento entrelinhas). Diante disso, neste trabalho, foram estudadas duas condições de tráfego: trator e colhedora, já que cada uma destas imprime pressões diferenciadas ao solo e, dessa forma, podem-se obter distintas condições físicas de solo. Na semeadura das culturas de verão, têm-se duas profundidades teóricas de atuação das hastes sulcadoras (6 e 12cm) e, dessa forma, as parcelas, dentro de cada grande bloco, enquadram-se numa análise trifatorial (6 doses de resíduos x 2 condições de tráfego x 2 profundidades de atuação das hastes sulcadoras).

A semeadura do milho (Dow Agrosciense 766, híbrido simples modificado) foi realizada no dia 10 de dezembro de 2005, empregando-se uma semeadora-adubadora equipada com três linhas espaçadas de 90cm, regulada para dispor 62.000 sementes por hectare a uma profundidade de 5cm. A profundidade média efetiva de abertura de sulco na semeadura foi de 6,7 e 11,3cm, respectivamente, para as profundidades teóricas de 6 e 12cm. Para tracionar a semeadora, foi utilizado um trator 4x2 TDA, operando na velocidade de 5,6km h⁻¹, com massa de 3.835kg, pneus traseiros 18.4-30 R1 e dianteiros 12.4-24 R1, com pressão de inflação de 95 e 110kPa e a pressão de contato de 115 e 120kPa, respectivamente. A colhedora utilizada possui massa de 7.200kg; pneus dianteiros 18.4-30 R1 e traseiros 10.5/80-18, com pressão de inflação de 138 e 200kPa e pressão de contato dos pneus com solo de 173 e 260kPa, respectivamente, determinada pelo método de O'SULLIVAN et al. (1999).

Na semeadura do milho, foram aplicados 400kg ha⁻¹ da formulação NPK 5-20-20. Posteriormente, foram realizadas duas aplicações de N na forma de uréia, nos estádios V4 e V9, com doses equivalentes a 60 e 100kg ha⁻¹, respectivamente. De acordo com as recomendações da CQFS RS/SC (2004), a dose de 180kg ha⁻¹ de N é recomendada para uma expectativa de produtividade de grãos de 10Mg ha⁻¹, a qual é condizente com o uso da irrigação. O controle de pragas e plantas daninhas foi realizado de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do milho no Estado do RS.

As avaliações realizadas no decorrer do ciclo do milho iniciaram com a determinação, aos 30 dias após a semeadura (DAE), da população de plantas, obtida por contagem destas em dois metros de linha em cada um dos tratamentos. A avaliação da massa de raízes foi realizada quando o milho encontrava-se em R3 (grão leitoso). Para isso, foram retiradas amostras de solo com um trado calador até a profundidade de 12cm. A determinação da massa seca de raízes foi realizada nos blocos irrigado e não irrigado. Dentro de cada um desses blocos, amostrou-se separadamente para cada dose de resíduo e profundidade de atuação das hastes sulcadoras, sem distinção entre as condições de tráfego. Em laboratório, as amostras foram dispersas em água com NaOH 1M e passadas em peneira de malha 1mm, permitindo a separação e a lavagem das raízes. Posteriormente, foram secadas em estufa a 60°C e pesadas, possibilitando o cálculo da massa seca de raízes por hectare. Para determinar a produtividade de grãos, as espigas de 5m em 4 linhas de semeadura de cada parcela foram colhidas, de forma a se obter esse dado para todos os tratamentos. As amostras foram trilhadas. Os grãos foram pesados e, em seguida, foram secos em estufa a 105°C até peso constante, sendo ajustada a umidade para 13%.

Também foram avaliados os atributos de solo, tais como a porosidade (macro, micro, total), a densidade e a resistência do solo à penetração mecânica nas distintas condições de solo no que diz respeito às distintas condições de tráfego. A amostragem e as análises de atributos físicos de solo foram realizadas de acordo com a metodologia proposta em EMBRAPA (1997), e a determinação da resistência do solo à penetração mecânica seguiu os padrões normatizados pela ASAE 2004.

Os dados referentes à população de plantas e rendimento de grãos foram submetidos à ANOVA com probabilidade de erro de 5%. Em caso de significância para os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Duncan. Para a análise estatística dos resultados de massa seca de raízes, o

teste t foi aplicado, comparando-se os contrastes (irrigado e não irrigado) e, dentro de cada uma dessas condições, o tipo de tráfego de rodados (trator ou colhedora) e as profundidades de atuação das hastes sulcadoras (6 e 12cm).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação à massa seca de raízes de milho, avaliadas até a profundidade de 12cm, não se encontrou diferença no tratamento doses de resíduos, profundidades de atuação das hastes sulcadoras da semeadora e condições de tráfego, dentro dos blocos, com e sem irrigação. A falta de diferença na quantidade de raízes entre os tratamentos, irrigado e não irrigado, surpreendeu. TAYLOR & GARDNER (1963) determinaram que a uma mesma densidade do solo, a penetração radicular diminui com a redução da umidade. Portanto, eram esperados valores mais elevados de massa seca de raízes de milho nos tratamentos

submetidos à irrigação. A massa seca média de raízes encontrada foi de 2.878 e 2.763kg ha⁻¹ para a condição irrigada e não irrigada, respectivamente. A ausência de diferença entre os referidos tratamentos expostos para essa variável, pode ser atribuída, em parte, à alta variabilidade dos dados (CV=36%). Essa alta variabilidade pode estar associada ao método de avaliação adotado, que serve para a estimativa da massa de raízes presente, porém não é sensível à variabilidade espacial na distribuição.

Pelos dados apresentados na tabela 1, é possível fazer inferências sobre a condição física de solo nas distintas condições de tráfego e na ausência deste. De acordo com os atributos de solo avaliados, percebe-se que a presença de tráfego de máquinas altera a estrutura do solo em relação à área sem tráfego, de acordo com os resultados de macroporosidade, densidade de solo e resistência à penetração apresentados na tabela 2. Sabendo-se que a pressão aplicada ao solo sob o pneu da colhedora foi maior que

Tabela 1 - Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total do solo, densidade do solo e resistência à penetração antes da implantação da cultura do milho nos locais sem tráfego e com tráfego do trator e da colhedora em função da camada de solo.

Profundidade (cm)	-----Condição de tráfego-----			Média
	Trator	Colhedora	Sem tráfego	
-----Macroporosidade (m ³ m ⁻³)-----				
3-6	0,10	0,11	0,15	0,12 a
12-15	0,09	0,10	0,11	0,10 b
Média	0,10 A	0,11 A	0,13 B	0,11
-----Microporosidade (m ³ m ⁻³)-----				
3-6	0,33	0,32	0,32	0,32 a
12-15	0,35	0,33	0,32	0,33 b
Média	0,34 A	0,32 B	0,32 B	0,33
-----Porosidade total (m ³ m ⁻³)-----				
3-6	0,44	0,43	0,46	0,44 a
12-15	0,43	0,42	0,43	0,43 b
Média	0,44 AB	0,43 B	0,45 A	0,44
-----Densidade do solo (mg m ⁻³)-----				
3-6	1,53	1,51	1,43	1,49 a
12-15	1,58	1,62	1,54	1,58 b
Média	1,56 A	1,56 A	1,48 B	1,54
-----Resistência à penetração (MPa)-----				
0-6	0,17 d	0,15 c	0,09 d	0,14 d
6-12	1,19 c A	1,29 bA	0,98 cB	1,15 c
12-18	1,62 bB	1,78 aA	1,31 bC	1,57 b
18-24	1,75abA	1,82 aA	1,48 aB	1,68 a
24-30	1,79 aA	1,79 aA	1,59 aB	1,72 a
Média ¹	1,30 B	1,37 A	1,09 C	1,25

Macroporosidade: CV Tráfego: 24,57%, CV Profundidade: 25,99%. Microporosidade: CV Tráfego: 5,35%, CV Profundidade: 4,49%. Porosidade: CV Tráfego: 6,08%, CV Profundidade: 6,25%. Densidade: CV Tráfego: 5,56%, CV Profundidade: 6,31% ¹ Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%) Resistência à penetração: CV Tráfego: 10,13%, CV Profundidade: 9,01%. ¹ Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%).

Tabela 2 - População de plantas de milho em função da profundidade de atuação da haste sulcadora e da condição de tráfego e irrigação.

Profundidade (cm)	-----Irrigado-----		-----Não irrigado-----	
	Tráfego de trator	Tráfego de colhedora	Tráfego de trator	Tráfego de colhedora
6	51.413 a	52.555 a	45.937 a	40.825 a
12	51.683 a	54.763 a	46.651 a	42.857 a
Média	51.548 A	53.658 A	46.294 A	41.841 B
Média ¹	52.603 A		44.068 B	

Dentro dos subexperimentos irrigado e não irrigado, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($P < 0,05$). Coeficiente de variação para população = 25%.

¹ População média em função da presença ou ausência de irrigação.

a aplicada pelo trator, esperava-se que os atributos de solo avaliados fossem alterados de forma diferenciada, o que não ocorreu, à exceção da resistência do solo à penetração. É provável que esta tenha sido capaz de detectar diferenças com relação às condições de tráfego, pois foi a única avaliação que se estendeu por uma profundidade maior (30cm). É importante lembrar que as avaliações físicas de solo foram realizadas antes da semeadura do milho e, dessa forma, o último tráfego na área foi da colhedora no manejo das culturas de cobertura e, em sucessão a essa avaliação, seria realizado o tráfego de trator na semeadura do milho.

Ao se submeterem os dados de rendimento de grãos e população de plantas de milho à análise de variância ($P < 0,05$), não se obteve significância na interação entre os fatores causadores de variação (doses de resíduos, tráfego de máquinas e profundidades de sulcamento), tanto na presença de irrigação, quanto na ausência. No bloco irrigado, nenhum dos fatores afetou o rendimento de grãos e a população de plantas, já no bloco sem irrigação o rendimento de grão foi influenciado significativamente por dose de resíduo sobre o solo e a condição de tráfego. O último fator também interferiu no número final de plantas.

Na tabela 2, observa-se que a população de plantas de milho foi menor na condição sem irrigação e dentro desta mesma, onde não houve tráfego de rodado de trator no momento da semeadura, mas sim de rodados colhedora na ocasião da colheita dos resíduos do consórcio aveia preta+ervilhaca antecedendo a semeadura. A justificativa para a redução no número de plantas no bloco sem irrigação em relação ao irrigado ampara-se na ausência de chuvas nas duas semanas que sucederam a semeadura. As doses de resíduos sobre o solo e a profundidade de atuação da haste sulcadora não afetaram a população final de milho, concordando com os resultados de XAVIER (2005). A menor população de milho, nas linhas com tráfego de colhedora, pode ter como causa a maior pressão aplicada

ao solo pelos seus rodados e, conseqüentemente, o maior grau de compactação nessa região (Tabela 1), visto que esta trafegou na área alguns dias antes da realização da semeadura. A baixa população de plantas com relação ao número de sementes utilizado demonstra que algum fator contribuiu para a redução no estande. Cabe destacar que a velocidade de semeadura utilizada nesse experimento ($5,6 \text{ km h}^{-1}$) encontra-se aquém dos valores que foram capazes de prejudicar a população final de plantas em trabalho realizado por MAHL et al. (2004).

O rendimento de grãos do milho foi influenciado positivamente pelo uso da irrigação (Tabela 3). Na média, o rendimento de grãos foi 2,2 vezes superior nos tratamentos irrigados do que nos sem irrigação. A ocorrência de períodos de déficit hídrico durante o ciclo de desenvolvimento do milho pode ter colaborado para que as diferenças entre as condições, irrigada e não irrigada, em termos de rendimento de grãos dessa cultura, fossem acentuadas. O rendimento de grãos obtido na ausência de irrigação foi baixo, porém é condizente com a média obtida no Estado do RS nos últimos anos (CONAB, 2006). É pertinente associarmos o rendimento do milho na ausência de irrigação com a menor população de plantas nessa mesma condição e sua influência sobre componentes de rendimento como número de plantas e espigas por área, contribuindo para redução no rendimento de grãos. Segundo FORSTHOFER (2006), o milho responde muito bem ao emprego de tecnologia. Apesar da época em que a semeadura foi realizada, considerada tardia para obterem-se as melhores condições de radiação e pluviosidade para a região em que esse estudo foi realizado, o rendimento obtido com irrigação foi satisfatório.

A quantidade de resíduos na superfície do solo afetou significativamente o rendimento de grãos do milho, mas somente na condição sem irrigação (Tabela 3). Verifica-se que, na ausência de irrigação, doses iguais ou superiores a 4 Mg ha^{-1} de resíduos

Tabela 3 - Produtividade de milho (Mg ha^{-1}), em função da quantidade de resíduos sobre o solo, tráfego de máquinas e profundidades de atuação do sulcador, na presença e ausência de irrigação.

Doses de resíduo Mg ha^{-1}	Irigado		Não irrigado	
0	7.837a		2.929c	
2	7.988a		2.949c	
4	8.097a		3.596ab	
5	7.979a		3.935a	
6	8.202a		3.959a	
8	8.076a		4.147a	
Média ¹	8.351A		3.612B	
Profundidade do sulcador (cm)	-----Irigado-----		-----Não irrigado-----	
	Tráfego de trator	Tráfego de colhedora	Tráfego de trator	Tráfego de colhedora
6	8.260 a	8.179 a	4.234 a	3.271 a
12	8.446 a	8.517 a	3.930 a	2.935 a
Média	8.353 A	8.348 A	4.082 A	3.116 B
Média ¹	8.351	A	3.612	B

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($P < 0,05$). Coeficientes de variação: Irrigado (13%), Não Irrigado (17%).

Para as condições de tráfego e profundidade de sulcamento, dentro dos sub-experimentos irrigado e não irrigado, médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna, e maiúsculas na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

¹ Produtividade média em função da presença ou ausência de irrigação.

resultaram nos maiores rendimentos, possivelmente em função da menor evaporação de água do solo proporcionada pela palhada, corroborando os resultados de TABOADA (2004). Outro fato relevante a se considerar é que esse experimento encontra-se no sexto ano de condução com os mesmos tratamentos, de modo que as parcelas onde são aplicadas as maiores doses de resíduos podem estar com condições de solo melhores, proporcionadas pela maior entrada de biomassa no sistema (SHUKLA & LAL, 2005) e ciclagem da mesma, refletindo-se positivamente no desempenho produtivo das culturas. Da mesma forma, o efeito somado de seis anos de tráfego diferenciado de máquinas originou condições físicas de solo distintas, de acordo com a localização do tráfego e pressão impressa em função da máquina agrícola usada.

Assim como a população de plantas, o rendimento de grãos não foi influenciado pelo tráfego diferenciado de rodados do trator ou da colhedora e pela profundidade de atuação da haste sulcadora na presença de irrigação (Tabela 3). Porém, na condição sem irrigação, o rendimento de grãos foi maior nas linhas semeadas sobre o tráfego de trator. Esse resultado não surpreende, visto que as pressões aplicadas ao solo pelos rodados do trator são menores do que as impostas pelos rodados da colhedora, resultando numa condição física de solo melhor para o desenvolvimento radicular das plantas. Segundo dados de DEBIASI (2008), na ocorrência de déficit hídrico, a maior compactação resultante da aplicação de grandes

pressões ao solo reduz a produtividade dos cultivos. Essa explicação é apoiada ainda pelo emprego, neste trabalho, de um trator leve, o que diminui a compactação em subsuperfície (ALAKUKKU et al., 2003). Nesse sentido, BOTTA et al. (2006), utilizando um trator de massa semelhante ao empregado neste trabalho, concluíram que a realização de oito passadas não compactou o solo a profundidade maior do que 10cm. O fato de o rendimento de grãos do milho ter sido maior sob tráfego de trator pode estar relacionado à menor população de plantas observada nas regiões trafegadas por rodados de colhedora. Ambos os resultados, provavelmente, tenham a mesma causa. Quanto ao efeito da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo sobre o rendimento do milho, esperava-se que maior mobilização do solo, resultante de um sulcamento mais profundo (12cm), proporcionaria melhor desempenho no rendimento de grãos milho, por melhorar as condições físicas do solo, ao menos na linha de semeadura. Tal fato deveria ser mais evidente na condição de tráfego de colhedora, que aplica maiores pressões ao solo e, assim, possivelmente resulte em piores condições físicas na superfície e subsuperfície, comparativamente ao tráfego de rodados de trator. No entanto, os dados apresentados na tabela 3 mostram que não houve diferenças significativas na produtividade do milho em função das profundidades de atuação da haste sulcadora de adubo. Isso pode estar relacionado à ocorrência de períodos de déficit hídrico acentuados durante o ciclo de desenvolvimento

da cultura do milho na safra 2005/2006. Sob deficiências hídricas muito fortes ou que ocorram em períodos críticos da cultura, BEUTLER (2005) obteve que o aumento da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo não implicou aumentos significativos na produtividade de soja e milho.

CONCLUSÕES

A população de milho foi afetada pela presença ou não da irrigação e pela condição de tráfego sob a linha de semeadura, sendo menor na ausência de irrigação e sob tráfego de rodados de colhedora. Na condição irrigada, o rendimento de grãos do milho não foi afetado por nenhum dos tratamentos, mas na ausência de irrigação foi maior nas maiores doses de resíduos sobre o solo e onde o tráfego de rodados aplicou menor pressão ao solo (tráfego de trator). Já a profundidade de atuação das hastes sulcadoras não afetou nenhuma das variáveis avaliadas na cultura do milho.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- ALAKUKKU, L. et al. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review. Part 1. Machine/soil interactions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.73, n. 1, p.145-160, 2003. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TC6-48TMFJ3-7&_user=687358&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000037899&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687358&md5=d38042d2f2fc969248b763682778c94f. Doi: 10.1016/S0167-1987(03)00107-7.
- ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Soil Cone Penetrometer** – ASAE S313.3. Saint Joseph, 2004. 2p.
- BERGAMASCHI, H. et al. **Clima da Estação Experimental UFRGS**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 78p.
- BEUTLER, J.F. **Parâmetros de solo e máquinas na semeadura direta de milho e soja em duas coberturas de solo sobre campo natural**. 2005. 107f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.
- BOTTA, GF. et al. Light tractor traffic frequency on soil compaction in the Rolling Pampa region of Argentina. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.86, p.9-14, 2006. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TC6-4FN29V7-1&_user=687358&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000037899&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687358&md5=4182ddac222d792e9965601fdb60e1. Doi: 10.1006/jaer.1996.0141.
- BRAIDA, J.A. **Acúmulo de resíduos vegetais na superfície e de matéria orgânica no solo e suas implicações no comportamento mecânico do solo sob plantio direto**. 2004. 106f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do RS e SC**. 10.ed. Porto Alegre: SBSC - Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.
- CONAB. Acesso: 25 Fev. 2007. Online. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=131>.
- CONTE, O. et al. Demanda de tração em haste sulcadora na integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo e sua relação com o estado de compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.220-228, 2007.
- DEBIASI, H. **Recuperação física de um Argissolo compactado e suas implicações sobre o sistema solo-máquina-planta**. 2008. 263f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, RS.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- EMBRAPA. **Manual de métodos e análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212p.
- FORSTHOFER, E.L. et al. Desempenho agrônomico e econômico do milho em diferentes níveis de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.41, n.3, p.399-407, 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2006000300005&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Doi: 10.1590/S0100-204X2006000300005.
- JORAJURÍA COLLAZO, D. Compactación del suelo agrícola inducida por tráfico vehicular. Una revisión. In: JORAJURÍA COLLAZO, D. (Ed.). **Reología del suelo agrícola bajo tráfico: modificaciones físico-mecánicas del suelo vinculadas a la compactación debida al tráfico agrario**. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2005. p. 39-55.
- JORAJURÍA, D.; DRAGHI, L. The distribution of soil compaction with depth and the response of a perennial forage crop. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v.66, n.4, p.261-265, 1997. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6WH1-45NJK1V-4&_user=687358&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000037899&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687358&md5=4182ddac222d792e9965601fdb60e1. Doi: 10.1006/jaer.1996.0141.

- MAHL, D. et al. Demanda energética e eficiência da distribuição de sementes de milho sob variação de velocidade e condição de solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.150-157, 2004.
- MAZETTO, F.R. et al. Avaliação do contato pneu-solo em três modelos de pneus agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.750-757, 2004.
- MELLO, N.A. **Efeito do sistema de manejo nos atributos do solo, movimentação de sedimentos e exportação de carbono orgânico numa microbacia rural sob cultura do fumo**. 2006. 273f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, RS.
- O’SULLIVAN, M.F. et al. Simplified method for estimating soil compaction. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 49, p325-335, 1999. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TC6-3VNR6K6-5&_user=687358&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&acct=C000037899&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687358&md5=00771369c31091438d3a1af54106fba0. Doi: 10.1016/S0167-1987(98)00187-1.
- PRADO, R. M. et al. 2002. **Manejo mecanizado de atividades para implantação de culturas**. Jaboticabal, SP: Engenharia Agrícola, 2002. 99p. (Série Engenharia Agrícola. Mecanização. Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola).
- RAPER, R.L. Agricultural traffic impacts on soil. **Journal of Terramechanics**, Amsterdam, v.42, n.3-4, p.259-280, 2005. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V56-4FSFXNX-1&_user=687358&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&acct=C000037899&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687358&md5=9f4c4206e04192c3c647af0eb92708fb. Doi: 10.1016/j.jterra.2004.10.010.
- SHUKLA, M.K.; LAL, R. Erosional effects on soil organic carbon stock in on-farm study on Alfisols in West central Ohio. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.81, p.173-181, 2005.
- TABOADA, M.A. Efectos del pastoreo y pisoteo animal sobre las propiedades física de suelos. In: JORAJURÍA COLLAZO, D. (Org.) **Reología del suelo agrícola bajo tráfico: modificaciones físico-mecánicas del suelo vinculadas a la compactación debida al tráfico agrario**. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2005. p.131-143.
- TAYLOR, H.M.; GARDNER, H.R. Penetration of cotton seeding tap roots as influenced by bulk density, moisture content and strength of soil. **Soil Science**, Baltimore, v.96, p.153-156, 1963.
- XAVIER, A. **Comportamento da cultura da soja em função de resíduos culturais, mobilização do solo e irrigação, em semeadura direta**. 2005. 99f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, RS.