

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE DO TRÁFEGO E DE
SISTEMAS DE MANEJO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS
DO SOLO E NAS CULTURAS DE SOJA E GIRASSOL**

FÁBIO RÉGIS DE SOUZA

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2012**

**INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE DO TRÁFEGO E DE
SISTEMAS DE MANEJO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO
SOLO E NAS CULTURAS DE SOJA E GIRASSOL**

FÁBIO RÉGIS DE SOUZA
Engenheiro Agrônomo

Orientador: PROF. Dr. EDGARD JARDIM ROSA JUNIOR

Co-Orientador: PESQ. DR. CARLOS RICARDO FIETZ

Co-Orientadora: PROF. Dra. YARA BRITO CHAIM JARDIM ROSA

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2012

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central - UFGD

631.498171 Souza, Fábio Régis de.
S729i Influência da intensidade do tráfego e de sistemas
de manejo nas propriedades físicas do solo e nas
culturas de soja e girassol / Fábio Régis de Souza –
Dourados, MS : UFGD, 2012.
85 f.

Orientador: Prof. Dr. Edgard Jardim Rosa Junior.
Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade
Federal da Grande Dourados.

1. Solo – Uso. 2. Manejo do solo. I. Título.

**INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE DO TRÁFEGO E DE SISTEMAS DE
MANEJO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E NAS CULTURAS DE
SOJA E GIRASSOL**

por

Fábio Régis de Souza

Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
DOUTOR EM AGRONOMIA

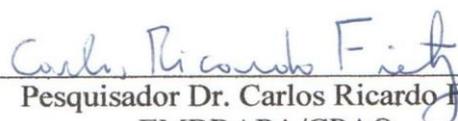
Aprovado em: 31/08/2012



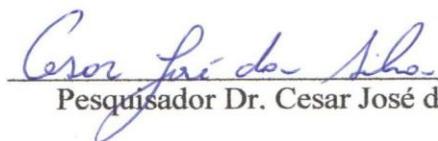
Prof. Dr. Edgard Jardim Rosa Junior
Orientador – UFGD/FCA



Prof. Dra. Yara Brito Chaim Jardim Rosa
UFGD/FCA



Pesquisador Dr. Carlos Ricardo Fietz
EMBRAPA/CPAO



Pesquisador Dr. Cesar José da Silva

EMBRAPA/CPAO



Pesquisador Dr. Walder A. G.

Albuquerque Nunes
EMBRAPA/CPAO

“Ora, aquele que dá semente ao que semeia e pão para alimento também suprirá e aumentará a vossa sementeira e multiplicará os frutos da vossa justiça, enriquecendo-vos, em tudo, para generosidade, a qual faz que, por nosso intermédio, sejam tributadas graças a Deus.” (2 Coríntios 9:10-11)

DEDICO.

A minha família!!!. Aos meus pais Pedro José de Souza e Vanda Ferreira de Souza, as minhas irmãs Kamille Karin de Souza e Keila Regeane de Souza, aos meus cunhados Braulino Carlos e Sadraque de Paula e ao meu sobrinho Nicolas de Souza Carlos que mesmo distantes, não deixaram de apoiar, incentivar, consolar e motivar na realização deste trabalho. Eternamente grato pela força, inspiração e existência. Amo todos vocês!!!!!!

OFEREÇO.

Aos meus orientadores Edgard Jardim Rosa Junior, Yara B. C. Jardim Rosa e Carlos Ricardo Fietz pelo incentivo em todos os momentos e pela minha formação pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por suas misericórdias que se renovam a cada manhã em minha vida e pelo amor demonstrado em uma cruz enviando seu filho para morrer em meu lugar, para me dar vida e vida em abundância.

Ao meu orientador Prof. Edgard Jardim Rosa Junior pela amizade, confiança e profissionalismo.

Aos meus coorientadores Profa Yara Brito Chaim Jardim Rosa e ao Pesquisador Carlos Ricardo Fietz, pelas conversas, sugestões e principalmente pela amizade.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFGD, pela oportunidade, e a secretária Lúcia pela atenção e paciência.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFGD, pelo aprimoramento no conhecimento.

Ao Centro Universitário da Grande Dourados – UNIGRAN, pelo apoio para realização deste trabalho.

À banca examinadora de Qualificação pelas sugestões e ensinamentos.

Aos mais que amigos Anderson Cristian Bergamin, Luciano dos Reis Venturoso e Lenita Aparecida Conus Venturoso, companheiros e companheira desde a graduação em agronomia pela Universidade Federal de Rondônia.

Aos amigos de Pós-Graduação e do Laboratório de Física dos Solos da Embrapa Agropecuária Oeste, em especial Ilson (Sabão) e Willian Marra e ao amigo Bruno Cezar Pontim pelo apoio incondicional nos momentos de dificuldade.

Aos alunos de graduação do curso de agronomia Unigran Jorge Medina, Fábio Junior, Luiz de Azevedo e os da pós-graduação Bruno e Nágila pela amizade e imenso apoio na execução da pesquisa.

A minha namorada Quecianne Paniago Coleta pela compreensão e carinho.

A toda minha Família.

Aos irmãos da Igreja Presbiteriana Central de Dourados pelo convívio e auxílio.

A todos, meus amigos.

Muito obrigado!!!!

SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO	vi
ABSTRACT.....	viii
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO I - PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SUBMETIDO A TRÁFEGO DE TRATOR E SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO	4
RESUMO	4
1.1 INTRODUÇÃO	6
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	8
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
1.4 CONCLUSÕES	21
1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
CAPÍTULO II - INFLUÊNCIA DO TRÁFEGO DE TRATOR E MANEJO DO SOLO NAS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E MORFOLÓGICAS DO GIRASSOL NA SAFRINHA	26
RESUMO	26
2.1 INTRODUÇÃO	28
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	30
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
2.4 CONCLUSÕES	48
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
CAPÍTULO III - SISTEMAS DE MANEJO E INTENSIDADE DE TRÁFEGO COM TRATOR E SEU EFEITO SOBRE A CULTURA DA SOJA	53
RESUMO.....	53
3.1 INTRODUÇÃO	55
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	57
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
3.4 CONCLUSÕES	77
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE DO TRÁFEGO E DE SISTEMAS DE MANEJO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E NAS CULTURAS DE SOJA E GIRASSOL

RESUMO

A compactação do solo pode ser causada por pisoteio de animais em sistemas integração-lavoura-pecuária e por uso intensivo de máquinas na agricultura. O tráfego de trator agrícola pode alterar as propriedades físico-hídricas do solo e comprometer a sustentabilidade agrícola. A busca de alternativas para produção de biodiesel e para rotação de culturas tem proporcionado o crescimento da área de cultivo com girassol e soja, entretanto a compactação do solo pode limitar a produção destas espécies. Assim, objetivou-se com esta pesquisa avaliar os efeitos do tráfego de trator agrícola e sistemas de manejo nas propriedades físico-hídricas do solo e no desempenho agrônômico da cultura do girassol e da soja. O estudo foi realizado em um Latossolo Vermelho distroférico, na área da Fazenda Experimental do Centro Universitário da Grande Dourados-UNIGRAN, no município de Dourados, MS. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 4, com quatro níveis de tráfego de trator agrícola (testemunha, um tráfego, três tráfegos e seis tráfegos) submetidos a quatro manejos (testemunha, gradagem, subsolagem três meses após a indução a compactação e subsolagem sete meses após a indução a compactação) com três repetições. As propriedades físico-hídricas do solo avaliadas foram: densidade, macro e microporosidade, porosidade total, índice S e taxa de infiltração de água no solo. As características agrônômicas avaliadas do girassol foram: diâmetro do capítulo e da haste, altura de plantas, índice de área foliar, teor de clorofila, massa seca, comprimento, área e diâmetro de raiz, características anatômicas da raiz, produtividade e teor de óleo do aquênios. Da cultura da soja foram: produtividade, índice de área foliar, altura de plantas, densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos, taxa de transpiração, a condutância estomática, teor de clorofila, características morfológicas e anatômica do sistema radicular, produtividade e o teor de óleo dos grãos de soja. Os resultados obtidos, demonstram que o tráfego de trator promoveu aumento de densidade do solo até a camada de 0,10 m e reduziu a disponibilidade de água no solo. O índice S mostrou-se sensível para detecção de redução na qualidade física do solo quando submetido a tráfego de trator e o mesmo ocorrendo com a taxa de infiltração básica que reduziu com o aumento do tráfego. O tráfego de trator reduziu a produtividade, o teor

de óleo e a área foliar do girassol, a área superficial e diâmetro de raiz em camadas mais superficiais e promoveu aumento no comprimento radicular em camadas mais profundas. A subsolagem proporcionou aumento no índice de área foliar do girassol e os manejos promovem aumento do crescimento radicular em todas as camadas estudadas. O tráfego reduziu a área foliar, o teor de clorofila e a produtividade, comprimento e área radicular da cultura da soja na camada mais superficial. O tráfego de trator agrícola promove alterações nas características morfológicas da raiz de soja nas camadas subsuperficiais. O tráfego altera o aspecto anatômico da raiz de soja tornando-a achatada. A subsolagem quando realizada antecipadamente promove aumento do comprimento radicular e área de superfície em camadas subsuperficiais.

Palavras-chave: área foliar, Índice S, morfologia e anatomia de raiz, compactação.

**THE INFLUENCE OF INTENSE TRAFFIC AND MANAGEMENT SYSTEMS
IN THE SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND IN SOYBEAN AND
SUNFLOWER CROPS**

ABSTRACT

Soil compaction can be caused by animal trampling in systems integration-crop-livestock and by the intensive use of machinery in agriculture. The farm tractor traffic can change the physical and hydraulic properties of the soil and compromise agricultural sustainability. The search for alternatives for biodiesel production and crop rotation has provided the growth of sunflower and soybeans crop areas, however, soil compaction can limit the production of these species. Thus, the aim of this research is to evaluate the effects of tractor traffic and tillage system on physical and hydraulic soil properties and on agronomic performance of sunflower and soybean crops. The study was conducted in an Oxisol on the experimental farm of UNIGRAN – Centro Universitário da Grande Dourados, in Dourados – MS. It was adopted an experimental design in randomized blocks in 4 x 4 factorial scheme, with four levels of tractor traffic (control, a traffic, three traffics and six traffics) with for different levels of handling (control, harrowing, subsoiling three months after compaction induction and subsoiling seven months after compaction induction) with three replications. The physical and hydraulic properties of the soil evaluated in the research are: density, macro and micro porosity, S index and rate of water infiltration into the soil. The agronomic characteristics of sunflower measured in the research were: diameter of the glomerulus and stem, plant height, leaf area index, chlorophyll content, , dry weight, root length, area and diameter, root anatomical features, achenes productivity and oil content. The agronomic characteristics of soybean measured in the research were: productivity, leaf area index, plant height, photosynthetic active photons flow density, transpiration rate, stomatal conductance, chlorophyll content, anatomical and morphological characteristics of the root system , soybean grains productivity and oil content. The results showed that tractor traffic lead to an increase in the density of the soil until the 0.10m later and reduced water availability in the soil. The S index showed that tractor traffic reduces soil physical quality and infiltration rate. The tractor traffic reduced productivity, oil content and leaf area of sunflower, it also reduced the surface area and root diameter in the superficial layers but increased root length in deeper layers. The

subsoiling led to an increase in leaf area index of sunflower and handling led to an increase in root growth in all segments studied. Traffic reduced leaf area, chlorophyll content and also reduced the productivity, root length and area of soybean in the superficial layer. The tractor traffic causes changes in morphological characteristics of soybean root in the subsurface layers, it changes the anatomical aspect of soybean root making it flat. The subsoiling when performed earlier promotes an increase in root length and in the surface area in subsurface layers.

Keywords: leaf area, S index, morphology and anatomy of root, compaction.

INTRODUÇÃO GERAL

O tráfego de trator em áreas agrícolas pode promover a compactação do solo. A compactação é prejudicial ao solo, pois, induz a redução na macroporosidade, na taxa de infiltração e na disponibilidade de água, aumento da densidade e da resistência à penetração. Essas alterações diminuem a difusividade de oxigênio, contato íon-raiz e reduz o aprofundamento do sistema radicular.

Por esses efeitos a compactação converge para redução significativa da produção e capacidade de uso do solo. A compactação do solo pode resultar na deformação de raízes, atrofiamento de plantas, germinação tardia, baixa taxa de germinação e alta taxa de mortalidade. Todos estes impactos contribuem para redução do rendimento das culturas.

A compactação nos solos geralmente ocorre em áreas com trajeto das rodas dos tratores, com efeito mais marcante na camada superficial do solo (BALBUENA et al., 2000). A Intensidade do tráfego (número de passadas) desempenha um papel importante na compactação, por causa das deformações no solo causadas pelo aumento do número de passadas (BAKKER e DAVIS, 1995). Estes autores também salientam que a primeira passada de roda promove maior compactação do solo.

Camargo e Alleoni (2006) comentam que a pressão média que o pneu exerce sobre a superfície é aproximadamente igual à pressão interna dos pneus, sendo a atribuição da ocorrência de compactação nas camadas superficiais. Enquanto a compactação da subsuperfície esta relacionada ao total de carga por eixo independentemente da pressão sobre o solo (BOTTA et al., 1999).

A carga por eixo é o peso de uma máquina em kg ou kN, enquanto, a pressão de contato com o solo é a carga do eixo dividida pela área da superfície de contato da máquina e o solo. A pressão de contato com o solo é o que provoca a compactação. A maior parte da compactação na agricultura intensiva é causada por carga externa sobre o solo, por meio de máquinas agrícolas. Isso causa um prejuízo considerável para a estrutura da camada superficial e subsuperficial (DEFOSSEZ e RICHARD, 2002).

As propriedades físico-hídricas do solo geralmente são alteradas pela compactação. Nos últimos anos, estudos propõem novos índices de qualidade física do solo em relação à compactação, como o intervalo hídrico ótimo e o índice S. O índice S é a declividade da curva característica de retenção da água do solo em seu ponto de

inflexão, representando a distribuição do tamanho de poros de maior frequência (DEXTER, 2004a,b,c). A agricultura nos dias atuais tem passado por modificações que visam à maximização produtiva. Busca-se o aumento de produção para suprir a crescente demanda mundial por alimentos e fontes de energia. Dentre as culturas que atendem estes quesitos pode citar o Girassol e a Soja.

A compactação do solo tem sido conhecida por causar reduções no crescimento e desenvolvimento em muitas culturas, como a soja (*Glycine max* L. Merr.) (BOTTA et al., 2004, 2006, 2007).

A soja é uma importante fonte de divisas para o Brasil, contribuindo com parcela significativa nas exportações. A área de semeadura da cultura da soja na safra 2011/2012 foi de aproximadamente 25,003 milhões de hectares no Brasil, com produção estimada em 66,4 milhões de toneladas, que foi cerca de 9% a 12% milhões de toneladas inferiores à produção da safra anterior (CONAB, 2012).

A região Centro-Oeste tem uma produção estimada em 34,84 milhões de toneladas, foi 2,7% superior à obtida na safra anterior. Este aumento se deve ao incremento de 6,0% na área de plantio. A produtividade estimada em 3.039 kg ha⁻¹, ou seja, 3,1% abaixo da obtida em 2010/11, devido as estiagens, sobretudo no estado de Mato Grosso do Sul (CONAB, 2012). Situação agravada em condições de cultivo onde o solo apresentava aumento no estado da compactação.

Para a implantação da cultura da soja é de extrema importância que o solo ofereça plenas condições químicas, biológicas e físicas para que as sementes tenham condições satisfatórias de germinação, emergência das plântulas, desenvolvimento das plantas e rendimento de grãos.

Beutler e Centurion (2004); Beutler et al. (2006) e Beutler et al. (2007) observaram alterações nas características agronômicas da soja e reduções na produtividade em função do aumento do estado de compactação do solo.

Assim como a soja a cultura do girassol pode ter seu desenvolvimento e crescimento limitado em função do estado de compactação do solo. A área de girassol cultivada no Brasil na safra 2011/2012 é estimada em 75,5 mil hectares, com produtividade média de 1.494 kg ha⁻¹ e produção nacional estimada em 112,8 mil toneladas (CONAB, 2012).

Os desafios que o girassol enfrenta no Brasil basicamente são: oferecer aos produtores uma cultura alternativa, que possibilite uma segunda colheita; oferecer mais uma matéria-prima oleaginosa às indústrias de processamento de outros grãos,

reduzindo sua ociosidade e oferecer ao mercado um óleo comestível de alto valor nutritivo, junta-se a esses desafios a alternativa atual da produção de energia, já que o óleo de girassol pode ser utilizado como matéria-prima para a produção de biocombustíveis (LEITE et al., 2005).

Embora o girassol possua um sistema radicular profundo. Suas raízes são sensíveis à compactação e ao adensamento do solo que, associados à presença de formas tóxicas de alumínio, inibem seu crescimento, reduzindo o volume do solo a ser explorado pela cultura (COOPERBIO, 2012).

Os efeitos da compactação do solo podem ser facilmente constatadas em plantas debilitadas que apresentam encurvamento, deformação e crescimento horizontal da raiz pivotante. (COOPERBIO, 2012).

Efeitos da compactação do solo nas raízes geralmente variam de acordo com interespécies e para diferentes cultivares da mesma espécie, devido à diferença na capacidade da raiz de penetrar em função da fisiologia e da morfologia da raiz.

Diante do exposto o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do tráfego de um trator agrícola e sistemas de manejo nas propriedades físicas-hídricas do solo e no desempenho agrônômico da cultura do girassol e da soja.

CAPÍTULO I

PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SUBMETIDO A TRÁFEGO DE TRATOR E SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO

RESUMO: Os solos dos cerrados apresentam boas propriedades físico-hídricas, entretanto ao longo dos anos essas características podem apresentar alterações devido ao manejo incorreto. Diante disso, objetivou-se com este estudo, avaliar a qualidade físico-hídrica de um Latossolo Vermelho distroférico submetido ao tráfego de trator e sistemas de manejo. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 4, quatro níveis de tráfego de trator agrícola (testemunha, um tráfego, três tráfegos e seis tráfegos) submetidos a quatro manejos (testemunha, gradagem, subsolagem três e sete meses após a indução a compactação respectivamente) com três repetições. Os atributos avaliados foram densidade, macro e microporosidade e porosidade total do solo, disponibilidade de água, índice S e taxa de infiltração básica de água no solo. Os resultados obtidos demonstraram que o tráfego de trator promoveu aumento da densidade do solo até a camada de 0,10 m e reduziu a macroporosidade até 0,05 m, houve redução na disponibilidade de água no solo com o aumento do tráfego de trator. O índice S mostrou-se sensível para detecção de redução na qualidade física do solo quando submetido a tráfego de trator. A taxa de infiltração básica reduziu com o aumento do tráfego. Os sistemas de manejo não alteram a amplitude de disponibilidade de água e a subsolagem realizada três meses após a indução a compactação promove maior taxa de infiltração básica de água no solo.

Palavras-chaves: Índice S, qualidade física, atributos físicos do solo.

HYDRIC AND PHYSICAL PROPERTIES OF AN OXISOL SUBMITTED TO TRACTOR TRAFFIC AND MANAGEMENT SYSTEMS

SUMMARY: The soils of the savanna have good physical and hydraulic properties, but over the years these characteristics may undergo changes due to mishandling. Therefore, the aim of this study was to evaluate the hydraulic and physical quality of an Oxisol subjected to traffic for tractor and management systems. The experimental design was a randomized block in factorial 4 x 4, four levels of tractor traffic (control, a traffic, three traffics and six traffics) underwent four managements (control, harrowing, subsoiling three to seven months after compaction induction respectively) in three repetitions. The attributes evaluated were density, micro, macro and total porosity of the soil, water availability, the S index and infiltration rate of the soil water. The results showed that tractor traffic led to an increase in soil density to the layer of 0,10 m and reduced macroporosity to 0.05m, there was a reduction in water availability in the soil with the increase of tractor traffic. The S index was sensitive to detect reduction in soil physical quality when subjected to tractor traffic. The infiltration rate decreased with the increase in traffic. Handling systems do not alter the amplitude of water availability and the subsoiling conducted three months after compaction induction promotes greater infiltration rate of water into the soil.

Keywords: S index, physical quality, soil physical

INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira ao longo dos anos vem apresentando ganhos em produtividades, devido principalmente ao melhoramento genético, a eficiência no controle de pragas e doenças, a melhoria na nutrição mineral de plantas e ao manejo da fertilidade e conservação do solo. Entretanto alguns fatores ainda limitam a produtividade das culturas devido à ocorrência de alteração em atributos químicos, biológicos e físicos do solo e entre estes últimos vem aumentando ano após ano, principalmente estudos relacionando a qualidade física e a compactação do solo.

Gupta e Allmaras (1987) referem-se ao termo compactação como à compressão do solo não saturado durante a qual existe aumento da densidade em consequência da redução do volume, resultante do colapso da estrutura do solo. Estes autores afirmam ainda que quando o fenômeno de redução de volume ocorre com a expulsão de água dos poros do solo ou por processo pedogenético, este fenômeno passa a se chamar adensamento.

A compactação do solo pode ocorrer em função de sistemas mal manejados devido à ação de implementos agrícolas. Ocorre também pelo pisoteio de animais em áreas com o sistema integração lavoura pecuária e ainda, o caso mais freqüente, devido à intensidade do tráfego de tratores em áreas agricultáveis.

Com o avanço tecnológico da agricultura, os tratores tornaram-se maiores e mais pesados para atender à demanda de potência, promovendo a compactação, principalmente, em camadas do solo mais superficiais (Beutler et al., 2001), reduzindo o desenvolvimento radicular das culturas até a profundidade de 0,20 m (Cardoso et al., 2006, Bergamin et al., 2010), embora a maior compactação ocorra próximo a 0,10 m de profundidade (GENRO JUNIOR et al., 2004; BERGAMIN et al., 2010). Como consequência da compactação, as plantas podem apresentar redução na produtividade (BEUTLER, 2005; COLLARES, 2006; BEUTLER et al., 2009 e BERGAMIN et al., 2010).

A compactação aumenta a densidade do solo, a resistência à penetração, a microporosidade e reduz a macroporosidade e a porosidade total (STRECK et al., 2004; BERGAMIN et al., 2010).

Tormena et al. (1998) e Freddi et al. (2009) comentam que as alterações geradas pela compactação podem afetar a qualidade dos poros do solo e consequentemente, a disponibilidade de água. Estas alterações devem ser monitoradas,

principalmente aquelas relacionadas com a estrutura, à distribuição do tamanho dos poros e as propriedades hídricas do solo, como os fluxos e a disponibilidade de água as plantas. Para isso, tem sido empregado indicadores de qualidade do solo, como, por exemplo, o índice *S*, que segundo Dexter (2004a, b, c) é definido como a declividade da curva de retenção de água no solo no seu ponto de inflexão. Andrade e Stone (2008) concluíram que o índice *S* é altamente correlacionado com a densidade de um determinado solo, porosidade total e macroporosidade, mostrando tratar-se de um indicador adequado da qualidade física de solos de cerrado.

Além do índice *S*, o conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é fundamental para definir técnicas de conservação do solo, planejar e dimensionar sistemas de irrigação e drenagem, bem como auxiliar na composição de uma imagem mais real da retenção da água e aeração do solo (PAIXÃO et al., 2009),

Objetivou-se com este estudo avaliar o impacto do tráfego de trator agrícola e de sistemas de manejo sobre a qualidade físico-hídrica de um Latossolo Vermelho distroférico.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental de Agronomia do Centro Universitário da Grande Dourados - UNIGRAN, localizada no município de Dourados, MS. O clima da região é do tipo Am de Köppen (Tropical Monçônico), com precipitação média no mês mais seco de 49 mm e anual de 1.455 mm e temperatura no mês mais frio inferior a 18°C e no mais quente superior a 22 °C.

O solo foi um Latossolo Vermelho distroférico, cuja composição granulométrica, determinada pelo método da pipeta (Claessen, 1997) foi 640 g kg⁻¹ de argila, 208 g kg⁻¹ de silte e 152 g kg⁻¹ de areia nos primeiros 0,20 m. As características químicas foram: pH (H₂O) = 6,3; Ca²⁺ = 8,2 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 3,5 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,10 mmol_c dm⁻³; H+Al³⁺ = 4,58 cmol_c dm⁻³; P = 7,6 mg dm⁻³; K = 1,8 mmol_c dm⁻³ e MO = 37 g kg⁻¹ (CLAESSEN, 1997).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, arranjados em esquema fatorial 4 x 4 (quatro intensidade de tráfegos e quatro manejos para promover a descompactação do solo) com 3 repetições, totalizando 48 parcelas.

Os tratamentos foram quatro intensidades de tráfego: Testemunha (condição atual, sem compactação adicional), com compactação adicional por tráfego com um tráfego do trator, com três tráfegos do trator e com seis tráfegos do trator . O outro fator foram os manejos com premissa de ação de descompactação, sendo testemunha (sem manejo), gradagem (grade), subsolagem realizada três meses após a implantação dos tratamentos de compactação (SUB I) e subsolagem realizada sete meses após a implantação dos tratamentos de compactação (SUB II). As parcelas mediram 5 m de comprimento e 3,5 m de largura, possuindo uma área total de 17,5 m².

A indução à compactação do solo foi realizada em 26 de março de 2010, dois dias após intensa chuva, quando o solo possuía um conteúdo de água de 27,50 kg kg na camada de 0,0-0,20 m de profundidade, determinado conforme proposto em Claessen (1997).

Foi utilizado um trator agrícola John Deere 6800 (125 cv), com rodado de pneus diagonais e massa total de 6,8 Mg, com pressão interna de 82,8 kPa de ar nos pneus traseiros (23.1 – 30 95) e 75,8 kPa nos pneus dianteiros (14.9 – 26 12), sendo 39,5% da massa do trator distribuída no eixo dianteiro e 60,5% no eixo traseiro. A compactação foi realizada por meio da passagem lado a lado deste trator, perfazendo toda a superfície da parcela de forma que os pneus comprimissem áreas paralelas entre

si. O número de vezes que a máquina trafegou variou conforme o tratamento, sendo que o tráfego foi sobreposto ao anterior, de forma que toda área das parcelas fosse trafegada com número igual de vezes.

Os manejos do solo foram realizados com subsolador e grade. A gradagem foi realizada com uma grade aradora de arrasto de 16 discos de corte com diâmetro de 26” passada por toda a superfície da parcela. Esta operação foi realizada em junho de 2010. Posteriormente foi realizada uma gradagem com grade niveladora com 36 discos de diâmetro de 18”, realizada uma semana antes da semeadura da cultura cultivada na safra.

A subsolagem (SUB I) foi realizada em junho de 2010 e a outra (SUB II) em outubro de 2010. O subsolador utilizado apresentava as seguintes características: subsolador montado, com haste curva, ponteira sem asa com 0,07 m de largura, com cinco hastes espaçadas de 0,4 m e profundidade de trabalho de 0,5 m. Posteriormente foi realizada uma gradagem com grade niveladora com 36 discos de diâmetro de 18”, sendo esta realizada uma semana antes da semeadura da cultura cultivada na safra. Até a semeadura da cultura na safra a área ficou em pousio, sendo que o controle das plantas daninhas foram realizados, periodicamente, entretanto sem o tráfego do pulverizador, somente a barra de pulverização percorria a área a uma altura de 0,70 m para aplicar os herbicidas.

Para as determinações das propriedades físicas do solo, foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada em cilindros metálicos de volume 100 cm³, nas camadas de 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20; 0,20-0,25; 0,25-0,30; 0,30-0,35 e 0,35-0,40 m.

As amostras de solo foram retiradas nas entrelinhas da cultura da soja. Em cada parcela e camada foram coletadas três subamostras totalizando 9 repetições por tratamento, sendo utilizado o valor médio como representativo.

As amostras, após o preparo, foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir cerca de dois terços da altura do anel. Na sequência foi realizado o procedimento para obtenção da microporosidade pelo método da mesa de tensão, conforme descrito por Claessen (1997).

Para determinar a curva de retenção de água, foi adotado o procedimento descrito em Silva e Kay (1994). As amostras foram divididas em cinco grupos de três e submetidas na câmara de Richards aos seguintes potenciais: -1,0; -33;-100; -300 e -1500 kPa, conforme metodologia proposta por Klute (1986).

Os dados de retenção da água do solo foram ajustados por meio do programa Soil Water Retention Curve-SWRC (Dourado Neto et al., 2001) à equação proposta por van Genuchten (1980):

$$\Theta = (\Theta_{sat} - \Theta_{res}) \left[1 + (\alpha h)^n \right]^{-m} + \Theta_{res} \quad \text{Equação 1.}$$

em que: Θ_{sat} e Θ_{res} são, respectivamente, os conteúdos de água do solo correspondentes à tensão h , à saturação e à umidade residual, em kg kg^{-1} , h é a tensão matricial da água do solo, em kPa, n e m ($m = 1 - 1/n$) são parâmetros empíricos adimensionais de ajuste e α é um parâmetro expresso em kPa^{-1} .

Determinou-se, com base nos parâmetros obtidos, o índice S , tangente à curva característica de água no solo no ponto de inflexão, com o uso da equação proposta por (DEXTER, 2004a):

$$S = -n(\Theta_{sat} - \Theta_{res}) \left[1 + \frac{1}{m} \right]^{-(1+m)} \quad \text{Equação 2.}$$

A infiltração de água no solo foi determinada com infiltrômetros, que consistiram de dois anéis posicionados de forma concêntrica no solo. O anel interno apresentava diâmetro de 0,25 m e o externo de 0,50 m, e ambos tinham altura de aproximadamente 0,30 m. Estes anéis foram cravados verticalmente no solo até a profundidade de aproximadamente de 0,10 m, permanecendo uma borda livre de 0,20 m. O anel externo tinha a finalidade de reduzir o efeito da dispersão lateral da água que infiltrava do anel interno. Desta forma, a água do anel interno infiltrava no perfil do solo em uma direção predominantemente vertical. As determinações das taxas de infiltração foram feitas com um tanque reservatório apresentando visor lateral e sistema de bóia regularizadora de carga hidráulica no interior do cilindro interno.

As taxas de infiltração foram determinadas nos tempos 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 90, 105, 135, 165 e 195 min.

Visando padronizar os resultados, considerou-se a média da taxa de infiltração após 105 min, uma vez que todas as estabilizações ocorreram antes deste tempo. Para comparação com o tráfego de trator e sistemas de manejo, foi determinada

a taxa de infiltração de uma mata preservada, que possui a mesma classificação do solo e que esta próxima ao experimento. A equação para estimar a taxa de infiltração de água no solo em um determinado instante foi estimada usando a equação de Kostiakov-Lewis.

$$i = \alpha * T^n + TIB \quad \text{Equação 3.}$$

Onde: i : é taxa de infiltração em um determinado instante, (mm h^{-1}); α e n : parâmetros determinados estatisticamente a partir de valores medidos e T : Tempo de infiltração e TIB : taxa de infiltração básica.

Todas as variáveis foram submetidas à análise de variância e havendo significância pelo teste F, os fatores avaliados bem como as suas combinações foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, por meio do programa de estatística ASSISTAT (SILVA e AZEVEDO, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença significativa nas propriedades físico-hídricas função do número de tráfego do trator e dos manejos adotados.

Verifica-se que o tráfego de trator influenciou significativamente a densidade do solo apenas na camada mais superficial 0,0-0,05 m e 0,05-0,10 m (Quadro 1). Estes resultados corroboram com Freddi et al. (2007), Colares et al. (2008) e Bergamin et al. (2010). Na área onde houve o tráfego do trator a partir de três vezes, promoveu aumento da densidade do solo na camada de 0,05-0,10 m. Possivelmente isso ocorreu pelo efeito acumulativo das pressões impostas pelo tráfego do trator na superfície do solo.

Camargo e Alleoni (2006) comentam que a pressão média que o pneu exerce sobre a superfície é aproximadamente igual à pressão interna dos pneus, sendo a atribuição da ocorrência de compactação nas camadas superficiais. Jakobsen e Greacen (1985) inferem que a maior parte dos danos causados pela compactação ocorre nas primeiras passadas das máquinas e implementos. À medida que o número de passadas no mesmo local aumenta, há aumento cada vez menos acentuado na compactação.

QUADRO 1. Densidade média do solo em função do número de tráfego de um trator agrícola e do sistema de manejo em um Latossolo Vermelho distroférico.

Tráfego de trator	Densidade do solo (g cm ⁻³)					
	Profundidade (m)					
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40
Testemunha	1,00 b	1,04 b	1,13 a	1,14 a	1,14 a	1,14 a
1 Tráfego	1,05 ab	1,09 ab	1,14 a	1,13 a	1,13 a	1,13 a
3 Tráfegos	1,04 ab	1,15 a	1,16 a	1,16 a	1,16 a	1,13 a
6 Tráfegos	1,08 a	1,15 a	1,13 a	1,18 a	1,15 a	1,14 a
Cv %	6,5	8,5	7,4	7,0	5,6	5,7
Sistemas de Manejo	Densidade do solo (g cm ⁻³)					
	Profundidade (m)					
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40
Testemunha	1,13 a	1,23 a	1,22 a	1,19 ab	1,15 a	1,14 a
Grade	1,03 b	1,11 ab	1,19 a	1,21 a	1,18 a	1,15 a
SUB I	1,01 b	1,06 b	1,05 b	1,11 b	1,12 a	1,13 a
SUB II	1,00 b	1,04 b	1,09 b	1,10 b	1,13 a	1,12 a
Cv %	6,5	8,5	7,4	7,0	5,6	5,7

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey. Grade= Gradagem; SUB I e SUB II= subsolagem realizada três e sete meses após a indução a compactação respectivamente.

Os manejos do solo promoveram efeito até a profundidade de 0,20 m (Quadro 1). A gradagem reduziu a densidade do solo até 0,10 m de profundidade. A subsolagem proporcionou redução da densidade do solo até a camada de 0,20 m, corroborando com Silva et al. (2012) e ao contrário de Cunha et al. (2009) que não observaram efeito significativo. No entanto Girardello et al. (2011) verificaram diferenças significativas apenas até a profundidade de 0,10 m. Vale ressaltar que os valores de densidade obtidos nos manejos enquadram-se na faixa considerada por De Maria (1999), como crítica para latossolos que apresentam teor de argila superior a 750 g kg⁻¹ que é de 1,21 Mg m⁻³. Observa-se ainda que os efeitos da subsolagem realizada com três meses após a indução a compactação na densidade do solo não diferiram significativamente da realizada a sete meses (Quadro 1). Provavelmente devido ao efeito da mobilização do solo desaparecer em razão da reconsolidação do solo que ocorre devido aos ciclos de umedecimento e secagem (SILVEIRA JUNIOR et al., 2012)

Observa-se que houve diferença significativa para o tráfego de trator apenas para camada de 0,0-0,05 m para macroporosidade (Quadro 2).

QUADRO 2. Macroporosidade média do solo em função do número de tráfego de um trator agrícola e do sistema de manejo em um Latossolo Vermelho distroférico.

Tráfego de trator	Macroporosidade (%)					
	Profundidade (m)					
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40
Testemunha	23,7 a	20,2 a	15,3 a	12,9 a	10,1 a	8,8 a
1 Tráfego	21,4 ab	18,1 a	14,7 a	13,1 a	11,1 a	9,3 a
3 Tráfegos	21,8 ab	16,4 a	13,5 a	12,1 a	10,3 a	8,9 a
6 Tráfegos	19,9 b	16,7 a	15,6 a	11,5 a	10,5 a	9,2 a
Cv %	12,9	25,5	25,4	30,5	24,1	28,5
Sistemas de Manejo	Macroporosidade (%)					
	Profundidade (m)					
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40
Testemunha	18,1 b	11,5 b	10,2 b	10,8 bc	9,7 ab	8,8 a
Grade	22,4 a	17,9 a	12,6 b	8,9 c	8,6 b	8,5 a
SUB I	22,6 a	20,8 a	19,1 a	14,2 ab	11,8 a	9,3 a
SUB II	23,6 a	21,3 a	17,4 a	15,6 a	11,7 a	9,6 a
Cv %	12,9	25,5	25,4	30,5	24,1	28,5

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey. Grade= Gradagem; SUB I e SUB II= subsolagem realizada três e sete meses após a indução a compactação respectivamente.

Freddi et al. (2009) verificaram redução na macroporosidade na camada de 0,10 m. A partir de seis vezes de tráfego do trator, houve redução na macroporosidade

do solo (Quadro 2). A redução no volume de macroporos promove a diminuição na difusividade de ar do solo e na taxa de infiltração, redução na respiração do sistema radicular e aumento do escoamento superficial de água e das perdas de solo por erosão.

O efeito do manejo do solo na macroporosidade foi verificado até a camada de 0,20-0,30 m (Quadro 2). A gradagem aumentou a macroporosidade até a camada de 0,05-0,10 m. Observa-se que tanto para densidade do solo como para macroporosidade, a gradagem promoveu alteração até a camada de 0,10 m. Esta redução de ação em camadas mais profundas pode acarretar em formação de compactação abaixo da camada superficial induzida pela pressão do implemento.

As subsolagens apresentaram o efeito esperado, pois promoveram aumento na macroporosidade do solo até a profundidade de 0,20 m e não houve diferença entre a época da subsolagem nas camadas avaliadas (Quadro 2). A descompactação com uso de subsoladores demonstra a eficiência dessas práticas na mobilização do solo e consequente formação de poros destinados à difusividade de ar, infiltração da água e desenvolvimento radicular. Nota-se ainda que a partir da camada de 0,05 m na testemunha e abaixo da profundidade de 0,20 m, nos outros tratamentos, os valores médios de macroporosidade foram próximos a 10%, considerados limitantes ao desenvolvimento das culturas, este fato indica certo grau de compactação e menor difusão de oxigênio, e pode influenciar no fluxo e na retenção de calor, afetando, dessa forma, o crescimento radicular (SOUZA et al., 2010).

Verifica-se que não houve efeito significativo do tráfego de trator, na microporosidade, mas somente efeito dos manejos do solo (Quadro 3).

Possivelmente, este resultado deve-se à microporosidade (Quadro 3) do solo ser fortemente influenciada pela textura e teor de carbono orgânico e muito pouco pelo aumento da densidade, causada pelo tráfego de máquinas, implementos Suzuki et al. (2007) e pisoteio de animais sobre o solo.

Os manejos do solo na camada de 0,0-0,05 m reduziram a microporosidade do solo corroborando com Nicoloso et al. (2008)(Quadro 3). Entretanto, a partir da camada 0,05-0,10 m apenas as subsolagens promoveram redução na microporosidade.

Houve efeito da interação entre tráfego de trator e sistemas de manejo para porosidade total na camada de 0,0-0,05m. No Quadro 4 são apresentados os valores médios do desdobramento da interação entre os tratamentos para a camada de 0,0-0,05 m. Houve redução significativa da porosidade total quando ocorreu a SUB I com um tráfego de trator. Possivelmente este fato devido a ação da gradagem de nivelamento

realizada após a subsolagem, que promoveu fragmentação de microagregados e causaram entupimento de macroporos.

QUADRO 3. Microporosidade média do solo em função do número de tráfego de um trator agrícola e do sistema de manejo em um Latossolo Vermelho distroférico.

Tráfego de trator	Microporosidade (%)					
	Profundidade (m)					
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40
Testemunha	35,2 a	38,1 a	40,7 a	41,7 a	44,8 a	47,0 a
1 Tráfego	37,5 a	38,4 a	40,6 a	41,7 a	44,2 a	46,6 a
3 Tráfegos	36,1 a	39,4 a	40,9 a	43,2 a	44,7 a	45,3 a
6 Tráfegos	37,6 a	39,4 a	39,7 a	42,6 a	44,2 a	46,6 a
Cv %	6,1	6,3	5,4	5,0	4,6	6,8
Sistemas de Manejo	Microporosidade (%)					
	Profundidade (m)					
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40
Testemunha	39,2 a	41,8 a	42,5 a	43,1 ab	44,5 a	46,8 a
Grade	36,4 b	39,3 ab	41,8 a	43,5 a	45,3 a	45,6 a
SUB I	35,2 b	37,1 b	38,3 b	41,7 ab	44,0 a	46,6 a
SUB II	35,6 b	37,1 b	39,3 b	40,9 b	44,4 a	46,8 a
Cv %	6,1	6,3	5,4	5,0	4,6	6,8

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Grade= Gradagem; SUB I e SUB II= subsolagem realizada três e sete meses após a indução a compactação respectivamente.

Houve efeito significativo de três vezes que tráfego o trator na testemunha, provavelmente devido à pressão exercida sobre a camada mais superficial diminuindo o volume de poros, Suzuki et al. (2008) comentam que o aumento da densidade promove redução de vazios do solo e que sistemas manejados com escarificação ou subsolagem resultam no aumento da porosidade total, melhor aeração para o sistema radicular e aumento da condutividade hidráulica do solo (ROSA et al., 2008).

QUADRO 4. Desdobramento da interação entre tráfego de trator e sistema de manejo para o atributo porosidade total na camada de 0,0-0,05m.

Tráfego de trator	Porosidade Total (%)			
	Profundidade 0-0,05 (m)			
	Testemunha	Grade	SUB I	SUB II
Testemunha	59,4 aA	58,3 Aa	60,7 aA	57,9 aA
1 Tráfego	57,5 aAB	60,3 aA	55,8 bB	61,4 aA
3 Tráfegos	55,6 aB	58,2 aAB	57,4 abAB	60,3 aA
6 Tráfegos	56,8 aA	58,6 aA	57,2 abA	57,5 aA
Cv %	3,00			

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si maiúsculas para linhas e minúsculas para coluna. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Grade= Gradagem; SUB I e SUB II= subsolagem realizada três e sete meses após a indução a compactação respectivamente.

Na Figura 1, são apresentados os valores médios da disponibilidade de água no solo, em diferentes tensões nas camadas estudadas, em função do tráfego de trator e dos sistemas de manejo.

Verifica-se tendência similar entre a testemunha e quando se trafegou apenas uma vez, entretanto a testemunha apresentou maior disponibilidade de água (Figura 1A). Já quando se trafegou três e seis vezes, além de reduzirem a disponibilidade de água no solo, diminuíram a amplitude de disponibilidade hídrica. Isso infere que em situações com período prolongado de estiagem, como ocorrido neste experimento, plantas cultivadas sofram mais ao estresse hídrico. Tormena et al. (1998), estudando os fatores que interferem na compactação e nas modificações em algumas propriedades físico-hídricas, verificaram que o tráfego de trator reduziu significativamente os valores de água disponível até a profundidade de 0,10-0,20 m, corroborando com os resultados deste trabalho.

A disponibilidade de água no solo assume papel fundamental no estudo da qualidade física do solo, pois expressa a relação entre o conteúdo de água e a tensão de água no solo. Quando se trafegou três e seis vezes sobre a área, ocorreu uma redução de aproximadamente de 44% na disponibilidade de água do solo (Figura 1A).

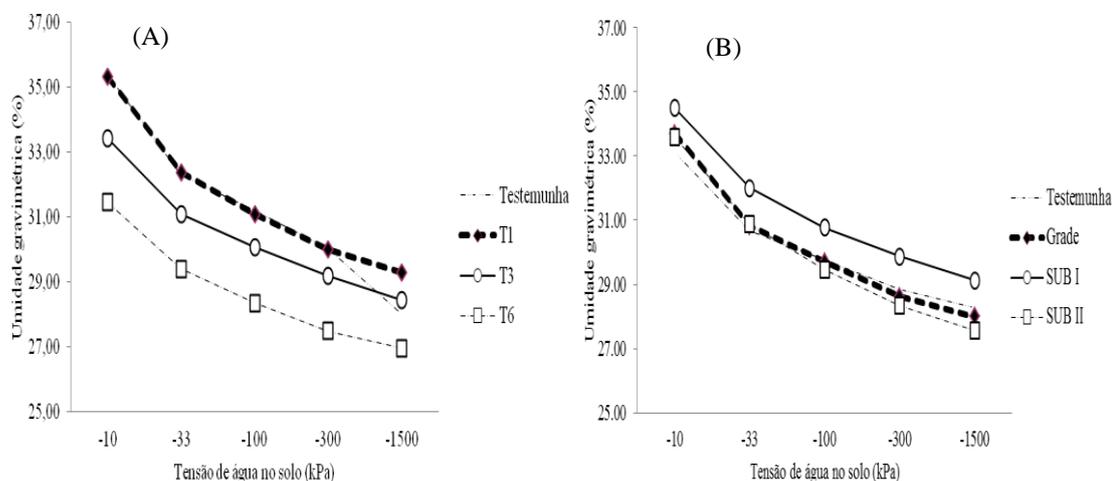


FIGURA 1. Valores médios de umidade gravimétrica das camadas estudada submetido a tensões em função do tráfego de trator agrícola (A) e sistemas de manejo (B). T1= um tráfego; T3=três tráfegos e T6= seis tráfegos de trator agrícola.

Na Figura 1B, são apresentados os valores médios da disponibilidade de água no solo em diferentes tensões, nas camadas estudadas, em função do manejo do solo. Observa-se que a subsolagem realizada três meses após a indução da compactação

elevou a retenção de água no solo. Entretanto, não alterou a amplitude de disponibilidade hídrica no solo. Os resultados não permitem inferir qual sistema de manejo é o mais adequado, mas fornecem algumas indicações do comportamento do solo sob diferentes sistemas de manejo, pois, esperava-se que os manejos promovessem a formação de novos poros e aumentasse a disponibilidade hídrica, principalmente em função da gradagem e da subsolagem.

Observa-se que o tráfego de trator induziu a redução nos valores de índice S quando submetido a três e seis tráfegos (Figura 2A). Dexter (2004c) comenta que a presença de poros estruturais e um alto valor de índice S são essenciais para boa qualidade do solo e que o limite entre solos com melhor qualidade estrutural ocorre no valor aproximado de índice S = 0,035 e valores abaixo deste apresentam restrições em suas condições físicas (BEUTLER et al., 2008; ANDRADE e STONE, 2009). Os valores de índice S obtidos neste trabalho para três e seis tráfegos de trator agrícola estão abaixo do mencionado por estes autores, indicando haver redução na configuração de poros no solo, portanto, maiores restrições físicas para o crescimento das raízes das plantas.

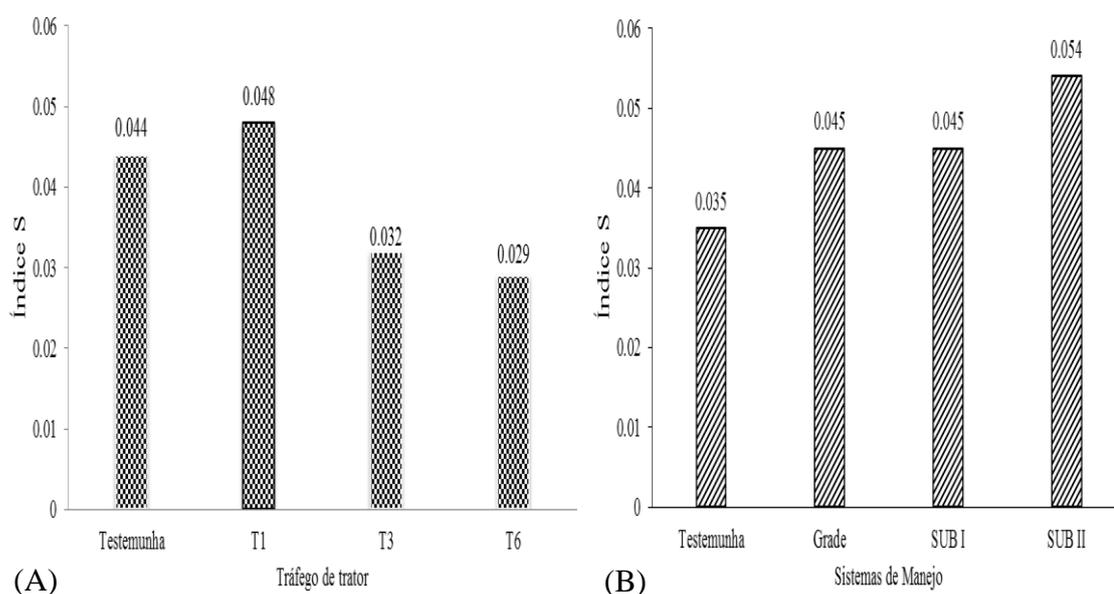


FIGURA 2. Valores médios do índice S em função do tráfego de trator (A) e sistemas de manejo (B). T1= um tráfego; T3=três tráfegos e T6= seis tráfegos de trator agrícola.

O solo quando foi submetido a um tráfego do trator proporcionou maiores valores de índice S (Figura 2A). Dexter (2004 a) observou que em solos que apresentam maiores espaços interagregados, podem reter menor quantidade de água e a

compactação leve desintegra os agregados maiores, reduzindo os espaços interagregados, aumentando a retenção de água e o valor de S.

Verifica-se que os sistemas de manejo proporcionaram aumento nos valores de índice S (Figura 2B). Contudo, a testemunha apresentou valor na faixa considerada por Dexter (2004c) como limite inferior de qualidade física do solo. Freddi et al. (2009) obtiveram resultados semelhantes para solos escarificados, que apresentaram valores de índice S superiores ao limitante ao desenvolvimento das culturas. Estes resultados podem ter ocorrido devido a testemunha apresentar maiores valores de densidade do solo. Horn et al. (1995) comentam que o aumento da densidade do solo promove redução do volume de poros. Nesse processo os poros maiores são destruídos inicialmente, e posteriormente, ocorre à destruição dos próprios agregados e, por conseqüência, dos poros menores (STRECK, 2007).

Na Figura 3 são apresentadas as taxas de infiltração de água no solo em função do tráfego de trator agrícola. Houve efeito significativo para todos os níveis de tráfego.

Os menores valores de taxa de infiltração básica foram observados quando trafegou-se seis vezes (Figura 3D). Este resultado demonstra a influência da alteração das propriedades físicas do solo principalmente, o aumento da densidade em camadas mais superficiais e redução da macroporosidade promovem redução da taxa de infiltração básica. Pode-se afirmar ainda que a qualidade dos ajustes, medida pelo coeficiente de determinação (R^2) pelo método de Kostiakov-Lewis, foi satisfatória, corroborando com Urchei e Fietz (2002) e Panachuki et al. (2006).

O aumento da intensidade de tráfego de não alterou muito a taxa de infiltração básica. Entretanto quando a se trafegou seis vezes no mesmo local houve redução proeminente. Possivelmente, este fato aconteceu em razão das alterações na continuidade dos poros que, foram alterados, tornando-os mais descontínuos e mais achatados. Neste sentido se faz necessário o monitoramento do tráfego de trator em solos agrícola, bem como a umidade do solo. Segundo Tomasini et al. (2010) este monitoramento proporciona o alívio as condições de redução de macroporosidade e aumento de densidade do solo, que afetariam negativamente a infiltração de água no solo.

Neste trabalho usou-se o método do anel concêntrico que, segundo Brandão et al. (2009), superestima a taxa de infiltração básica. Entretanto, observando os

resultados obtidos por Tomasini et al. (2010), nota-se semelhanças nos valores de taxa de infiltração básica.

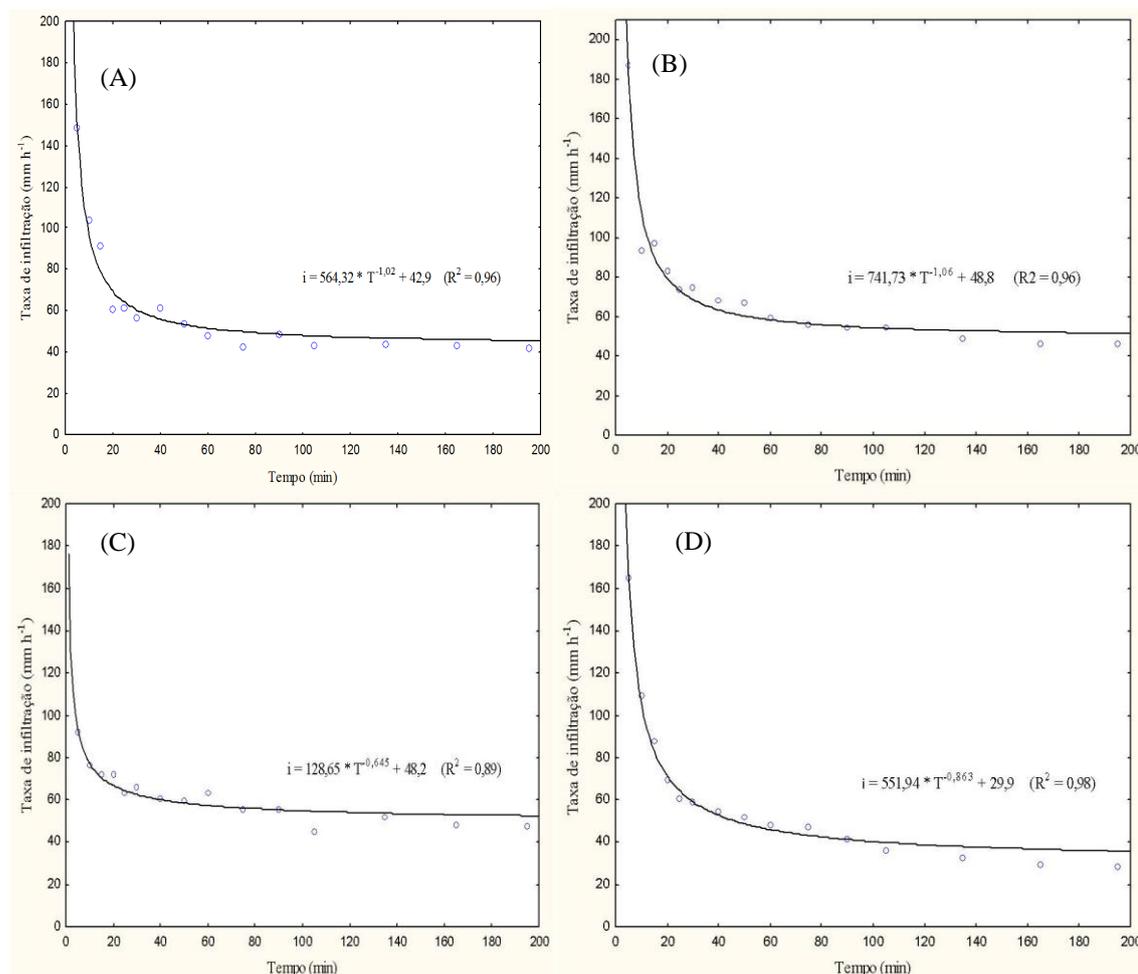


FIGURA 3. Taxa de infiltração em função do tráfego de trator agrícola. (A): Testemunha; (B) Um tráfego; (C) Três tráfegos e (D) Seis tráfegos.

Observa-se que a gradagem (Figura 4A) não promoveu aumento na taxa de infiltração básica do solo em comparação a testemunha (Figura 3A). A subsolagem realizada três meses após a implantação da compactação (SUB I) apresentou maior efeito na infiltração (Figura 4B). Assim, a infiltração de água nos sistemas de manejo que promovam alteração nas propriedades físicas do solo, como aumento no diâmetro dos poros pelo processo mecânico de mobilização do solo pela haste do subsolador, aumentariam a taxa de infiltração não por aumentar a macroporosidade intra-agregados, e sim entre agregados. O outro fato que pode ter ocorrido é que a subsolagem realizada a mais tempo proporcionou melhor interligação e continuidade dos poros.

Analisando a taxa de infiltração básica entre o tráfego de trator agrícola e os manejos comparados com a mata (Figura 4D), nota-se que áreas trafegadas e manejadas

reduzem drasticamente a taxa de infiltração. A alta taxa de infiltração básica da mata deve-se a melhor qualidade estrutural do solo presente em matas não destruídas.

Mazurana et al. (2011) comentam que a maior taxa de infiltração observada nos sistemas que sofrem escarificação, está associada à maior macroporosidade, menor densidade e umidade inicial do solo, bem como a caminhos preferenciais produzidos pelas hastes do escarificador no solo.

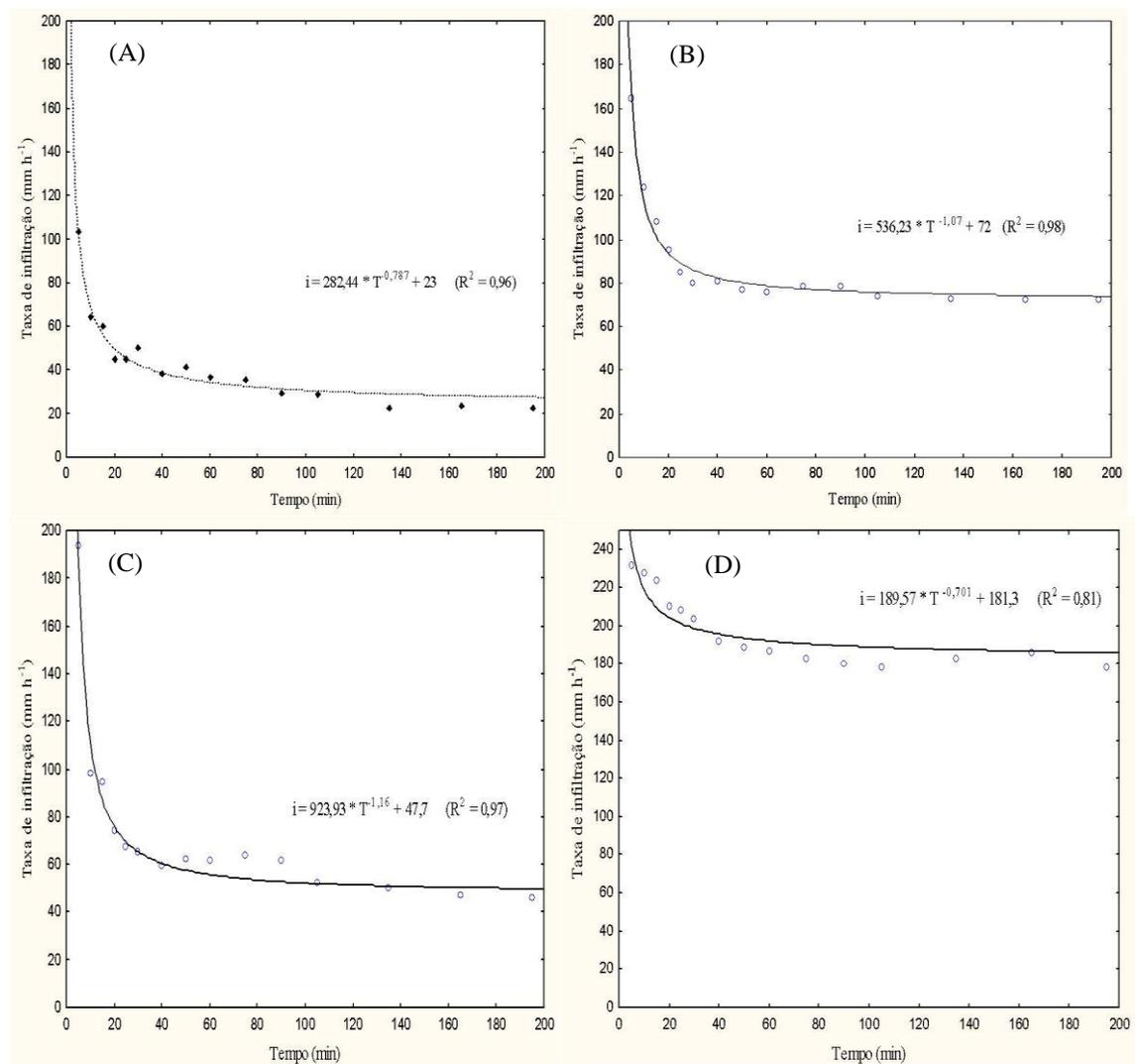


FIGURA 4. Taxa de infiltração em função dos sistemas de manejo . (A): Grade; (B) SUB I; (C) SUB II e (D) Mata.

CONCLUSÕES

- O tráfego de trator promoveu aumento de densidade do solo até a camada de 0,10 m e na macroporosidade até 0,05 m, reduziu a disponibilidade de água no solo e proporcionou baixos valores de índice S.

- O índice S mostrou-se sensível da detecção de redução na qualidade física do solo quando submetido a tráfego de trator.

- Há redução na taxa de infiltração básica com o aumento do tráfego.

- A subsolagem reduziu a densidade do solo até a camada de 0,20 m.

- Sistemas manejados apenas com gradagem apresentam limitação no volume de macroporos.

- Os sistemas de manejo não alteram a amplitude de disponibilidade de água e a subsolagem realizada com menor intervalo de tempo em relação à identificação de estado de compactação do solo apresenta melhor taxa de infiltração básica do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, R.S.; STONE, L.F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do Cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 382-388, 2009.
- BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, C. M. A.; SOUZA, F. R. Compactação de um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 681-691, 2010.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; MENGATTO, L. H.; MENGATTO, L. H.; ALVES, J. B.; WAGNER, G. P. C. Impacto do tráfego de máquinas na qualidade física do solo e produtividade de milho em Argissolo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 359-364, 2009.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P. Soil resistance to penetration and least limiting water range for soybean yield in a haplustox from Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 48, n. 6, p. 863- 871, 2005.
- BEUTLER, A. N.; FREDDI, O. S.; LEONE, C. L.; CENTURION, J. F. Densidade do solo relativa e parâmetro “S” como indicadores da qualidade física para culturas anuais, **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, João Pessoa, v. 8, n. 2, 2008.
- BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 167-177, 2001.
- BRANDÃO, V. S.; PRUSKI, F. P.; SILVA, D. D. Infiltração da água no solo. 3.ed. Viçosa:UFV, 2009, 120p.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L.R.F. **Causas da compactação do solo**. 2006. disponível em: <[http://www.infobibos.com/ Artigos/CompSolo/C3/Comp3.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/C3/Comp3.htm)>. Acesso em: 17 agosto. 2012.
- CARDOSO, E.G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J.L.; TORRES, E.; SARAIVA, O.F. & GUIMARÃES, M.F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 493-501, 2006.
- COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 933-942, 2008.
- CUNHA, J. P. R.; CASCÃO, V. N.; REIS, E. F. Compactação causada pelo tráfego de trator em diferentes manejos de solo. **Acta Scientiarum. Agronomy** Maringá, v. 31, n. 3, p. 371-375, 2009

CLAESSEN, M. C. E. (Org). Manual de métodos de análise do solo. 2.ed. ver. Atual. Rio de Janeiro:Embrapa-CNPQ, 1997.212p.

DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 703-709, 1999.

DEXTER A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 201-214, 2004a.

DEXTER A. R. Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tith and hard-setting. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 215-225, 2004b

DEXTER A. R. Soil physical quality: Part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. **Geoderma**, Amsterdam, v.120, p. 227-239, 2004c.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; LOPES, P. P. **Programa para confecção da curva de retenção de água no solo, modelo van Genuchten. Soil Water Retention Curve**, SWRC (version 3,00 beta). Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2001

FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; DUARTE, A. P.; PERES, F. S. C. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho. II-Intervalo hídrico ótimo e sistema radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 805-818, 2009.

FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; BEUTLER, A.N.; ARATANI, R.G.; LEONEL, C.L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 627-636, 2007.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; HORBE, T. A. N.; FERREIRA, A. O.; TABALDI, F. M.; LANZANOVA, M. E. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 2115-2126, 2011.

GUPTA, S. C.; ALLMARAS, R. R. Models to assess the susceptibility of soil to excessive compaction. **Advanced Soil Science**, v. 6, p. 65-100, 1987.

HORN, R.; DOMZZAL, H.; SLOWIŃSKA-JURKIEWICZ, A.; Van OUWERKERK, C. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 35, p. 23-26, 1995.

MAZURANAA, M.; LEVIEN, R.; MULLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo do solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1197-1206, 2011.

NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, R.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e

biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1723-1734, 2008.

PAIXÃO, F.J.R.; ANDRADE, A.R.S.; AZEVEDO, C.A.V.; COSTA, T.L.; GUERRA, H.O.C. Ajuste da curva de infiltração por meio de diferentes modelos empíricos. **Pesquisa aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v.2, n.1, p.108-112, 2009.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of Soil Analysis. I. Physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 635-662

PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F.; URCHEI, M.A. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistemas de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.28, n.1, p.129-137, 2006.

ROSA, D. P.; REICHERT, J. M.; SATLER, A.; REINERT, D. J. MENTGES, M. I.; VIEIRA, D. A. Relação entre solo e haste sulcadora de semeadora em Latossolo escarificado em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 396-400, mar. 2008.

SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. A new version of the assistat-statistical assistance software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4., 2006, Orlando. **Proceedings...** Orlando: American Society of Agricultural Engineers, 2006. p.393-396.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.1.775-81, 1994

SILVA, S. G. C.; SILVA, A. 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, p. 547-555, 2012.

SILVEIRA JUNIOR, S. D.; SILVA, A. P.; FIGUEIREDO, G. C.; TORMENA, C. A.; GIAROLA, N. F. B. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob plantio direto submetido a descompactação mecânica e biológica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p.1854-1867, 2012.

SOUZA, F. R.; ROSA JUNIOR, E. J.; FIETZ, C. R.; BERGAMIN, A. C.; VENTUROSOS, L. R.; ROSA, J. C. Y. B. Atributos físicos e desempenho agrônomo da soja em um Latossolo Vermelho distroférrico submetido a dois sistemas de manejo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 6, p. 1357-1364, 2010

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 755-760, 2004.

STRECK, C. A. **Índice S e fluxo de água e ar em solos do sul do Brasil**, 2007, 96f. (Doutorado em Ciência do solo)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS.

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

SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; LIMA, C.L.R. Estimativa da susceptibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.963-973, 2008.

URCHEI, M. A.; FIETZ, C. R. Infiltração de água em um Latossolo roxo muito argiloso em dois sistemas de manejo. **Irriga**, v. 7, n.1, 2002. disponível em <http://200.145.140.50/index.php/irriga/article/view/226/135> acesso em 03 de agosto de 2012.

TOMASINI, B A.; VITORINO, A. C. T.; GARBIATE, M. V.; SOUZA, C. M. A.; SOBRINHO, T. A. Infiltração de água no solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de colheita e modelos de ajustes de equações de infiltração. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.6, p.1060-1070, nov./dez. 2010

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 301-309, 1998

van GENUCHTEN, M.T. van. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

VOMOCIL, J.A.; FLOCKER, W.J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. **Transaction of the ASAE**, Saint Joseph, v.4, p.242-246, 1961.

CAPÍTULO II

INFLUÊNCIA DO TRÁFEGO DE TRATOR E MANEJO DO SOLO NAS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E MORFOLÓGICAS DO GIRASSOL NA SAFRINHA

RESUMO: Os resultados da compactação do solo nas raízes são a restrição ao crescimento e diminuição da acessibilidade aos nutrientes. Compactação do solo tem sido conhecida por causar reduções no crescimento e desenvolvimento em muitas culturas como o girassol. O objetivo deste trabalho foi avaliar características agronômicas e morfológicas do girassol submetido a diferentes intensidades de tráfego de um trator agrícola e manejos visando a redução da compactação do solo. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 4, com quatro níveis de tráfego de trator agrícola (testemunha, um tráfego, três tráfegos e seis tráfegos) submetidos a quatro manejos (testemunha, gradagem, subsolagem três e sete meses após a indução a compactação) com três repetições. As características agronômicas avaliadas do girassol foram diâmetro do capítulo e da haste, altura de plantas, índice de área foliar, teor de clorofila, massa seca, comprimento, área, diâmetro ponderado e anatomia radicular, produtividade e teor de óleo dos aquênios. Os resultados obtidos evidenciam que o tráfego de trator reduziu a produtividade, o teor de óleo e a área foliar do girassol, a área superficial e diâmetro de raiz em camadas mais superficiais e promoveu aumento no comprimento radicular em camadas mais profundas. A subsolagem proporcionou aumento no índice área foliar do girassol e os manejos promovem aumento do crescimento radicular em todas as camadas estudadas

Palavras-chaves: índice de área foliar, compactação, anatomia raiz, teor de óleo.

THE INFLUENCE OF TRACTOR TRAFFIC AND SOIL MANAGEMENT ON THE AGRONOMIC AND MORPHOLOGIC CHARACTERISTICS OF THE SUNFLOWER SECOND CROPS

ABSTRACT: The results of the compaction of the roots are growth restriction and decreased accessibility to nutrients. Soil compaction has been known to cause reductions in the growth and development in many crops such as sunflower. The aim of this study was to evaluate the morphological and agronomic characteristics of the sunflower under different traffic intensities of an agricultural tractor and handlings in order to reduce soil compaction. The experimental design was a randomized block in factorial 4 x 4, with four levels of tractor traffic (control, a traffic of three traffic-six trades) underwent four handlings (control, harrowing, subsoiling three to seven months after induction compression) with three replications. The agronomic traits of sunflower were chapter diameter and stem, plant height, leaf area index, chlorophyll content, dry weight, length, area, diameter and weighted root anatomy, yield and oil content of the achenes. The results show that tractor traffic reduced productivity, the oil content of sunflower leaf area, surface area and root diameter in the superficial layers and caused root elongation in deeper layers. The subsoiling provided an increase in leaf area index of the sunflower and the handlings stimulated increased root growth in all the studied layers.

Keywords: leaf area index, compaction, root anatomy, oil content

INTRODUÇÃO

O girassol (*Helianthus annuus* L.) teve inicialmente o Peru definido como seu centro de origem, porém, pesquisas arqueológicas revelaram o uso do girassol por índios norte-americanos, o cultivo nos Estados de Arizona e Novo México, por volta de 3000 anos A. C. (SELMECZI-KOVACS, 1975). É a quarta maior fonte de óleo vegetal comestível do mundo após soja, a palma e a canola (FERNANDEZ-MARTINEZ et al., 2008) sendo cultivado em todos os continentes, em uma área de cerca de 24 milhões de hectares (FAO, 2012).

No Brasil a cultura foi trazida por colonos europeus, no final do século XIX. Em 1998, por iniciativa de indústrias e cooperativas ligadas ao setor de óleos vegetais, e neste século , a partir de 2003, com o Programa Nacional do Biodiesel, o girassol voltou a constar na pauta de oleaginosas destinadas a alimentação humana e à energia veicular (UNGARO, 2009).

A área cultivada no Brasil na safra 2011/2012 foi estimada em 75,5 mil hectares, com produtividade média de 1.494 kg ha⁻¹ e produção nacional estimada em 112,8 mil toneladas, sendo Mato Grosso do Sul o quarto maior produtor nacional (CONAB, 2012).

Em média, além de 400 kg de óleo de excelente qualidade, para cada tonelada de grão, a cultura do girassol produz 250 kg de casca e 350 kg de torta, com 45% a 50% de proteína bruta (OLIVEIRA, 2004). Os aquênios são ricos em óleo, variando de 30% a 56%, dependendo da cultivar, ambiente, tecnologia adotadas e das condições edafoclimáticas (UNGARO, 2009). O girassol pode ainda ser fonte de matéria prima para produção de biodiesel.

Os fatores edafológicos que podem limitar o crescimento e desenvolvimento da cultura do girassol são biológicos, químicos e físicos. Dentre os fatores físicos do solo as alterações em atributos como porosidade, retenção de água, resistência a penetração e densidade do solo podem reduzir o desempenho agrônômico do girassol.

A compactação altera os atributos do solo, os quais interferem direta ou indiretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo esses intimamente dependentes da umidade do solo. A densidade do solo, a porosidade total, a aeração e a resistência à penetração podem caracterizar o estado de compactação dos solos. O valor desses atributos varia entre solos e níveis de compactação (SUZUKI et al., 2007). A

perda dos poros maiores, causada pela compactação do solo, altera a distribuição do tamanho de poro e, portanto, a característica de retenção de água (DEXTER, 2004).

Portanto, o estado de compactação, fruto de distintas estratégias de manejo do solo, pode alterar os fatores físicos que promovem condições ideais ou limitantes ao crescimento vegetal. Os seus níveis têm aumentado nos últimos anos e tornando-se um fator limitante ao aumento da produtividade e à sustentabilidade agrícola (Silva, 2003), especialmente em solos argilosos.

A degradação do solo induzida por sua compactação afeta cerca de 68 milhões de hectares de terras a nível mundial (FLOWERS e LAL, 1998). A maior parte dos problemas da compactação do solo na agricultura moderna é causada pelo tráfego de veículos (ALAKUKKU, 1996; FLOWERS e LAL, 1998).

Evidências consideráveis existem para mostrar que a compactação do solo, proveniente tanto de causas **antropogênicas** ou naturais, exercem enorme impacto sobre o estabelecimento, crescimento e rendimento de culturas em regiões tropicais, sendo conhecida por causar reduções no crescimento e desenvolvimento em muitas culturas, e entre elas o girassol (*Helianthus annuus* L.) (BOTTA et al., 2004, 2006, 2007).

Visando a redução do efeito da compactação do solo em algumas áreas tem se utilizado a escarificação e ou subsolagem. De Maria et al. (1999) comentam que a escarificação do solo promove a redução da densidade e a resistência a penetração. Embora a subsolagem possa melhorar as propriedades físicas do solo (Câmara e Klein, 2005), não há evidência do efeito em curta duração e varia de dois meses (Xu e Mermoud, 2001), a um ano (Reichert et al., 2009), mesmo a três anos (BUSSCHER et al., 2002).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o as características agronômicas e morfológicas do girassol cultivado na safrinha submetido a tráfego de trator e sistemas de manejos do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental de Agronomia do Centro Universitário da Grande Dourados - UNIGRAN, localizada no município de Dourados, MS. O clima da região é do tipo Am de Köppen (Tropical Monçônico), com precipitação média no mês mais seco de 49 mm e anual de 1.455 mm e temperatura no mês mais frio inferior a 18°C e no mais quente superior a 22 °C.

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (Embrapa 2006), cuja composição granulométrica, determinada pelo método da pipeta (Claessen, 1997) foi 640 g kg⁻¹ de argila, 208 g kg⁻¹ de silte e 152 g kg⁻¹ de areia nos primeiros 0,20 m. As características químicas foram: pH (H₂O) = 6,3; Ca²⁺ = 8,2 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 3,5 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,01 cmol_c dm⁻³; H+Al³⁺ = 4,58 cmol_c dm⁻³; P = 7,6 mg dm⁻³; K = 0,18 cmol_c dm⁻³ e MO = 37 g kg⁻¹ (CLAESSEN, 1997).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, arranjados em esquema fatorial 4 x 4 (quatro intensidades de tráfegos e quatro manejos para promover a descompactação do solo) com 3 repetições, totalizando 48 parcelas.

Os tratamentos foram quatro intensidades de tráfego: Testemunha (condição atual, sem compactação adicional), com compactação adicional com um tráfego do trator, com três tráfegos e seis tráfegos de trator. O outro fator foram os manejos com premissa de ação de descompactação, sendo testemunha (sem manejo), gradagem (grade), subsolagem realizada três meses após a implantação dos tratamentos de compactação (SUB I) e subsolagem realizada sete meses após a implantação dos tratamentos de compactação (SUB II). As parcelas mediram 5 m de comprimento e 3,5 m de largura, possuindo uma área total de 17,5 m².

A indução à compactação do solo foi realizada em 26 de março de 2010, dois dias após intensa precipitação pluvial, quando o solo possuía um conteúdo de água de muito próximo a capacidade de campo na camada de 0,0-0,20 m de profundidade, determinado conforme proposto em Claessen (1997).

Foi utilizado um trator agrícola John Deere 6800 (125 cv), com rodado de pneus diagonais e massa total de 6,8 Mg, com pressão interna de 82,8 kPa de ar nos pneus traseiros (23.1 – 30 95) e 75,8 kPa nos pneus dianteiros (14.9 – 26 12), sendo 39,5% da massa do trator distribuída no eixo dianteiro e 60,5% no eixo traseiro. A compactação foi realizada por meio da passagem lado a lado deste trator, perfazendo toda a superfície da parcela de forma que os pneus comprimissem áreas paralelas entre

si. O número de vezes que a máquina trafegou variou conforme o tratamento, sendo que o tráfego foi sobreposto ao anterior, de forma que toda área das parcelas fosse trafegadas com número igual de vezes.

Os manejos do solo foram realizados com subsolagem e grade. A gradagem foi realizada com uma grade de arrasto com 16 discos de corte com diâmetro de 26” passando se de tal forma a perfazer toda a superfície da parcela. Esta operação foi realizada três meses após a compactação induzida pelo tráfego de trator agrícola, posteriormente foi realizada uma gradagem com grade niveladora com 36 discos de diâmetro de 18”, sendo esta realizada uma semana antes da semeadura da cultura cultivada na safra.

Uma subsolagem (SUB I) foi em junho de 2010 e a outra em outubro de 2010 (SUB II). O subsolador utilizado apresentava as seguintes características: subsolador montado, com haste curva, ponteira sem asa de 0,07 m de largura, com cinco hastes espaçadas de 0,4 m e profundidade de trabalho de 0,5 m. Posteriormente foi realizada uma gradagem com grade niveladora com 36 discos de diâmetro de 18”.

A cultura utilizada para avaliar o efeito da compactação e dos manejos adotados foi o girassol cultivar Embrapa 122. O estande utilizado para o espaçamento de 0,90 m foi de, aproximadamente, 66.000 plantas por hectare. O girassol foi semeado em 19 de março de 2011. A adubação de base realizada foi de 200 kg há⁻¹ da fórmula 04-14-08. No início da floração foi realizada aplicação do adubo foliar CalBor que possui em sua formulação 107,2 g l⁻¹ de Cálcio e 26,8 g l⁻¹ de Boro, na dosagem de 5 l ha⁻¹.

As características agrônômicas e morfológicas do girassol avaliadas foram:

Diâmetro da haste: determinado medindo-se 10 hastes aleatoriamente, na região do coleto, com auxílio de um paquímetro digital.

Diâmetro do capítulo: determinado medindo-se 10 capítulos aleatoriamente da área útil, no momento da colheita, com paquímetro digital.

Altura de plantas: distância em metros entre a superfície do solo e a inserção do capítulo de 10 plantas por parcela, escolhida aleatoriamente.

Índice de Área foliar (IAF): mensurado coletando-se 10 plantas por parcela quando os aquênios estavam completamente formados, desfolhando-as manualmente e passando cada folha individualmente no medidor de área foliar *Li-cor* modelo 3100. O IAF foi determinado a partir da relação entre área foliar total e área de solo disponível para a planta. (BENINCASA, 2003).

Teor de clorofila: determinado com clorofilometro (SPAD). As leituras com o clorofilometro (três leituras por folha) foram feitas em pontos situados no terço inferior (primeira folha localizada na base da planta) terço médio (folha situada no terço médio da planta) e terço superior (primeira folha abaixo do capitulo). As leituras foram feitas na parte central de cada folha em 10 plantas por parcela.

Massa seca da raiz: determinada no momento da coleta das amostras de solo. Coletou-se raízes de três plantas que, posteriormente foram lavadas em água corrente, com auxílio de peneira de 2 mm. As raízes foram levadas a estufa a 65° C por 48 horas, atingindo peso constante e após serem retiradas da estufa, realizou-se a pesagem da massa seca.

Morfologia radicular: As determinações do sistema radicular foram realizadas quando as plantas de girassol estavam no estágio fenológico R6 (antese). Em cada parcela foi aberta uma trincheira transversal a uma linha de cultivo, onde a parede vertical da trincheira ficou a 0,05 m da planta de girassol, expondo a raiz, que foi escolhida aleatoriamente, de maneira que representasse o conjunto de plantas da unidade experimental. Após a exposição das raízes em uma seção transversal à linha de cultivo e próxima ao eixo da planta, o perfil foi dividido em quadrículas de 0,05 m, com auxílio de uma malha de 0,9 x 0,4 m colocada em pleno contato com o solo (Figura 1). Efetuou-se, então, a fotografia do perfil com uma câmera digital (12 megapixels) a uma distância de 1,0 m.



FIGURA 1. Distribuição radicular do girassol em Latossolo Vermelho distroférico. A dimensão do perfil estudado é de 0,9 x 0,4 m e cada quadrícula possui 0,05 x 0,10 m.

Após a captação, a imagem, foi segmentada com a técnica de limiarização (*thresholding*). Após foi realizada a esqueletonização que é utilizada para obter o esqueleto de uma região através do seu afinamento.

O método de esqueletonização adotado foi o de Zhang-Suen (1984). Posteriormente, as raízes foram analisadas nas profundidades de 0,0–0,05, 0,05–0,10, 0,10–0,15, 0,15–0,20, 0,20–0,25, 0,25–0,30, 0,30–0,35 e 0,35–0,40 m quanto a área superficial, comprimento e diâmetro ponderado. As análises foram realizadas com o programa computacional SIARCS 3.0 (JORGE e CRESTANA, 1996).

Os aspectos anatômicos da raiz de girassol foram determinadas em raízes de três plantas. Estas raízes foram submetidas a lavagem para separação da do solo e, posteriormente, cortadas em fragmentos de 5 mm, fixados em formalina-acetato-álcool etílico a 50% (F.A.A. 50%) e armazenadas em geladeira até o início do processo de desidratação. A desidratação foi realizada em série alcoólica e os fragmentos de raízes foram embebidos em parafina e, posteriormente, em paraplast. Optou-se por avaliar a estrutura radicular nos diferentes tratamentos somente na camada de 0,05–0,10 m e 0,10–0,15 de profundidade, devido as maiores amplitudes da densidade do solo e macroporosidade nestas camadas.

Foram realizados cortes transversais de 0,10 μm de espessura, em micrótomo rotativo, que foram corados com safranina orange G-fast Green FCF (HAGQUIST, 1974). Depois de serem montadas as lâminas permanentes, as imagens foram obtidas com um microscópio de ocular micrométrica, e, em seguida, foram realizadas as medidas da espessura do córtex e do cambio vascular. Optou-se por realizar as medidas de raízes de estruturas secundárias, devido às raízes primárias serem muito finas, o que dificulta os cortes (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000). A espessura do cambio vascular foi obtida mensurando-se o diâmetro em dois sentidos e as da espessura do córtex quatro medidas por imagem, obtendo-se média desses valores. Assim, foi estimada a razão entre o córtex e o cambio vascular.

Produtividade: realizada mediante a pesagem de aquênios de 12 capítulos, colhidos aleatoriamente e corrigidos para a umidade de 11%, com posterior conversão para kg ha^{-1} .

Teor de óleo: as amostras trituradas dos aquênios foram acondicionadas em cartuchos de papel de filtro, pesadas e levadas ao extrator de Soxhlet durante três horas para extração do óleo através da lavagem com éter de petróleo (IAL, 2005). Após a lavagem os cartuchos foram retirados e levados à estufa de circulação de ar (65°C) até peso constante.

O balanço hídrico do período de desenvolvimento da cultura foi estimado usando os dados de uma estação meteorológica da Embrapa/Cpao.

O balanço hídrico foi estimado usando os valores da evapotranspiração de referência (ET_o), determinada pelo método Penman-Monteith FAO; a precipitação efetiva (P_e) foi estimada pelo método número curva (SCS-USDA). A capacidade total de água no solo (CTA) estimou-se para uma profundidade de 0 a 0,40 m obtendo o valor de 33,5 mm, com base em curvas de retenção de solos da região de Dourados, considerando a umidade gravimétrica de 32,2%, tensão 0,01 MPa, e de 25,4%, tensão 1,5 MPa, com densidade do solo de 1,23 g/cm³.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e quando os fatores avaliados foram significativos pelo teste F, foi aplicado o teste de média de Tukey ao nível de 5%, utilizando-se do programa computacional ASSISTAT (SILVA e AZEVEDO, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo do tráfego de trator para Índice de área foliar (IAF), produtividade e morfologia radicular. Por outro lado, o tráfego não promoveu diferença significativa no diâmetro da haste, diâmetro do capítulo, altura de plantas e teor de clorofila.

O manejo do solo promoveu diferença significativa no índice de área foliar, morfologia radicular e teor de clorofila no terço superior, não havendo diferença significativa no diâmetro da haste e capítulo e produtividade. Para variável massa seca de raiz houve interação do tráfego de trator e manejo do solo.

Na Figura 2 é apresentado o balanço hídrico para o período do ciclo da cultura do girassol. Observa-se que houve redução na disponibilidade de água no solo para o período de formação e enchimento dos aquênios.

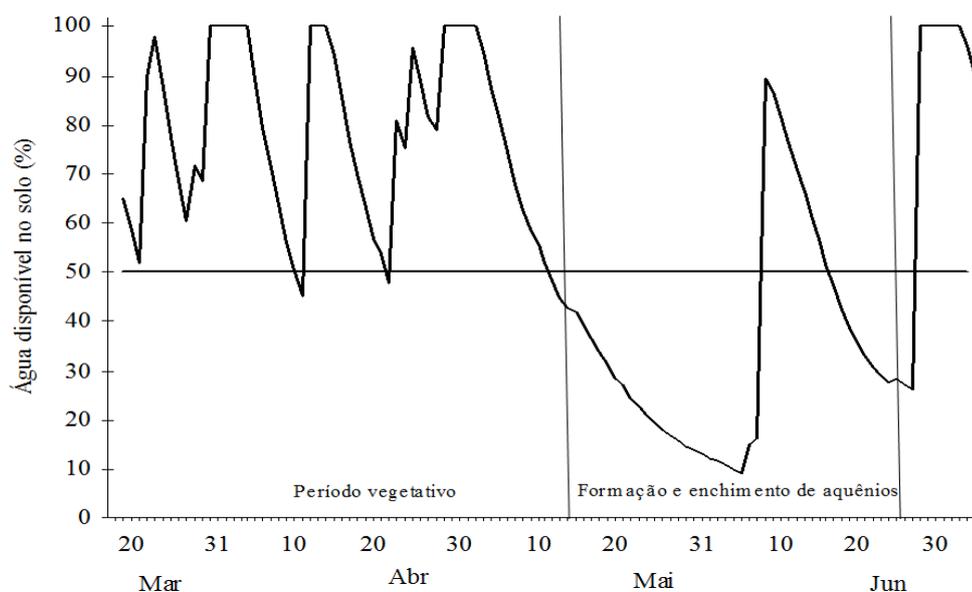


FIGURA 2. Balanço hídrico para o período de desenvolvimento e crescimento da cultura do girassol apresentado na forma de disponibilidade de água no solo.

Não houve efeito significativo para diâmetro da haste e capítulo e altura de plantas função dos tráfegos. O valor médio do diâmetro da haste foi de 0,015 m, diâmetro do capítulo 0,148 m e altura de plantas 1,67 m. Bayhan et al. (2002) relatam que a compactação não promoveu diferenças significativas para as características agrônômicas diâmetro da haste e capítulo. Goodman e Ennos (1999) avaliando o desenvolvimento e crescimento de milho e girassol em solos compactados, também

observaram que não houve diferença significativa na altura e diâmetro da haste de girassol em solos compactados.

O diâmetro da haste do girassol assume importância devido ao peso exercido pela inflorescência na haste. Desta forma, hastes que possuam maior diâmetro, geralmente apresentam melhor sustentação e resistência ao acamamento, indicando assim que níveis de compactação maiores, além de outros efeitos, podem favorecer o acamamento.

QUADRO 1. Valores médios de diâmetro da haste e do capítulo e altura de plantas do girassol em função do número de tráfego de trator agrícola.

Tráfego do trator	Diâmetro da haste (cm)	Diâmetro de Capítulo (cm)	Altura de plantas (m)
Testemunha	1,56 a	15,3 a	1,64 a
T ₁	1,53 a	15,6 a	1,71 a
T ₃	1,49 a	14,5 a	1,67 a
T ₆	1,44 a	13,9 a	1,67 a
Cv %	14,7	17,4	5,1

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. T₁=Um tráfego; T₃=Três tráfegos e T₆=Seis tráfegos.

Os valores médios dos diâmetros do capítulo em função do tráfego de trator, não foram significativos, mas oscilaram entre 13,9 cm para seis tráfegos e 15,6 cm para um tráfego (Quadro 1). Cetiom (1983) comenta que diâmetros de capítulos acima de 17 cm produzem menor quantidade de aquênios cheios, resultando em menor produção. Entretanto capítulos de tamanho muito reduzido indicam restrições no desenvolvimento com grande influência na produção (JAIN et al., 1978).

Também não houve diferença significativa para característica agrônômica altura de plantas em função do número de tráfego do trator (Quadro 1). Bayhan et al. (2002) obteve resultados que indicam redução no crescimento das plantas de girassol com a compactação do solo. A razão para isto, é que a resistência da cobertura do solo na região da semente é demasiadamente elevada, resultando em um atraso na emergência, o que pode acarretar em atraso no ciclo de desenvolvimento, reduzindo seu crescimento, o que não foi observado no presente estudo.

Houve diferença significativa no índice de área foliar em função do tráfego de trator agrícola (Figura 3). Nota-se que com o aumento da intensidade do tráfego houve redução no IAF. O IAF é importante na análise de crescimento de uma comunidade vegetal, pois serve como indicador da cobertura foliar de um terreno e de suas

consequências na interceptação de luz. A redução no índice de área foliar está relacionada ao desenvolvimento foliar das plantas, principalmente, quando submetida a condições de estresse, convergindo para menor número e tamanho de folhas. Neste trabalho, possivelmente, este fato ocorreu devido à redução da porosidade do solo, induzida pelo aumento da compactação, restringindo o acesso à água e nutrientes. Esses resultados corroboram com Connor e Sadras (1992) que relatam que expansão foliar do girassol é sensível a déficit hídrico.

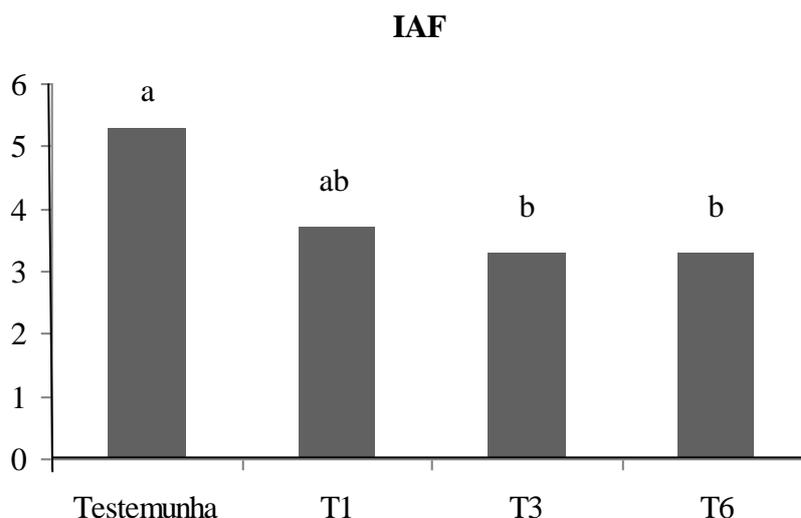


FIGURA 3. Índice de área foliar do girassol submetido a compactação do solo induzida por tráfego de trator agrícola. T1 (um tráfego); T3 (três tráfego) e T6 (seis tráfego). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

No Quadro 2 são apresentados os resultados de diâmetro de haste e capítulo e índice de área foliar, em função dos manejos do solo.

QUADRO 2. Valores médios do diâmetro da haste e capítulo, índice de área foliar e produtividade em função dos manejos do solo adotado visando a descompactação do solo

Manejo do solo	Diâmetro da haste (cm)	IAF	Diâmetro de Capítulo (cm)
Testemunha	1,45 a	2,5 b	14,1 a
Grade	1,56 a	4,5 a	14,7 a
SUB I	1,54 a	4,3 ab	15,5 a
SUB II	1,47 a	4,6 a	14,8 a
Cv %	14,7	44,0	17,4

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Grade= Gradagem; SUB I e SUB II= subsolagem realizada três e sete meses após a indução a compactação respectivamente.

Não houve diferença significativa para diâmetro de haste e capítulo. Observa-se que os manejos promoveram diferença significativa apenas para o IAF (Quadro 2). A subsolagem realizada sete meses após a indução a compactação proporcionou maior IAF. Os estresses hídricos e aeróbicos são os principais fatores limitantes para o crescimento das folhas. Desta forma, sistemas de manejo que promovam o aumento da disponibilidade de água e difusividade de ar para as plantas contribuem para melhor desempenho das culturas.

O tráfego de trator agrícola não promoveu diferença significativa para o teor de clorofila nas folhas de girassol (Quadro 3). Dentre os manejos do solo houve apenas efeito significativo no teor de clorofila no terço superior das folhas de girassol. A subsolagem realizada três meses após a indução à compactação causou redução no teor de clorofila do girassol. Os teores de clorofila nas folhas são utilizados para estimar o potencial fotossintético das plantas, pela sua ligação direta com a absorção e transferência de energia luminosa e ao crescimento e à adaptação a diversos ambientes. Uma planta que apresente alto teor de clorofila é capaz de atingir taxas fotossintéticas mais elevadas, pelo seu valor potencial de captação de quanta na unidade de tempo (CHAPPELLE e KIM, 1992).

QUADRO 3. Valores médios do teor de clorofila nas folhas em diferentes posições da planta de girassol em função do tráfego de um trator agrícola e dos manejos do solo adotado visando a descompactação do solo

Tráfego do trator	Teor de Clorofila TS	Teor de Clorofila TM	Teor de Clorofila TI
	$\mu\text{g. cm}^{-2}$	$\mu\text{g. cm}^{-2}$	$\mu\text{g. cm}^{-2}$
Testemunha	31,6 a	35,3 a	34,3 a
T ₁	30,2 a	34,9 a	34,5 a
T ₃	31,7 a	33,9 a	33,8 a
T ₆	31,3 a	33,2 a	33,0 a
Cv %	5,0	6,4	6,4
Manejo do solo	$\mu\text{g. cm}^{-2}$	$\mu\text{g. cm}^{-2}$	$\mu\text{g. cm}^{-2}$
Testemunha	31,3 ab	34,9 a	34,5 a
Grade	30,9 ab	33,8 a	33,8 a
SUB I	32,3 a	34,7 a	34,7 a
SUB II	30,2 b	33,8 a	32,5 a
Cv %	5,0	6,4	6,4

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. TS-terço superior; TM-terço médio e TI- terço inferior da planta. T₁=Um tráfego; T₃=Três tráfegos e T₆=Seis tráfegos e Grade= Gradagem; SUB I e SUB II= subsolagem realizada três e sete meses após a indução a compactação respectivamente.

No Quadro 4 é apresentado o desdobramento da interação do tráfego do trator e dos sistemas de manejo na massa seca de raiz.

QUADRO 4. Desdobramento dos valores médios de massa seca de raiz função do tráfego de trator e dos manejos do solo adotados visando a descompactação.

Tráfego do trator	Massa Seca de raiz (gramas planta ⁻¹)			
	Testemunha	Grade	SUB I	SUB II
Testemunha	7,93 Aa	7,16 Aa	7,93 aA	8,23 abA
T ₁	6,96 abA	9,86 aA	7,00 aA	10,50 aA
T ₃	3,66 abA	6,26 aA	6,53 aA	5,76 bA
T ₆	2,56 bB	5,60 aB	10,33 aA	6,66 abAB
Cv %	29,2			

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. T₁=Um tráfego; T₃=Três tráfegos e T₆=Seis tráfegos e Grade= Gradagem; SUB I e SUB II= subsolagem realizada três e sete meses após a indução a compactação respectivamente.

Observa-se que o tráfego de seis vezes de um trator agrícola na testemunha (sem manejo) promoveu redução significativa na massa seca da raiz de girassol. Houve efeito significativo também entre os manejos do solo quando ocorreu o tráfego de trator seis vezes. Nota-se que a subsolagem realizada três meses após a indução a compactação proporcionou maior massa seca da raiz, provavelmente, no período entre a subsolagem e a sementeira ocorreu um ajuste entre as partículas do solo, favorecendo maior infiltração e disponibilidade de água.

Botta et al. (2006) estudando o girassol em solo compactado submetido a subsolagem e escarificação, obtiveram resultados de massa seca de raízes de 4,3 e 3,2 g, respectivamente, nas áreas manejadas, apenas 1,9 g de massa seca de raiz na testemunha. Estes autores inferem que a massa seca de raiz foi diretamente proporcional aos rendimentos de girassol, com coeficiente de correlação de 0,84.

No Quadro 5 são apresentados os valores médios de comprimento, área de superfície e diâmetro médio ponderado do sistema radicular do girassol em cada camada estudada em função do tráfego de trator.

Não foi possível avaliar estatisticamente as camadas de 0,30-0,35 e 0,35-0,40 devido à pequena ocorrência de raízes nestas profundidades. Isto permite inferir que estudos de manejo de irrigação para cultura do girassol, quando apresentarem sintomas de compactação do solo, devem ser realizados até a profundidade de 0,30 m, pois é onde se concentra 80% do sistema radicular. Esta constatação contrapõe-se Rossi

(1998), que afirmam que, 65% das raízes funcionais do girassol concentra-se nos primeiros 0,40 m.

QUADRO 5. Valores médios de comprimento, área e diâmetro ponderado de raiz de girassol por camada do solo submetido ao número de tráfego de trator agrícola.

Tráfego de trator	Comprimento radicular (cm)	Área de raiz (cm ² m ⁻²)	Diâmetro Ponderado (cm)
Camada			
0,0-0,05 m			
Testemunha	19,5 a	328,8 a	0,23 a
T ₁	19,3 a	335,6 a	0,30 a
T ₃	26,3 a	433,3 a	0,33 a
T ₆	24,6 a	322,2 a	0,25 a
Cv %	34,3	44,0	36,5
0,05-0,10 m			
Testemunha	32,2 a	495,2 a	0,19 a
T ₁	37,6 a	506,7 a	0,17 ab
T ₃	31,9 a	357,8 ab	0,16 ab
T ₆	29,9 a	273,4 b	0,14 b
Cv %	29,2	43,7	21,5
0,10-0,15 m			
Testemunha	19,7 a	171,1 a	0,22 a
T ₁	20,3 a	213,3 a	0,22 a
T ₃	11,8 b	115,2 a	0,16 a
T ₆	12,3 b	146,6 a	0,13 a
Cv %	34,8	82,3	71,4
0,15-0,20 m			
Testemunha	1,82 b	22,0 a	0,11 a
T ₁	4,74 a	44,0 a	0,15 a
T ₃	2,66 ab	22,1 a	0,13 a
T ₆	3,10 ab	30,4 a	0,12 a
Cv %	69,8	91,2	42,2
0,20-0,25 m			
Testemunha	1,63 a	12,65 a	0,11 a
T ₁	0,88 a	7,5 a	0,13 a
T ₃	1,12 a	9,1 a	0,10 a
T ₆	1,57 a	14,6 a	0,13 a
Cv	61,6	81,6	36,8
0,25-0,30 m			
Testemunha	0,83 a	6,0 a	0,12 a
T ₁	0,60 a	4,9 a	0,12 a
T ₃	0,49 a	3,4 a	0,11 a
T ₆	0,58 a	7,8 a	0,12 a
Cv %	63,4	98,8	29,9

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. T₁=Um tráfego; T₃=Três tráfegos e T₆=Seis tráfegos

Uma ponderação que deve ser feita são os altos valores de coeficiente de variação nos tratamentos de avaliação do sistema radicular. Vasconcelos et al. (2003), avaliando sistema radicular de cana-de-açúcar usando vários métodos inferiram que o uso do método do perfil com a fotografia e quantificação do comprimento de raízes pelo SIARCS apresentou, em geral, os menores coeficientes de variação. Quanto menor o coeficiente de variação, maior a precisão do experimento, indicando que o método do perfil do solo é mais adequado para detectar diferenças entre tratamentos.

Observa-se que nas camadas 0,0-0,05, 0,20-0,25 e 0,25-0,30 m, não houve efeito significativo para nenhuma das características morfológicas da raiz de girassol em função dos tráfegos (QUADRO 5).

Para característica morfológica área superficial houve diferença significativa apenas na camada 0,05-0,10 m em função do tráfego de trator (QUADRO 5). Nesta camada quando ocorreu aumento do tráfego de trator diminuiu a área de exploração do sistema radicular do girassol, causando a redução do contato íon-raiz e absorção de água.

O tráfego de trator promoveu a redução significativa do comprimento radicular nas camadas 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m, divergindo de Goodman e Ennos (1999), que não observaram efeito significativo da compactação no comprimento de raiz. Sadras et al. (1989) comentam que as mudanças nos padrões vertical e horizontal da densidade de comprimento radicular na ontogenia, diminui exponencialmente o crescimento radicular de girassol em camadas mais profundas. É importante salientar que tanto área radicular quanto o comprimento concentraram-se longitudinalmente a 0,10 m para ambos os lados a partir do caule.

O diâmetro ponderado da raiz de girassol apresentou diferença significativa apenas na camada 0,05-0,10 m, reduzindo quando houve tráfego de seis vezes do trator. Goodman e Ennos (1999) observaram que o diâmetro basal das raízes de primeira ordem de crescimento lateral é maior no solo mais compactado. As pontas das raízes do girassol afunilaram mais rapidamente e foram mais espessas no solo compactado. No entanto, apesar do aumento da espessura não houve alteração no peso das raízes.

Resultados obtidos mostram que as raízes de espécies de plantas diferem consideravelmente em sua capacidade de engrossar sob estresse (GOODMAN e ENNOS, 1999). Botta et al. (2006) observaram que a compactação do subsolo causou mudanças no sistema radicular do girassol e essas mudanças não promoveu benefícios no rendimento da cultura.

Houve efeito significativo no comprimento de raiz nas camadas 0,0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m. Em todas estas camadas os manejos proporcionaram aumento no crescimento radicular (QUADRO 6).

QUADRO 6. Valores médios de comprimento, área e diâmetro ponderado de raiz de girassol por camada do solo submetido a manejos do solo.

Manejos do solo	Comprimento radicular (cm)	Área de raiz	Diâmetro Ponderado
		(cm ² m ⁻²)	(cm)
Camada			
0,0-0,05 m			
Testemunha	17,8 b	295,3 a	0,28 a
Grade	26,2 a	392,4 a	0,29 a
SUB I	25,0 ab	415,2 a	0,26 a
SUB II	20,6 ab	313,2 a	0,26 a
Cv %	34,3	44,0	36,5
0,05-0,10 m			
Testemunha	31,6 b	381,8 ab	0,17 a
Grade	23,6 b	284,2 b	0,16 a
SUB I	43,5 a	568,3 a	0,18 a
SUB II	32,9 ab	354,7 b	0,15 a
Cv %	29,2	43,7	21,5
0,10-0,15 m			
Testemunha	9,2 b	82,2 a	0,16 a
Grade	19,3 a	206,3 a	0,17 a
SUB I	18,9 a	155,4 a	0,17 a
SUB II	18,8 a	188,5 a	0,24 a
Cv %		82,3	71,4
0,15-0,20 m			
Testemunha	1,32 b	11,5 b	0,12 a
Grade	3,02 ab	30,0 ab	0,12 a
SUB I	4,03 a	35,3 ab	0,13 a
SUB II	3,96 a	43,3 a	0,15 a
Cv %	69,8	91,2	42,2
0,20-0,25 m			
Testemunha	0,91 a	8,2 a	0,13 a
Grade	1,50 a	13,5 a	0,11 a
SUB I	1,03 a	8,7 a	0,12 a
SUB II	1,76 a	13,5 a	0,12 a
Cv %	61,6	81,6	36,8
0,25-0,30 m			
Testemunha	0,75 a	5,1 a	0,11 a
Grade	0,72 a	8,2 a	0,13 a
SUB I	0,45 a	3,8 a	0,11 a
SUB II	0,59 a	7,1 a	0,12 a
Cv %	63,4	98,8	29,9

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Grade= Gradagem; SUB I e SUB II= subsolagem realizada três e sete meses após a indução a compactação respectivamente.

Os manejos de subsolagem promoveram o efeito esperado, favorecendo o crescimento radicular. Botta et al. (2006), estudando o girassol em solo compactado e comparando com o manejo de subsolagem e escarificação, verificaram que na camada 0,15 e 0,30 m as raízes do girassol apresentavam, em média, cerca de 41% do total das raízes no solo subsolado, 30% no escarificado e 15% na testemunha. Com os resultados obtidos neste trabalho pode-se inferir que a subsolagem deve ser realizada com maior antecedência a semeadura para proporcionar maior desenvolvimento e crescimento radicular, pois desta forma promove melhor justaposição e rearranjo entre agregados e formação de poros contínuos.

Área da superfície radicular do girassol foi influenciada significativamente pelos sistemas de manejo nas camadas de 0,05-0,10 e 0,15-0,20 m (Quadro 6). Na camada de 0,05-0,10 m a subsolagem realizada três meses após a indução à compactação do solo favoreceu maior área de exploração das raízes, possivelmente devido ao mesmo caso citado anteriormente para o comprimento de raiz.

O menor valor médio de área foi obtido quando o solo foi submetido ao manejo de gradagem e subsolagem após sete após indução a compactação do solo (SUB II). Apesar da subsolagem promover imediatamente abertura de fendas porosas no solo não foi suficiente para criar condições para aumento na exploração do sistema radicular. Isso pode ter ocorrido em função da menor distribuição de poros intra-agregados. Este resultado no tratamento gradagem pode ter ocorrido devido à formação de uma camada mais compacta nesta profundidade corroborando com Stone e Silveira (1999), que inferiram que no preparo com grade há concentração de cerca de 60% das raízes na camada de 0-10 cm. Não houve efeito significativo para diâmetro ponderado das raízes em função dos manejos do solo (Quadro 6).

Houve efeito significativo da razão córtex/cilindro vascular apenas em função do tráfego de trator agrícola e não para os sistemas de manejo (Quadro 7).

Observa-se nas duas camadas avaliadas, que conforme aumentou o tráfego, reduziu a razão entre o córtex e o cilindro vascular. Bergamin et al. (2010) verificaram que houve aumento na razão entre o córtex e o cilindro vascular das raízes de milho com o aumento do tráfego de trator, divergindo dos resultados desse trabalho e de Lipiec et al. (2012).

QUADRO 7. Valores médios da razão entre a espessura do córtex e do cilindro vascular (CO/CV) de raízes de girassol em função do tráfego de trator e dos manejos do solo na camada de 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m.

Tráfego de trator	Camadas	
	0,05-0,10 (m)	0,10-0,15 (m)
Testemunha	0,21 a	0,22 a
T ₁	0,20 a	0,21 a
T ₃	0,13 b	0,13 b
T ₆	0,11 b	0,12 b
Cv%	20,3	36,4
Sistemas de manejo		
Testemunha	0,19 a	0,19 a
Grade	0,20 a	0,17 a
SUB I	0,16 a	0,15 a
SUB II	0,16 a	0,16 a
Cv %	20,3	36,4

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. T₁=Um tráfego; T₃=Três tráfegos e T₆=Seis tráfegos e Grade= Gradagem; SUB I e SUB II= subsolagem realizada três e sete meses após a indução a compactação respectivamente.

Vale ressaltar que tanto Bergamin et al. (2010) e Lipiec et al. (2012) avaliaram espécies de plantas monocotiledôneas. Estes últimos autores ainda inferem que medidas complementares de espessura do córtex em vários locais das seções transversais indicam que a compactação do solo resulta em maior variabilidade da espessura em todas as espécies de plantas.

A maioria das pesquisas sobre os aspectos anatômicos são realizadas em casa de vegetação e não em condição de campo. Em casa de vegetação os solos são introduzidos em vasos ou tubos e sofrem deformação estrutural, tornando-se limitante para averiguar o desempenho natural do sistema radicular. Desta forma, pesquisas deveriam ser direcionadas a avaliar os aspectos anatômicos das raízes, submetidas a diferentes estados de compactação do solo, em ambiente de campo, pois em casa de vegetação as condições impostas são estáticas, e não consideram os efeitos dinâmicos do tráfego de máquinas, alterando a estrutura de poros.

Na Figura 4 são apresentadas as imagens dos tratamentos em função do tráfego de trator agrícola. Nota-se que ocorre deformações na estrutura anatômica das raízes, principalmente, conferindo alongamento das células e achatamento das raízes. Lipiec et al. (2012) comentam que ambientes compactados provocam alterações nos formatos dos poros que resultam em diferentes deformações anatômicas.

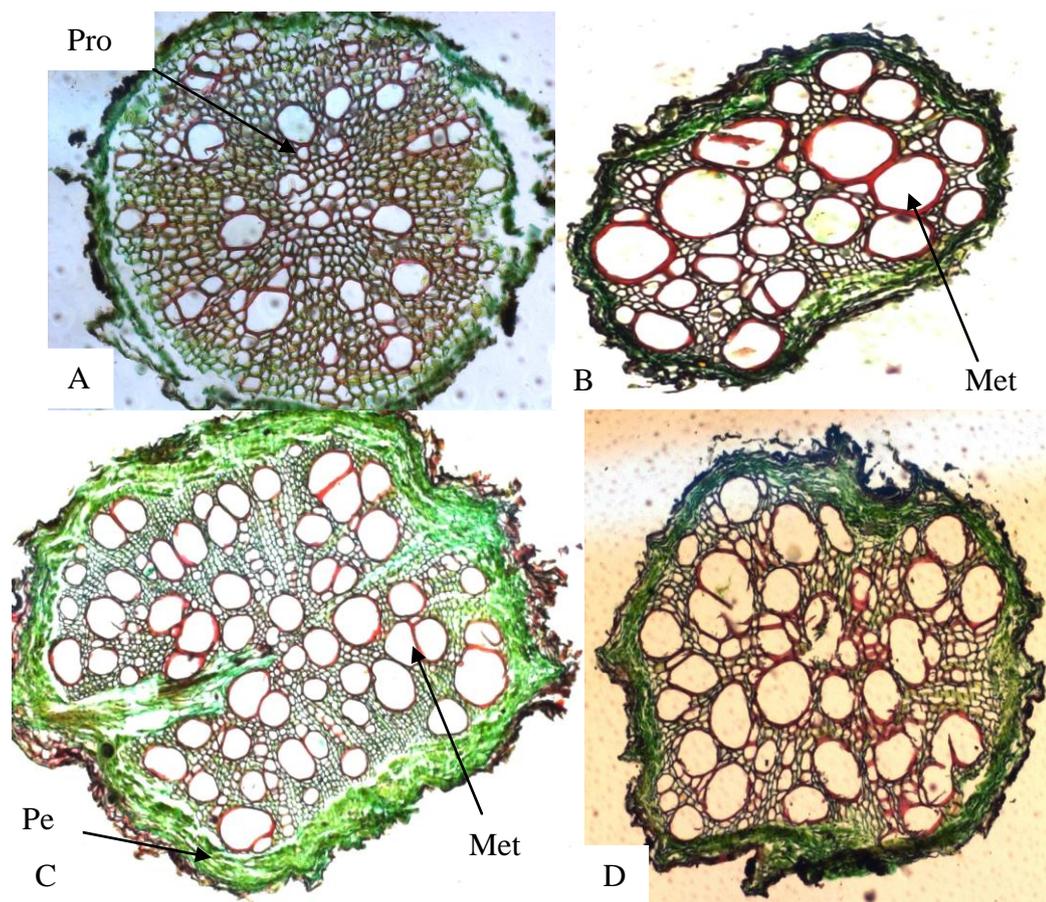


FIGURA 4. Cortes transversais de raízes de girassol com crescimento secundários provenientes dos tratamentos sem compactação e com compactação adicional por tráfego de trator. (A) testemunha; (B) T₁ um tráfego de trator; (C) T₃ três tráfegos e (D) T₆ seis tráfegos. Pro, protoxilema; Met, metaxilema; Pe, periderme.

Observa-se que nos tratamentos submetidos à compactação surgiram numerosos metaxilema (Figura 4 B, C e D), comparado à testemunha (Figura 4 A). Estes resultados corroboram com o trabalho de Jaramillo et al. (1992) que, avaliando raízes de feijoeiro, observaram aumento no número de vasos metaxilema em função do aumento da densidade do solo. Verifica-se que o calibre dos vasos de metaxilema obtidos neste trabalho são semelhante entre si para as condições de compactação do solo e que a coloração vermelha nos vasos do metaxilema é em função de lignificação da parede do vaso. Lipiec et al. (2012) inferem que sob condições de campo as respostas das raízes podem ser ainda influenciada por variações espaciais e temporais de água e da compactação do solo.

No Quadro 8 são apresentados os valores médios de teor de óleo em aquênios de girassol em função do tráfego de trator e dos sistemas de manejo. Os sistemas de manejo não influenciaram significativamente nos teores de óleo,

corroborando com Soltanabadi et al. (2008). Segundo estes autores, embora a subsolagem possa ajudar a melhorar a distribuição do sistema radicular e a absorção de nutrientes, entretanto estes autores não observaram efeito evidente no comprimento da raiz, na produtividade e no teor de óleo.

QUADRO 8. Valores médios do teor de óleo nos aquênios de girassol em função do tráfego de trator agrícola e dos manejos do solo.

Tráfego do trator	Teor de óleo
	%
Testemunha	46,8 a
T ₁	40,2 ab
T ₃	38,4 b
T ₆	39,0 b
Cv %	15,6
Manejo do solo	%
Testemunha	39,9 a
Grade	41,8 a
SUB I	40,7 a
SUB II	41,9 a
Cv %	15,6

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. T₁=Um tráfego; T₃=Três tráfegos e T₆=Seis tráfegos e Grade= Gradagem; SUB I e SUB II= subsolagem realizada três e sete meses após a indução a compactação respectivamente.

O tráfego de trator induziu à redução significativa no teor de óleo (Quadro 8). Presume-se que o ocorrido esteja relacionado com o menor índice de área foliar nos tratamentos com maior tráfego. Aguirrezábal et al. (2001) afirmam que a maior parte dos carboidratos utilizados para a síntese de óleo e enchimento de grãos provém da fotossíntese e que o percentual de óleo é definido durante a etapa de enchimento dos aquênios. Aguirrezábal et al. (2003) observaram redução da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelo girassol durante a fase de enchimento de aquênios, o qual afetou o peso da semente e a concentração de óleo.

Não houve efeito significativo em função dos manejos do solo na produtividade do girassol, atingindo média de 1915 kg ha⁻¹. Botta et al. (2006) observaram que o rendimento de girassol aumentou à medida que a penetração da raiz também aumentou. Estes autores comentam que o solo revolvido com subsolador promove aumento de rendimentos na produção de aquênios, divergindo dos resultados obtidos deste trabalho.

A produtividade do girassol foi influenciada significativamente pelo tráfego de trator (Figura 5). Quando se trafegou seis vezes o trator promoveu uma redução na

produtividade do girassol. A redução percentual da produtividade em função dos tráfegos de aproximadamente 4% para um tráfego, 11% para três tráfegos e 27% para seis tráfegos. Foi observado visualmente que nos tratamentos com a compactação induzida que ocorreram má formação dos capítulos e formação de aquênios chochos. Bayhan et al. (2002), avaliando o efeito da compactação, também perceberam que o tráfego de trator reduziu a produtividade do girassol.

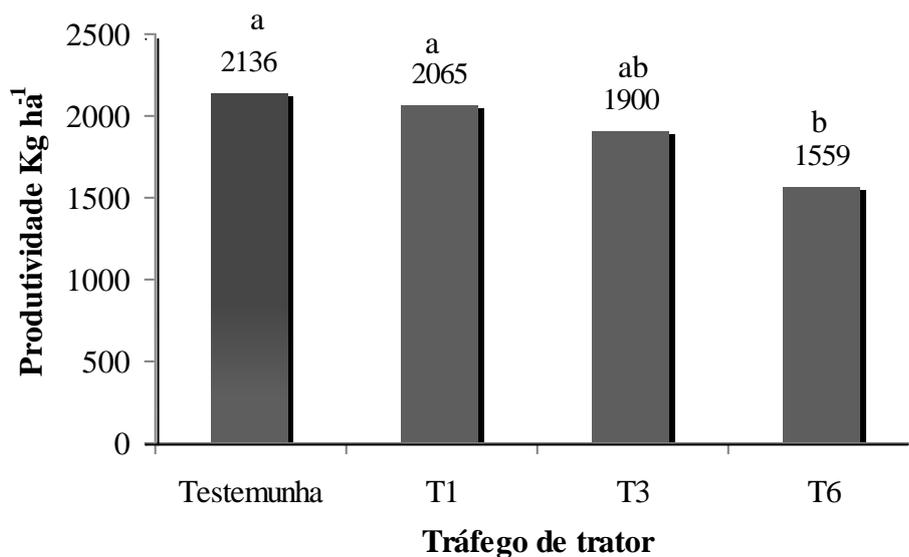


FIGURA 5. Produtividade do girassol submetido a compactação do solo induzida por tráfego de trator agrícola. T₁(um tráfego); T₃ (três tráfegos) e T₆ (seis tráfegos). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

- O tráfego de trator reduziu a produtividade, o teor de óleo e a área foliar do girassol e também reduziu a área e diâmetro de raiz em camadas mais superficiais e promoveu aumento no comprimento radicular em camadas mais profundas e induz ao aumento dos vasos de metaxilema na raiz.

- A subsolagem proporciona aumento na índice de área foliar do girassol e os manejos promovem aumento do crescimento radicular em todas as camadas estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRREZÁBAL, L.A.N.; ORIOLI, G. A.; HERNANDÉZ, L. F.; PEREYRA, V. R.; La intercepción de la radiación lumínica. In: **Girassol**: aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento. Buenos Aires: INTA, 2001. p.36-50.

AGUIRREZÁBAL, L.A.N.; YORICK LAVAUD, G. A. A.; DOSIO, N. G.; ISQUIERDO, F. H. A.; GONZÁLEZ, L. M. Intercepted solar radiation during seed filling determines sunflower weight per seed and oil concentration. **Crop Science Society of América**, Madison, v.43, n.1, p.152-161, 2003. Disponível em: <<https://www.soils.org/publications/cs/articles/43/1/152>>. Acesso em: 10 Jul. 2012.

ALAKUKKU, L. Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. II – Long-term effects on the properties of fine-textured and organic soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.37, n. 4, p.223-238, 1996.

BAYHAN, Y.; KAYISOGLU, B.; GONULOL, E. Effect of soil compaction on sunflower growth. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 68, p. 31–38, 2002.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42 p.

BERAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; LEMPP, B.; SOUZA, C. M. A.; SOUZA, F. R. Anatomia radicular de milho em solo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 03, p.299-305, 2010.

BOTTA, G. F.; JORAJURIA, D.; BALBUENA, R.; RESSIA, M.; FERRERO, C.; ROSSATO, H.; TOURN, M. Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annus* L.) yields. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, p.164–172, 2006.

BOTTA, G.; JORAJURIA, D.; BALBUENA, R.; ROSSATO, H. Mechanical and cropping behaviour of direct drilled soil under different traffic intensities: effect on soybean (*Glycine max* L.) yields. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 78, p. 53–58, 2004.

BOTTA, G.; POZZOLO, O.; BOMBEN, M.; ROSSATO, H.; RIVERO, D.; RESSIA, M.; TOURN, M.; SOZA, E.; VÁZQUEZ, J. Traffic alternatives in harvest of soybean (*Glycine max* L.): effect on yields and soil under direct sowing system. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 96, p. 145–154, 2007.

BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; FREDERICK, J.R. Recomposition of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil and Tillage Research**. Amsterdam, v.68, p. 49-57, 2002.

CAMARA, R.K.; KLEIN, V.A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 29, n. 5, p.789-796, 2005.

CETIOM. 1983. Physiologie de la formation du rendement chez le tournesol. **Information Techniques**, v.83, p.3-72.

CONAB, **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos**, décimo levantamento, julho 2012 / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília : Conab, 2012. Acesso em julho 2012

CONNOR, D. J.; SADRAS, V. O. Physiology of yield expression in sunflower. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 30, p. 333-389, 1992.

CLAESSEN, M. C. E. (Org). **Manual de métodos de análise do solo**. 2 ed. ver. Atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p.

CHAPPELLE, E. W.; KIM, M. S. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): an algorithm for a remote estimation of the concentrations of chlorophyll A, chlorophyll B, and carotenoids in soybean leaves. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 39, p. 239-247, 1992.

DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23,n. 3 p. 703-709, 1999.

DEXTER A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 201-214, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p

FAO - Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação. **Crop Water Management**. Sunflower. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/012/al375e/al375e.pdf>. Acesso em: maio 2012.

FERNANDEZ-MARTINEZ, J. M.; VELASCO, L.; PÉREZ-VICH, B. Progress in the genetic modification of sunflower oil quality. In: International Sunflower conference, 17., 2008, Cordoba. **Proceedings...** Cordoba: Consejería de agricultura y pesca, 2008. V.17, n.1, p.1-14.

FLOWERS, M.D.; LAL, R. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a Mollic Ochraqualf in Northwest. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 48, p. 21-35, 1998.

GOODMAN, A. M; ENNOS, R. The Effects of Soil Bulk Density on the Morphology and Anchorage Mechanics of the Root Systems of Sunflower and Maize. **Annals of Botany**. v.83, p. 293-302, 1999.

HAGQUIST, C.W. Preparation and care of microscope slides. **American Biology Teacher**, v.36, p.414-417, 1974.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4 ed. São Paulo, p. 117-121. 2005.

JAIN, K. K.; VAISH, D. P.; GUPTA, H. K.; MATHUR, S. S. . Studies on hollow seednes in sunflower. In: **International Sunflower Conference**, 8, Minneapolis, USA, 1978. International Sunflower Association. p.138-147.

JARAMILLO, G.; WHITE, J.W.; CRUZ, G. The effect of compaction on differentiation of late metaxylem in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Annals of Botany**, London, v.70, n.1, p.105-110, 1992.

JORGE, L.A.C.; CRESTANA, S. SIARCS 3.0: novo aplicativo para análise de imagens digitais aplicado a ciência do solo. In: **CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 13. Águas de Lindóia, CD-ROM. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 5p.

KÜCKE, M.; SCHMID, H.; SPIESS, A. A comparison of four methods for measuring roots in field crops in three contrasting soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 172, p. 63-71, 1995.

LIPIEC, J.; HORN, R.; PIETRUSIEWICZ, J.; SICZEK, A. Effects of soil compaction on root elongation and anatomy of different cereal plant species. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam , v.121, p. 74–81, 2012

LI-COR. LI 3100 area meter instruction manual. Lincoln: **LICOR**, 1996. 34p

OLIVEIRA, M. F.; OSVALDO, V. V. **Extração de óleo de Girassol utilizando miniprensa**. Londrina: Embrapa soja, 2004, 27p. (Documentos/Embrapa Soja, 237).

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S. dos S.S.; MIRANDA, M.A.C. de. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.929-938, 2000.

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

ROSSI, R.O. **Girassol**. Curitiba: Tecnagro. Curitiba, 1998. 333p.

SADRAS, V. O.; HALL, A. J.; TR-PANI, N.; VILELLA, F. Dynamics of rooting and rootlength:leaf-area relationships as affected by plant population in sunflower crops. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 22, p. 45-57 1989.

SELMECZI-KOVACS, A. Akklimatisation und verbreitung der sonnenblume in Europa. **Acta Ethnographica Academiae Hungaricae**, Budapest, v.24, n. 1-2, p.47-88, 1975.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. A New Version of The Assistat-Statistical Assistance Software. In: **WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN**

AGRICULTURE, 4, Orlando-FL-USA: **Anais...** Orlando: American Society of Agricultural Engineers. p.393-396. 2006

SILVA, V.R. da. **Propriedades Físicas e Hídricas em solos sob diferentes estados de compactação.** 2003. 160f. Tese (Doutorado em Agronomia – Biodinâmica do solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SOLTANABADI, M. H.; MIRANZADEH, M.; KARIMI, M.; GHASEMI-VARNAMKHAZI; HEMMAT, A. Effect of subsoiling in condition of strip tillage on soil physical properties and sunflower yield. **Journal of Agricultural Technology**, Bangkok, v. 4, n. 2, p. 11-19, 2008.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo do solo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do Feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.1, p.83-91, 1999

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHET, J. M.; REINERT, D. R.; LIMA, C. L. R.; Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.8, p.1159-1167, ago. 2007.

UNGARO, M. R.; CASTRO, C.; FARIAS, J. R.; BARNI, N. A.; RAMOS, N. P.; SENTELHAS, P. C. Girassol. In: **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola.** MONTEIRO, J. E. Brasília, DF: INMET, 2009, p.203-221.

VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A.; PERECIN, D.; JORGE, L. A. C.; LANDELL, M. G. A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 849-858, 2003.

XU, D.; MERMOUD, A. Topsoil properties as affected by tillage practices in North China. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 60, p. 11-19, 2001.

ZHANG, T. Y.; SUEN, C. Y. A fast parallel algorithm for thinning digital patterns. **Communications of the ACM**, New York, v. 27, n. 3, p. 236-239, 1984.

CAPÍTULO III

SISTEMAS DE MANEJO E INTENSIDADE DE TRÁFEGO COM TRATOR E SEU EFEITO SOBRE A CULTURA DA SOJA

Resumo: O tráfego de trator em áreas agrícolas tem sido um dos causadores da compactação do solo, a qual tem promovido reduções no crescimento e desenvolvimento em muitas culturas, dentre elas a soja. Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do tráfego de um trator agrícola e de sistemas de manejo no desempenho agrônômico e na morfologia radicular da soja em um Latossolo Vermelho distroférico. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 4, quatro níveis de tráfego de trator agrícola (testemunha, um tráfego, três tráfegos e seis tráfegos de um trator agrícola) submetidos a quatro manejos (testemunha, gradagem, subsolagem três e sete meses após à indução da compactação) com três repetições. As características agrônômicas avaliadas foram produtividade, índice de área foliar, altura de plantas, densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos, taxa de transpiração, condutância estomática, teor de clorofila, características morfológicas e anatômica do sistema radicular e o teor de óleo dos grãos de soja . Os resultados obtidos demonstram que o tráfego induzido por trator agrícola reduziu a produtividade, o índice de área foliar, o teor de clorofila, comprimento e área radicular na camada mais superficial. O tráfego promoveu alterações nas características morfológicas da raiz nas camadas subsuperficiais, alterando ainda o aspecto anatômico da raiz de soja, tornando-a achatada. A subsolagem quando realizada antecipadamente promove aumento do comprimento e a área de raízes em camadas subsuperficiais.

Palavras chaves: aspectos anatômicos, morfologia radicular e compactação do solo.

MANAGEMENT SYSTEM AND TRAFFIC INTENSITY WITH TRACTOR AND ITS EFFECTS ON SOYBEAN CROPS

ABSTRACT: Tractor traffic in agricultural areas has been one of the causes of soil compaction, which has promoted reductions in growth and development in many cultures, among them the soybeans. The aim of this research was to evaluate the effect of traffic of an agricultural tractor and handling systems on agronomic performance and root morphology of soybeans in an Oxisol. The experimental design was a randomized block in factorial 4 x 4, four levels of tractor traffic (control, a traffic, three traffics and six traffics of a tractor) underwent four handlings (control, harrowing, subsoiling three and seven months after compaction induction) with three replications. The agronomic traits were yield, leaf area index, plant height, density photosynthetic photon flux, transpiration rate, stomatal conductance, chlorophyll content, anatomical and morphological characteristics of the root system and the oil content of soybeans . The results show that traffic-induced agricultural tractor reduced productivity, leaf area index, chlorophyll content, root length and area in the superficial layer. Traffic led to morphological changes in the root in subsurface layers, even changing the anatomical aspect of the soybean root, making it flat. The subsoiling when performed earlier promotes an increase in root length and in the surface area in subsurface layers.

Keywords: aspect anatomic, root morphology and soil compaction

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L) Merrill) cultivada no Brasil, para a produção de grãos, é uma planta herbácea, da classe Rosidae, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Papilionoideae, tribo Phaseoleae, gênero *Glycine* L., espécie *max* (TRACE, 2009). É uma importante fonte de divisas para o Brasil, contribuindo com parcela significativa nas exportações. A área cultivada no país na safra 2011/2012 foi de aproximadamente 25.018 milhões de hectares, com produtividade média estimada em 2.665 kg ha⁻¹ e produção de 66.682,3 milhões de toneladas (CONAB, 2012).

Para o cultivo da soja é necessário que o solo ofereça boas características e propriedades químicas, biológicas e físicas para que as plantas tenham condições satisfatórias de germinação, emergência das plântulas, desenvolvimento das plantas e rendimento de grãos.

Existem muitas evidências de que a compactação do solo, proveniente por causas antropogênicas ou naturais, exercem enorme impacto sobre o estabelecimento, crescimento e rendimento de culturas em regiões tropicais, podendo ser um fator limitante para a produção das culturas. O nível de compactação modifica os atributos físicos do solo, como a retenção de água, a resistência à penetração, densidade e porosidade do solo.

O uso intensivo de máquinas nos últimos anos e também o aumento de força do trator agrícola resultaram em implementos e máquinas mais pesadas na atividade agrícola. A adoção de máquinas cada vez maiores e mais pesadas tem gerado um desequilíbrio nos atributos do solo. A compactação do solo pode ser uma dessas consequências, convergindo para redução significativa da produção e capacidade de uso de um solo.

O tráfego de máquinas pesadas pode provocar compactação superficial do solo, reduzindo a produtividade das culturas (BEUTLER e CENTURION, 2003). Em solos compactados ocorre alteração da estrutura e, conseqüentemente, decréscimo da porosidade, da macroporosidade, da disponibilidade de água e nutrientes e da difusão de gases no solo (TAYLOR e BRAR, 1991), cujas relações com o desenvolvimento das raízes são fundamentais.

A densidade do solo, porosidade total, aeração e resistência à penetração podem caracterizar o estado de compactação dos solos. Os valores desses atributos variam entre solos e níveis de compactação (SUZUKI et al., 2007).

Os resultados da compactação do solo nas raízes são a restrição ao crescimento, diminuição da acessibilidade dos nutrientes, e aumento da perda de nutrientes por lixiviação, escoamento superficial e perdas gasosas para a atmosfera, que podem afetar o crescimento das plantas (NAWAZ et al., 2012). A qualidade física do solo e o desenvolvimento de plantas estão relacionados à compactação do solo (STRUDLEY et al., 2008).

As raízes apresentam dificuldade em penetrar nas camadas compactadas, promovendo maior desenvolvimento radicular na camada superior ou inferior menos compactada, como forma de compensar a redução do desenvolvimento radicular na camada de solo compactada (BEUTLER e CENTURION, 2004).

Além das alterações promovidas no sistema radicular das plantas, a compactação pode interferir prejudicialmente nas características agrônômicas.

Silva et al. (2006) verificaram que a soja apresentou redução da área foliar e de produção de massa seca total da parte aérea, em solos com densidade de $1,5 \text{ Mg m}^{-3}$.

A redução do efeito limitante da compactação no solo pode ser feito por métodos culturais e mecânicos (HAMILTON-MANS et al., 2002). Os métodos mecânicos mais empregados são a escarificação e ou subsolagem. Dentre as práticas capazes de influenciar nas propriedades físicas do solo a escarificação e a subsolagem são técnicas de preparo profundo do solo, que visam romper e soltar as camadas compactadas através de hastes rompedoras que promovem a formação de fendas no solo, reduzindo a compactação.

Diante disso, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do tráfego de trator agrícola e de sistemas de manejo no desempenho agrônômico e na morfologia radicular da soja cultivada em um Latossolo Vermelho distroférico.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental de Agronomia do Centro Universitário da Grande Dourados - UNIGRAN, localizada no município de Dourados, MS. O clima da região é do tipo Am de Köppen (Tropical Monçônico), com precipitação média no mês mais seco de 49 mm e anual de 1.455 mm e temperatura no mês mais frio inferior a 18°C e no mais quente superior a 22 °C.

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (Embrapa 2006), cuja composição granulométrica, determinada pelo método da pipeta (Claessen, 1997) foi 640 g kg⁻¹ de argila, 208 g kg⁻¹ de silte e 152 g kg⁻¹ de areia nos primeiros 0,20 m. As características químicas foram: pH (H₂O) = 6,3; Ca²⁺ = 8,2 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 3,5 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,01 cmol_c dm⁻³; H+Al³⁺ = 4,58 cmol_c dm⁻³; P = 7,6 mg dm⁻³; K = 0,18 cmol_c dm⁻³ e MO = 37 g kg⁻¹ (CLAESSEN, 1997).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, arranjos em esquema fatorial 4 x 4 (quatro níveis de compactação induzida e quatro manejos para promover a descompactação do solo) com 3 repetições, totalizando 48 parcelas.

Os tratamentos foram quatro intensidades de tráfego: Testemunha (condição atual, sem compactação adicional), com compactação adicional com um tráfego do trator, com três tráfegos do trator e com seis tráfegos do trator. O outro fator foram os manejos com premissa de ação de descompactação, sendo testemunha (sem manejo), gradagem (grade), subsolagem realizada três meses após a implantação dos tratamentos de compactação (SUB I) e subsolagem realizada sete meses após a implantação dos tratamentos de compactação (SUB II). As parcelas mediram 5 m de comprimento e 3,5 m de largura, possuindo uma área total de 17,5 m².

A indução à compactação do solo foi realizada em 26 de março de 2010, dois dias após intensa precipitação pluvial, quando o solo possuía um conteúdo de água de muito próximo à capacidade de campo na camada de 0,0-0,20 m de profundidade, determinado conforme proposto em Claessen (1997).

Foi utilizado um trator agrícola John Deere 6800 (125 cv), com rodado de pneus diagonais e massa total de 6,8 Mg, com pressão interna de 82,8 kPa de ar nos pneus traseiros (23.1 – 30 95) e 75,8 kPa nos pneus dianteiros (14.9 – 26 12), sendo 39,5% da massa do trator distribuída no eixo dianteiro e 60,5% no eixo traseiro. A compactação foi realizada por meio da passagem lado a lado deste trator, perfazendo

toda a superfície da parcela de forma que os pneus comprimissem áreas paralelas entre si. O número de vezes que a máquina trafegou variou conforme o tratamento, sendo que o tráfego foi sobreposto ao anterior, de forma que toda área das parcelas fosse trafegadas com número igual de vezes.

Os manejos do solo foram realizados com subsolagem e grade. A gradagem foi realizada com um grade de arrasto com 16 discos de corte com diâmetro de 26” passando se de tal forma a perfazer toda a superfície da parcela. Esta operação foi realizada três meses após a compactação induzida pelo tráfego de trator agrícola, posteriormente foi realizada uma gradagem com grade niveladora com 36 discos de diâmetro de 18”, sendo esta realizada uma semana antes da semeadura da soja.

Uma subsolagem (SUB I) foi em junho de 2010 e a outra em outubro de 2010 (SUB II). O subsolador utilizado apresentava as seguintes características: subsolador montado, com haste curva, ponteira sem asa de 0,07 m de largura, com cinco hastes espaçadas de 0,4 m e profundidade de trabalho de 0,5 m. Posteriormente foi realizada uma gradagem com grade niveladora com 36 discos de diâmetro de 18”.

A cultura utilizada para avaliar o efeito da compactação e dos manejos foi a soja, cultivar BMX Potência RR, de ciclo semiprecoce. O estande utilizado para o espaçamento de 0,45 m foi de, aproximadamente, 333.000 plantas por hectare. A soja foi semeada em 26 de Outubro de 2010. A adubação de base realizada foi de 350 kg ha⁻¹ da fórmula 04-14-08. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium* e tratadas com Standak Top (Piraclostrobina 2,5% + Tiofanato metílico 22,5% + Fipronil 25%) + Cruizer (Thiamethoxam) + Comet (Piraclostrobina 25%) Foram realizadas aplicações de fungicidas para o controle de doenças de finais de ciclo.

O balanço hídrico do período de desenvolvimento da cultura foi estimado usando os dados de uma estação meteorológica da Embrapa/Cpao.

O balanço hídrico foi estimado usando os valores da evapotranspiração de referência (ET_o), determinada pelo método Penman-Monteith FAO; a precipitação efetiva (P_e) foi estimada pelo método número curva (SCS-USDA). A capacidade total de água no solo (CTA) estimou-se para uma profundidade de 0,0 a 0,40 m obtendo o valor de 33,5 mm, com base em curvas de retenção de solos da região de Dourados, considerando a umidade gravimétrica de 32,2%, tensão 0,01 MPa, e de 25,4%, tensão 1,5 MPa, com densidade do solo de 1,23 g/cm³.

As características agrônômicas e morfológicas da soja avaliadas foram:

Altura de plantas: por ocasião da maturação a campo, foi determinada, medindo-se 30 plantas por parcela. Essa determinação foi realizada considerando-se como altura da planta a distância entre a superfície do solo e a inserção do último trifólio da haste principal da planta.

Índice de área foliar (IAF): mensurado coletando-se 10 plantas em florescimento pleno, por parcela, desfolhando-as manualmente e passando cada folha individualmente no medidor de área foliar *Li-cor* modelo 3100. O IAF foi determinado a partir da relação entre área foliar total e área de solo disponível para a planta (BENINCASA, 2003).

A densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos, taxa de transpiração, condutância estomática, foram determinadas simultaneamente, com um sistema portátil de medidas de fotossíntese - *LCi Portable Photosynthesis System*, no período de florescimento pleno, realizando a leitura em cinco folhas no terço médio em cinco plantas por parcela escolhidas aleatoriamente.

O teor de clorofila foi determinado utilizando clorofilometro (SPAD). As leituras com o clorofilometro (três leituras por folha) foram feitas em três posições na planta, no terço inferior (primeira folha localizada na base da planta) terço médio (folha situada no terço médio da planta) e terço superior (último trifólio). As leituras foram feitas na parte central de cada folha, em 10 plantas por parcela. Posteriormente, somando-se os valores das posições, gerando uma média por planta.

Morfologia radicular: as determinações do sistema radicular foram realizadas quando as plantas estavam no estágio fenológico entre R3 e R6. Em cada parcela foi aberta uma trincheira transversal a uma linha de cultivo, onde a parede vertical da trincheira ficou a 0,05 m da planta de soja, expondo a raiz desta planta, que foi escolhida aleatoriamente. Após a exposição das raízes em uma seção transversal à linha de cultivo e próxima ao eixo da planta, o perfil foi dividido em quadrículas de 0,05 m, com auxílio de uma malha de 0,45 x 0,4 m colocada em pleno contato com o solo (Figura 1). Efetuou-se, então, a fotografia do perfil com uma câmera digital (12 megapixels) a uma distância de 1,0 m.



FIGURA 1. Distribuição radicular da soja em Latossolo Vermelho distroférrico. A dimensão do perfil estudado é de 0,45 x 0,4 m e cada quadrícula possui 0,05 x 0,05 m.

Após a captação, a imagem, foi segmentada com a técnica de limiarização (*thresholding*). Após foi realizada a esqueletonização que é utilizada para obter o esqueleto de uma região através do seu afinamento.

O método de esqueletonização adotado foi o de Zhang-Suen (1984). Posteriormente, as raízes foram analisadas nas profundidades de 0,0–0,05, 0,05–0,10, 0,10–0,15 e 0,15–0,20, 0,20–0,25, 0,25–0,30, 0,30–0,35 e 0,35–0,40 m quanto a área superficial, comprimento e diâmetro ponderado. As análises foram realizada com o programa computacional SIARCS 3.0 (JORGE e CRESTANA, 1996).

Aspectos anatômicos das raízes: inicialmente as raízes foram submetidas a lavagem para separação das raízes do solo. Posteriormente, foram cortadas em fragmentos de 5 mm, fixados em formalina-acetato-álcool etílico a 50% (F.A.A. 50%), e armazenadas em geladeira até o início do processo de desidratação. A desidratação foi realizada em série alcoólica, e os fragmentos de raízes embebidos em parafina e, posteriormente, em paraplast. Optou-se por avaliar a estrutura radicular nos diferentes tratamentos somente na camada de 0,05–0,10 m, em razão das maiores amplitudes em relação a densidade do solo e da macroporosidade nesta camada.

Foram realizados cortes transversais de 0,10 μm de espessura, em micrótomo rotativo, que foram corados com safranina orange G-fast Green FCF (Hagquist, 1974). Depois de serem montadas as lâminas permanentes, as imagens foram obtidas com um microscópio de ocular micrométrica, e, em seguida, foram realizadas as medidas da espessura do córtex e do cambio vascular. Optou-se por realizar as medidas

de raízes de estruturas secundárias, devido às raízes primárias serem muito finas o que dificulta os cortes (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000). A espessura do cambio vascular foi obtida mensurando-se o diâmetro em dois sentidos e as da espessura do córtex 4 medidas por lamina. Assim, foi estimada a razão entre o córtex e o cambio vascular.

Para a determinação da produtividade foram coletadas as vagens das plantas (individualmente) em uma área de 7,5 m² no centro da parcela, as quais foram em seguida trilhadas. Os grãos trilhados foram limpos e a sua massa foi determinada, sendo os valores de massa de grãos de cada parcela transformados em kg ha⁻¹, corrigidos a 13% de umidade.

Teor de óleo: as amostras trituradas dos grãos de soja foram acondicionadas em cartuchos de papel de filtro. Após serem pesadas, foram levadas ao extrator de Soxhlet durante três horas para extração do óleo através da lavagem com éter de petróleo (IAL, 2005). Após a lavagem, os cartuchos foram retirados e levados à estufa de circulação de ar (65°C) até peso constante.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e quando os fatores avaliados foram significativos pelo teste F, foi aplicado o teste de média de Tukey ao nível de 5%, utilizando-se do programa computacional ASSISTAT (SILVA e AZEVEDO, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo para quase todas as variáveis estudadas quer seja em função do tráfego, dos sistemas de manejo ou da interação dos mesmos.

Na figura 2 é apresentando o balanço hídrico sequencial diário para o período de cultivo da soja. Nota-se que, houve redução abaixo da disponibilidade de 50% da água disponível no início do desenvolvimento da cultura e no estágio fenológico entre R3 e R4. Apesar de curtos estes períodos de redução da disponibilidade de água, podem provocar alterações na fisiologia das plantas.

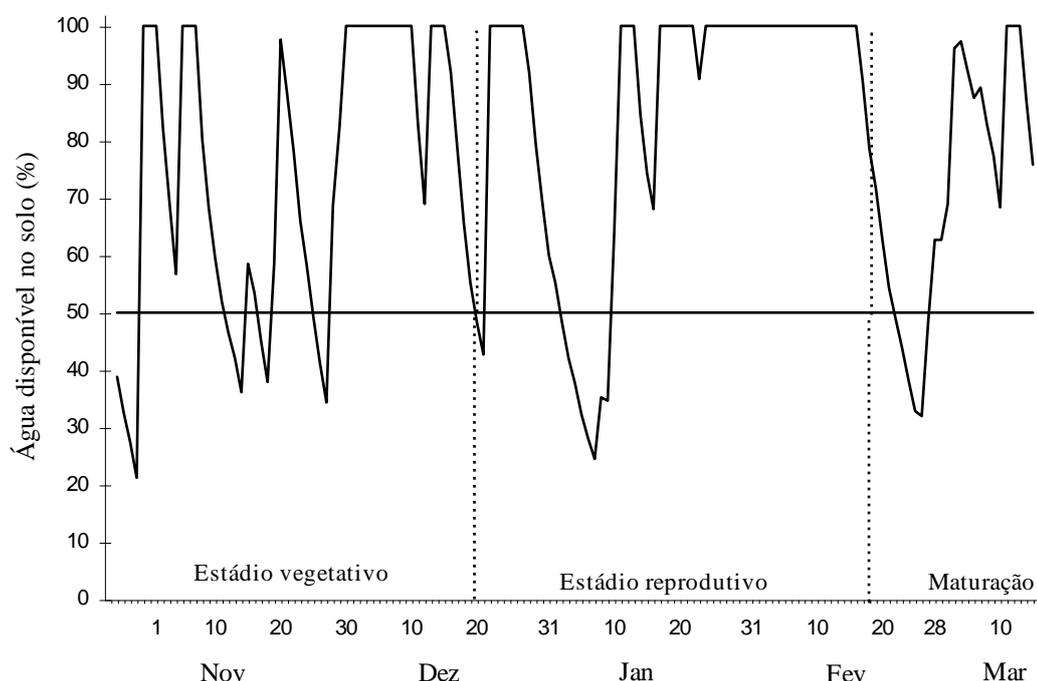


FIGURA 2. Balanço hídrico para o período de desenvolvimento e crescimento da cultura da soja apresentado na forma de disponibilidade de água no solo. Dourados, MS ano 2011/2012.

No Quadro 1 são apresentados os valores médios de índice de área foliar, teor de clorofila, taxa fotossintética, condutância estomática e altura de plantas em função do tráfego de trator. Não houve efeito significativo para condutância estomática. Grzesiak et al. (2012) comentam que o comportamento dos estômatos submetido a compactação do solo é diferente. É iniciada por alterações no potencial hídrico e que a perda da eficiência fotossintética com as alterações de concentração interna de dióxido de carbono, são responsáveis por mudanças na condutância estomática, causando redução na condutância estomática quando se eleva o estado de compactação do solo.

QUADRO 1. Valores médios de índice de área foliar, teor de clorofila, taxa fotossintética e altura de plantas em função do tráfego de trator agrícola em um Latossolo Vermelho distroférico

Tráfego do trator	IAF	Teor de Clorofila	Taxa Fotossintética	Condutância estomática	Altura de plantas
		$\mu\text{g. cm}^{-2}$	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\text{mol. m}^{-2} \text{s}^{-1}$	(m)
Testemunha	5,2 a	39,9 ab	13,2 b	0,59 a	0,75 a
T ₁	4,6 ab	40,5 ab	12,8 b	0,59 a	0,74 a
T ₃	4,2 b	41,4 a	12,5 b	0,67 a	0,69 b
T ₆	4,4 b	39,5 b	14,8 a	0,67 a	0,69 b
Cv %	11,4	4,2	9,5	30,5	7,9

As médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. T₁=Um tráfego; T₃=Três tráfegos e T₆=Seis tráfegos

O índice de área foliar da soja reduziu significativamente quando ocorreram os tráfegos de trator (Quadro 1). Este fato pode ser atribuído à redução da macroporosidade do solo, limitando o acesso à água e nutrientes. Taiz e Zeiger (2009) comentam que à medida que decresce o conteúdo de água da planta, suas células contraem-se e afrouxam a pressão de turgidez contra a parede celular. Estes autores consideram que a redução da área foliar é a primeira linha de defesa ao estresse hídrico e que a expansão foliar depende principalmente da extensão celular.

A inibição da expansão celular provoca lentidão da expansão foliar no início do desenvolvimento de situações de estresse hídrico. Santos e Carlesso (1998) comentam que quando as plantas são expostas a situações de déficit hídrico exibem, frequentemente, respostas fisiológicas que resultam de modo indireto, na conservação da água no solo, como se estivessem economizando para períodos posteriores.

Segundo Belaygue et al. (1996), a mudança no índice de área foliar em condições de déficit hídrico depende da mudança individual da área foliar que ocorre em cada folha. Silva et al. (2006); Zobiolo et al. (2007) e Santos et al. (2008) verificaram que a soja apresentou redução na área foliar em função do aumento da compactação do solo.

Ocorreu redução significativa no teor de clorofila quando submetido ao tratamento seis tráfegos (Quadro 1). Em sua constituição estrutural a clorofila apresenta quatro moléculas de nitrogênio (N). A redução no teor de clorofila pode ter ocorrido em função da diminuição na assimilação do N, em consequência da redução do número e de massa seca de nódulos quando submetido a solos compactados (ZOBIOLE et al., (2007).

Lipiec e Stepniewski (1995) comentam que alteração do estado de aeração do solo contribui diretamente para desnitrificação e perdas de N, diminuição da taxa de

mineralização, nodulação e fixação simbiótica de N por leguminosas e que a alteração no complexo de água no solo induz alterações no transporte e lixiviação do N, resultando em mudanças na configuração de contato ion-raiz.

O tráfego de trator quando submetido a seis tráfegos, aumentou significativamente a taxa fotossintética (Quadro 1). Esse aumento possivelmente ocorre para compensar a redução no teor de clorofila. Estes resultados contrariam os obtidos por Tu e Tan (1988), que verificaram que plantas cultivadas em áreas compactadas apresentam menor taxa fotossintética que as cultivadas em áreas não compactadas.

Pode-se inferir que em plantas sob estresse os efeitos do déficit hídrico sobre a taxa fotossintética ocorrem devido à redução do teor de clorofila, sugerindo que o estresse hídrico pode reduzir a eficiência de assimilação de CO_2 . Lugg e Sinclair (1981) comentam que há alta correlação positiva entre o conteúdo de N nas folhas, o aparato fotossintético e as taxas de assimilação de CO_2 , evidenciando associação dessas características com o rendimento de grãos.

Tubeileh et al. (2003) concluem que plantas cultivadas em área com aumento da densidade do solo podem não ser capazes de compensar o atraso no crescimento da planta. Assim é esperado que ocorra redução na produtividade da cultura.

Houve redução significativa na altura de planta de soja quando submetida acima de três tráfegos de trator (Quadro 1), corroborando com os resultados obtidos por Beutler et al. (2006) que verificaram decréscimo na altura das plantas de soja a partir de duas passadas de trator. Embora o sistema de enraizamento das plantas seja afetado pela compactação do solo, nem sempre resulta na redução da parte aérea, pois depende da disponibilidade de nutrientes no solo. Se um solo é fortemente compactado, capaz de reduzir a mobilidade dos íons no solo e restringir o crescimento da raiz, então seria passível de limitar o crescimento da parte aérea.

No Quadro 2, são apresentados os valores médios de IAF, teor de clorofila, condutância estomática, taxa fotossintética e altura de plantas em função dos sistemas de manejo. Não houve efeito significativo para IAF e altura de plantas. O IAF médio foi de $4,59 \text{ cm}^2$ e a altura média das plantas foram de 71,8 cm.

QUADRO 2. Valores médios de índice área foliar, teor de clorofila, taxa fotossintética e altura de plantas em função dos sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho distroférico.

Manejo do solo	IAF	Teor de Clorofila	Condutância estomática	Taxa Fotossintética	Altura de plantas
		$\mu\text{g. cm}^{-2}$	$\text{mol. m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	(cm)
Testemunha	4,46 a	39,6 b	0,51b	12,7 b	73,6 a
Grade	4,79 a	39,8 b	0,68 ab	13,2 b	73,7 a
SUB I	4,62 a	41,9 a	0,57 ab	15,2 a	70,3 a
SUB II	4,49 a	39,6 b	0,77 a	12,3 b	69,5 a
Cv %	11,4	4,2	30,5	9,5	7,9

As médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Grade= Gradagem; SUB I e SUB II= subsolagem realizada três e sete meses após a indução a compactação respectivamente.

O teor de clorofila foi superior significativamente aos demais no tratamento SUB I (Quadro 2). A subsolagem realizada três meses após a indução à compactação proporcionou melhor eficiência na utilização do nitrogênio (N) pelas plantas. Perez et al. (2005) verificaram que aos 30 dias após a germinação da cultura da soja, em solo do Cerrado sob gradagem, valores de Ntotal foram maiores que aqueles sob subsolagem, entretanto, na floração o solo quando subsolado apresentou os maiores valores de Ntotal. Os autores concluíram que a magnitude das alterações do Ntotal depende da intensidade do manejo, do tipo e frequência dos implementos, da qualidade e quantidade dos fertilizantes e resíduos orgânicos que retornam ao solo.

Houve diferença significativa na condutância estomática para os manejos adotados (Quadro 2). Desta forma, os sistemas de manejo proporcionam melhor condição de disponibilidade de água às plantas. As plantas, ao absorverem CO₂, perdem água pelas folhas. A perda de água ocorre principalmente através dos estômatos, que controlam o processo osmótico das folhas. Esse controle é atribuído à condutância estomática foliar, que é frequentemente utilizada como indicador de deficiência hídrica.

À medida que os estômatos se fecham, a eficiência do uso da água pode aumentar, ou seja, mais CO₂ pode ser absorvido por unidade de água transpirada, devido, principalmente, à inibição da transpiração, que diminui as concentrações intercelulares de CO₂ (TAIZ e ZEIGER, 2009). Os resultados obtidos neste trabalho indicam que plantas submetidas a sistemas de manejo, principalmente subsolagem, desenvolvem mecanismos para tolerar estresse hídrico moderado.

A taxa fotossintética foi superior significativamente na subsolagem realizada três meses após a compactação do solo (SUB I) em relação aos demais tratamentos (Quadro 2). Os sistemas de manejo com menores valores de taxa

fotossintética podem induzir as plantas a terem seu crescimento afetado e reduzir a produtividade, pois praticamente todo carbono acumulado na planta é proveniente desse processo.

Não houve efeito significativo para o teor de óleo nos grãos de soja em função do tráfego de trator agrícola e sistemas de manejos. Os valores médios de teor de óleo obtidos foram de 16,70% para o tráfego e 16,73% para os sistemas de manejo. Souza et al. (2009) comentam que a maioria das cultivares de soja apresentam 30 a 45% de proteínas, 15 a 25% de óleo e que os teores de proteína e de óleo da soja podem variar devido às condições climáticas, localização geográfica, cultivares, tipo de solo e práticas agronômicas (HORAN, 1974). Os teores de proteína e de óleo são inversamente correlacionados (THORNE e FEHR, 1970; SIMPSON JUNIOR e WILCOX, 1983; BURTON, 1984). De acordo com Hakansson e Lipiec (2000), a redução no teor de proteína nos grãos pode ser mais pronunciada em anos com maiores períodos de seca, em condição de compactação do solo. O teor de proteínas em grãos de soja diminui ligeiramente com o aumento do nível de compactação. (SICZEK e LIPIEC, 2011).

Houve efeito significativo para todas as características morfológicas do sistema radicular da soja em função do tráfego de trator agrícola, dos sistemas de manejo e da interação entre dois fatores para a camada 0,0-0,05 m.

No Quadro 3 são apresentados os valores médios do desdobramento da interação entre tráfego de trator e os sistemas de manejo para as características morfológicas comprimento, área e diâmetro ponderado de raiz na camada 0,0-0,05 m.

Observa-se que quando submetido a seis tráfegos de trator reduziu significativamente área superficial de raiz na camada de 0,0-0,05 m, contrapondo-se ao obtido por Beutler e Centurion (2004); Oliveira et al. (2012) e corroborando com Beutler et al. (2007) (Quadro 3). A subsolagem realizada três meses após a compactação do solo (SUB I) promoveu maior área de superfície do sistema radicular e a realizada sete meses após a compactação (SUB II) não proporcionou incremento na área de superfície do sistema radicular a partir de três tráfegos de trator.

A compactação da camada superficial do solo é mais limitante para o crescimento radicular do que a compactação do subsolo (BOTTA et al., 2006). Benghough e Mullins (1990) comentam que o menor crescimento radicular em solos compactados ocorre por causa da menor taxa de alongação celular, em razão da diminuição na taxa de divisão celular do meristema.

QUADRO 3. Desdobramento da interação dos valores médios de área, comprimento e diâmetro ponderado de raiz da soja função do tráfego de trator e dos manejos do solo adotados visando a descompactação na camada de 0,0-0,05 m.

Tráfego do trator	Área superfície (cm ² m ⁻²)			
	Testemunha	Grade	SUB I	SUB II
Testemunha	1085,35 abB	2953,2 aAB	2402,7 cAB	4754,3 aA
T ₁	3833,6 aA	1507,3 aA	2470,6 bcA	4170,9 aA
T ₃	3129,4 aB	929,4 aB	6853,2 aA	1159,8 bB
T ₆	975,2 bB	2596,3 aAB	5279,8 aA	641,0 bB
Cv%	45,5			
	Comprimento (cm)			
	Testemunha	Grade	SUB I	SUB II
Testemunha	124,7 aA	292,9 aA	222,2 bA	422,3 aA
T ₁	383,5 aA	147,2 aA	197,7 bA	379,5 aA
T ₃	264,7 aB	124,7 aB	677,1 aA	154,3 abA
T ₆	96,5 aB	233,1 aAB	506,9 abA	50,54 bB
Cv%	55,4			
	Diâmetro ponderado (cm)			
	Testemunha	Grade	SUB I	SUB II
Testemunha	0,127 aA	0,153 aA	0,193 bA	0,127 aA
T ₁	0,129 aA	0,189 aA	0,169 bA	0,147 aA
T ₃	0,209 aB	0,109 aB	0,369 aA	0,111 aB
T ₆	0,150 aA	0,168 aA	0,164 bA	0,173 aB
Cv%	35,4			

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. T₁=Um tráfego; T₃=Três tráfegos e T₆=Seis tráfegos e Grade= Gradagem; SUB I e SUB II= subsolagem realizada três e sete meses após a indução a compactação respectivamente.

Para camada de 0,0-0,05 m a gradagem e a subsolagem (SUB I) proporcionaram melhores resultados para variável área de superfície (Quadro 3). Stone e Silveira (1999) obtiveram resultados semelhantes para a cultura do feijão.

Para variável comprimento radicular na camada 0,0-0,05 m houve diferença significativa do tráfego de trator dentro da SUB I e SUB II corroborando com Micucci e Taboada (2006) (Quadro 3). Observa-se que o solo quando submetido a seis tráfegos de trator promoveu redução no comprimento da raiz na camada de 0,0-0,05 m. Rosolem et al. (1994) comentam que as raízes da soja são bastante sensíveis à compactação do solo. Analisando os manejos dentro do tráfego, o tratamento SUB I, favoreceu ao aumento no crescimento radicular. O crescimento das raízes em solos com maiores densidades, provavelmente, deve-se ao balanço entre a pressão externa, proporcionada pelo solo, e a interna, exercida pela raiz, sendo a taxa de crescimento da raiz condicionada, primeiramente, pela menor pressão oferecida pelo solo do que pela maior pressão exercida pelas raízes. Desta forma, as raízes tendem a crescer em camadas ou locais que apresentem menor impedância.

O diâmetro ponderado apresentou diferença significativa apenas para o tráfego de trator dentro da SUB I (Quadro 3), onde a interação de três tráfegos com a SUB I promoveu aumento no diâmetro, possivelmente devido a menor quantidade de torrões na camada superficial, em razão do tempo de reorganização dos agregados na SUB I, ter sido diferente do observado na SUB II que mesmo submetida à gradagem niveladora, apresentava torrões maiores. Observando a característica morfológica diâmetro, nota-se, que apesar de não haver diferença significativa para camada 0,0-0,05 m em relação ao tráfego de trator, houve tendência de aumento do diâmetro das raízes.

Foloni et al. (2006) comentam que, na camada de solo compactado, o diâmetro médio radicular da soja aumentou. Oliveira et al (2012) verificaram também que o diâmetro radicular foi maior quando submetido a quatro passadas de trator em comparação à testemunha.

Oliveira et al. (2012) concluíram que o diâmetro radicular foi maior na compactação com quatro passadas, nas profundidades de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m. Entretanto, com aumento da compactação, conseqüentemente, há aumento do diâmetro, o que inibe o desenvolvimento do sistema radicular em solos compactados. Além disso, percebe-se que o sistema radicular correlacionou-se inversamente com a produtividade da soja.

No Quadro 4 são apresentados os valores médios do desdobramento da interação entre tráfego de trator agrícola e os sistemas de manejo para as características morfológicas área de superfície, comprimento e diâmetro ponderado de raiz da soja na camada 0,05-0,10 m.

Analisando área de superfície radicular na camada de 0,05-0,10 m submetido ao tráfego de trator dentro dos sistemas de manejo, nota-se que, quando trafegado seis vezes, houve maior área de superfície nesta camada, possivelmente, devido ao aumento da densidade na camada abaixo desta, favorecendo o acúmulo de raiz nesta camada (Quadro 4). Avaliando os sistemas de manejo dentro do tráfego, verifica-se que a gradagem promoveu desempenho igual para camada de 0,0-0,05 m. Beutler et al. (2004), avaliando o efeito da compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja em Latossolo Vermelho de textura média observaram que há tendência da densidade e área de raiz concentrar-se na camada de até 0,10 m.

QUADRO 4. Desdobramento da interação dos valores médios de área de superfície de raiz, comprimento e diâmetro ponderado da soja função do tráfego de trator e dos manejos do solo adotados visando à descompactação na camada de 0,05-0,10 m.

Tráfego do trator	Área superfície (cm ² m ⁻²)			
	Testemunha	Grade	SUB I	SUB II
Testemunha	1856,6 bB	10634,7 abA	7212,3 aAB	4987,7 aAB
T ₁	6175,3 abA	10434,8 abA	8330,2 aA	5687,2 aA
T ₃	9857,7 aA	4490,2 bAB	7721,9 aAB	2159,3 aB
T ₆	6168,3 abB	15616,9 aA	7425,2 aB	5773,9 aB
Cv%	40,0			
	Comprimento (cm)			
Testemunha	416,1 aB	964,9 aA	693,0 aAB	638,7 aAB
T ₁	685,7 aA	835,3 abA	901,4 aA	649,8 aA
T ₃	542,9 aAB	404,7 cAB	754,9 aA	282,6 aB
T ₆	492,9 aA	579,7 bcA	543,0 aA	555,7 aA
Cv%	27,3			
	Diâmetro ponderado (cm)			
Testemunha	0,418 aA	0,164 abB	0,159 bB	0,116 aB
T ₁	0,141 cA	0,190 aA	0,140 bA	0,137 aA
T ₃	0,272 bB	0,126 bC	0,343 aA	0,114 aC
T ₆	0,153 cA	0,200 aA	0,165 bA	0,147 aA
Cv%	14,5			

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. T₁=Um tráfego; T₃=Três tráfegos e T₆=Seis tráfegos e Grade= Gradagem; SUB I e SUB II= subsolagem realizada três e sete meses após a indução a compactação respectivamente.

O tráfego de trator reduziu significativamente o comprimento da raiz na camada 0,05-0,10 m, nos sistemas de manejo (Quadro 4). Verifica-se que o tráfego de trator em sistemas manejados com gradagem promovem aumento no comprimento radicular na testemunha. Analisando os tráfegos dentro dos manejos verifica-se que quando submetido a três tráfegos o comprimento radicular foi maior quando realizada subsolagem três meses após a indução a compactação. Beutler e Centurion (2004) relatam que a planta de soja, ao tentar suprir o menor desenvolvimento radicular na camada compactada, aumenta o desenvolvimento radicular nas regiões superiores e inferiores menos compactadas, de forma a compensar os efeitos supressivos da compactação.

Para a característica morfológica diâmetro ponderado observou-se que a testemunha promoveu aumento significativo na camada de 0,05-0,10 m (Quadro 4). Analisando os tráfegos dentro dos manejos, verifica-se que o maior valor de diâmetro ponderado de raiz ocorreu no tratamento SUB I. Este fato pode ter ocorrido pela melhor

distribuição de poros do solo, favorecendo a formação de raízes mais grossas e com maiores comprimentos, permitindo melhor exploração do solo, aumento o contato íon-raiz, podendo resultar em maiores produtividades como obtido neste trabalho.

No quadro 5, são apresentados os valores médios de comprimento, área de superfície e diâmetro ponderado do sistema radicular de soja submetido a tráfego de trator agrícola nas camadas de 0,10-0,15, 0,15-0,20, 0,20-0,25, 0,25-0,30, 0,30-0,35 e 0,35-0,40 m. A interação entre preparo de solo e número de passadas não foi significativa, obrigando a análise isolada dos dois fatores nestas camadas.

Na camada de 0,10-0,15 m, nota-se que o tráfego de seis vezes causou redução significativa e uma passada aumentou a área de superfície de raiz (Quadro 6). Na camada de 0,15-0,20 m e 0,20-0,25 houve diferença significativa para comprimento e diâmetro ponderado. Entretanto na camada de 0,20-0,25 m a maior intensidade do tráfego proporcionou aumento na área de superfície de raiz.

Os tratamentos três e seis tráfegos reduziram o diâmetro ponderado e o comprimento radicular significativamente corroborando com Lipiec et al. (2012) e contrapondo-se ao observado por Beutler e Centurion (2004) que verificaram que o diâmetro médio das raízes, não sofre alterações significativas na camada compactada para cultura da soja. Observa-se que tanto o comprimento radicular quanto a área de raízes decrescem a partir da camada de 0,20 m (Quadro 5).

Na camada de 0,25-0,30 m houve redução para comprimento radicular e área radicular com o aumento do tráfego de trator (Quadro 5). Foloni et al. (2006) inferem haver correlação significativa para as variáveis densidade do comprimento radicular e diâmetro médio das raízes de soja em solo compactado. Entretanto, Beutler et al. (2007) não verificaram efeito significativo para o diâmetro de raiz em função do tráfego as camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,15 e 0,20-0,25 m.

A área e o diâmetro das raízes aumentaram significativamente na camada de 0,30-0,35 m e reduziram o comprimento e a área radicular na camada de 0,35-0,40 m. O diâmetro ponderado aumentou nestas duas camadas (Quadro 5), possivelmente, devido à redução da macroporosidade, induzindo as raízes a engrossarem para romper, abrir e vencer poros de menores calibres. Glinski e Lipiec (1990) comentam que as raízes de soja ampliam poros menores do que seus diâmetros ou deslocam agregados do solo.

QUADRO 5. Valores médios de comprimento, área e diâmetro ponderado de raiz de soja por camada submetida ao tráfego de trator agrícola

Tratamento	Comprimento (cm)	Área (cm ² m ⁻²)	Diâmetro Ponderado (cm)
Camada 0,10-0,15 m			
Testemunha	335,5 a	3086,3 ab	0,285 a
T ₁	495,6 a	5192,4 a	0,147 a
T ₃	280,9 a	2608,7 ab	0,252 a
T ₆	518,8 a	2403,8 b	0,152 a
Cv %	54,2	63,4	67,1
Camada 0,15-0,20 m			
Testemunha	150,9 a	1363,3 a	0,246 a
T ₁	154,0 a	1399,6 a	0,298 a
T ₃	128,9 a	1182,3 a	0,136 b
T ₆	51,3 b	1069,1 a	0,149 b
Cv %	48,3	65,6	40,8
Camada 0,20-0,25 m			
Testemunha	90,9 ab	389,1 c	0,234 a
T ₁	105,3 a	766,2 b	0,164 ab
T ₃	62,8 b	542,1 bc	0,152 b
T ₆	75,9 ab	1937,8 a	0,142 b
Cv %	26,1	28,8	37,8
Camada 0,25-0,30 m			
Testemunha	28,3 a	252,0 a	0,228 a
T ₁	14,6 b	74,6 b	0,157 a
T ₃	6,0 b	40,3 b	0,221 a
T ₆	6,0 b	63,5 b	0,146 a
Cv %	75,1	33,2	51,0
Camada 0,30-0,35 m			
Testemunha	2,6 a	28,3 ab	0,142 b
T ₁	2,5 a	21,1 b	0,135 b
T ₃	3,4 a	29,6 a	0,245 a
T ₆	4,8 a	30,5 a	0,148 ab
Cv %	71,6	25,7	53,6
Camada 0,35-0,40 m			
Testemunha	2,1 a	22,8 a	0,140 b
T ₁	1,9 a	17,0 ab	0,139 b
T ₃	1,0 b	12,1 bc	0,241 a
T ₆	0,9 b	9,7 c	0,146 ab
Cv %	41,9	41,3	53,6

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. T₁=Um tráfego; T₃=Três tráfegos e T₆=Seis tráfegos

No Quadro 6 são apresentados os valores médios de comprimento, área de superfície e diâmetro ponderado do sistema radicular de soja submetido aos sistemas de manejo do solo nas camadas de 0,10-0,15, 0,15-0,20, 0,20-0,25, 0,25-0,30, 0,30-0,35 e 0,35-0,40 m.

QUADRO 6. Valores médios de comprimento, área e diâmetro ponderado de raiz de soja por camada submetida a manejos do solo

Tratamento	Comprimento (cm)	Área (cm ² m ⁻²)	Diâmetro Ponderado (cm)
Camada 0,10-0,15 m			
Testemunha	267,8 a	2322,9 b	0,263 a
Grade	608,2 a	6736,5 a	0,160 a
SUB I	420,2 ab	4895,3 ab	0,289 a
SUB II	340,6 b	2711,4 b	0,124 a
Cv %		63,4	67,1
Camada 0,15-0,20 m			
Testemunha	69,1 b	1140,4 a	0,176 b
Grade	162,1 a	1556,4 a	0,318 a
SUB I	147,2 a	1486,3 a	0,208 b
SUB II	107,1 ab	831,1 a	0,127 b
Cv %	48,3	65,6	40,8
Camada 0,20-0,25 m			
Testemunha	98,1 b	437,7 c	0,164 a
Grade	80,6 b	873,9 b	0,181 a
SUB I	184,4 a	1782,1 a	0,194 a
SUB II	71,7 b	541,4 c	0,167 a
Cv %	26,1	28,8	37,8
Camada 0,25-0,30 m			
Testemunha	7,3 b	42,5 c	0,211 a
Grade	9,4 ab	64,3 c	0,173 a
SUB I	20,7 a	182,9 a	0,199 a
SUB II	17,6 ab	140,9 b	0,169 a
Cv %	75,1	33,2	51,0
Camada 0,30-0,35 m			
Testemunha	2,4 a	22,7 b	0,171 a
Grade	4,4 a	22,1 b	0,173 a
SUB I	3,6 a	34,2 a	0,164 a
SUB II	3,9 a	30,6 a	0,162 a
Cv %	71,6	25,7	53,6
Camada 0,35-0,40 m			
Testemunha	0,9 c	9,9 b	0,171 a
Grade	1,3 bc	14,0 ab	0,173 a
SUB I	1,7 ab	17,4 a	0,164 a
SUB II	2,2 a	20,3 a	0,162 a
Cv %	41,9	41,3	53,6

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Grade= Gradagem; SUB I e SUB II= subsolagem realizada três e sete meses após a indução a compactação respectivamente.

Os manejos promoveram alterações significativas no comprimento radicular em todas as camadas exceto na de 0,30-0,35 m (Quadro 6). Nas camadas que apresentaram efeito significativo o comprimento radicular foi superior quando submetido ao tratamento SUB I. Este fato pode ser em função das melhores condições de aeração proporcionado por este manejo, que promoveu aumento da macroporosidade em todas as camadas, quando comparada aos outros tratamentos, favorecendo o crescimento do sistema radicular. Também refletiu no maior conteúdo de clorofila e

consequentemente, no aumento da taxa fotossintética. Estes resultados corroboram com Oliveira et al. (2012) que observaram que a melhor distribuição do sistema radicular pode estar relacionada à maior porosidade total e menor impedimento mecânico ao desenvolvimento radicular e, sobretudo, à maior produtividade.

A área superficial do sistema radicular apresentou aumento significativo para todas as camadas, exceto 0,15-0,20 m, em função dos manejos do solo (Quadro 6). Entre os tratamentos, a subsolagem (SUB I) realizada três meses após a indução a compactação do solo proporcionou aumento da área superficial radicular. Os menores efeitos da gradagem nestas camadas pode ser atribuída na redução de ação em camadas mais profundas e pelo contato dos discos de corte fragmentar principalmente as arestas dos agregados.

Os manejos promoveram efeito significativo apenas na camada de 0,15-0,20 m para diâmetro de raiz. (QUADRO 6). A gradagem promoveu aumento significativo no diâmetro ponderado de raiz de soja.

No Quadro 7 são apresentados os valores médios do desdobramento da interação entre o tráfego de trator agrícola e os sistemas de manejo para a razão córtex/cilindro vascular.

QUADRO 7. Desdobramento da interação dos valores médios da razão entre a espessura do córtex e do cilindro vascular (CO/CV) de raízes de soja em função do tráfego de trator e dos manejos do solo na camada de 0,05-0,10 m.

Tráfego do trator	Camada 0,05-0,10 m			
	Testemunha	Grade	SUB I	SUB II
Testemunha	0,66 aA	0,52 aA	0,43 bA	0,59 aA
T ₁	0,61 abA	0,52 aA	0,51 bA	0,39 aA
T ₃	0,34 bcA	0,32 aB	0,80 aA	0,44 aB
T ₆	0,29 cAB	0,53 aA	0,55 abA	0,35 aA
Cv%	25,7			

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. T₁=Um tráfego; T₃=Três tráfegos e T₆=Seis tráfegos.

Os resultados demonstram que houve efeito significativo do tráfego dentro da testemunha e do tratamento SUB I. Observa-se que com o aumento do tráfego de trator ocorreu redução significativa na relação córtex/cilindro vascular. Queiroz-Voltan et al. (2000) avaliando os aspectos anatômicos de raiz de soja submetido a diferentes densidades dos solo, não observaram diferença significativa na espessura da raiz quanto ao cambio vascular e o córtex, contrapondo-se aos resultados deste trabalho. Estes

autores ainda ressaltam que o desenvolvimento radicular não é totalmente uniforme. Segundo Ranathunge et al. (2003), alterações na anatomia radicular afetam a absorção de água pela planta e utilização de nutrientes e a tolerância à seca através dos efeitos sobre o resistência hidráulica do sistema radicular. Na camada de 0,05-0,10 m, o tratamento SUB I promoveu aumento na razão córtex/cilindro vascular dentro de todos os tráfegos de trator.

O tráfego em áreas agrícolas promove mudanças nas formas dos poros do solo, causadas por rearranjo das partículas durante a indução a compactação, que modificam a forma das raízes, tornando-as mais achatadas como pode ser observado na (Figura 3).

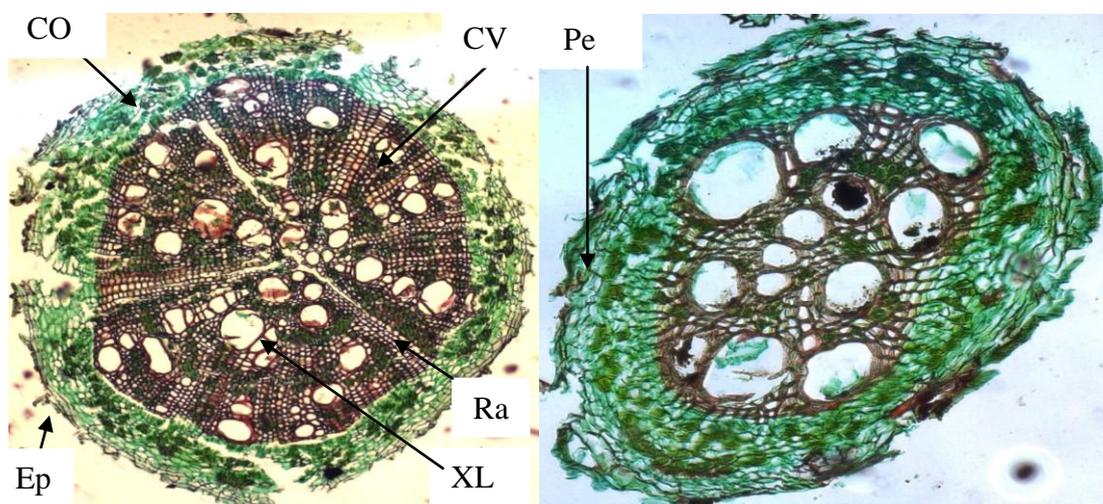


FIGURA 3. Cortes transversais de raízes de soja com crescimento secundários provenientes dos tratamentos sem compactação e seis tráfegos com compactação adicional por tráfego respectivamente. Ep, epiderme; CO, córtex; CV, Cilindro vascular; XL, Xilema; Pe, periderme; Ra, raio.

Nos tratamentos três e seis tráfegos foram constatados que as raízes apresentavam-se achatadas (Figura 3), indicando que as raízes em solos com menor grau de compactação tornam-se circulares, pois os poros sofrem menor deformação. Entretanto, em solos compactados o aspecto achatado, deve-se as raízes estarem crescendo através dos poros em forma de fenda. Pode se observar que ocorre variabilidade do diâmetro do cilindro vascular e a espessura do córtex, sendo maior nas raízes crescidas em condições de maior tráfego. As variações nas respostas de raízes indicam que a força do ambiente local em torno das raízes é mais heterogênea em solo compactado do que em não compactados (LIPIEC et al., 2012).

Na Figura 4 são apresentados os valores médios de produtividade da soja em função do tráfego de trator agrícola. Observa-se que houve redução significativa na produtividade da soja a partir de três tráfegos do trator, corroborando com Beutler et al. (2007) e Botta et al. (2010). Possivelmente, isso ocorreu em função da redução do índice de área foliar, que induziu a menor área de captação de radiação solar e, conseqüentemente, reduzindo a formação de fotoassimilados. No entanto, o tratamento seis tráfegos apresentou o maior valor de taxa fotossintética para compensar a redução do índice de área foliar e do teor de clorofila.

Beutler e Centurion (2004), avaliando cinco níveis de compactação em Latossolo Vermelho distroférico no desenvolvimento da cultura da soja observaram que o decréscimo de 18% da densidade radicular, na camada de 0,05–0,15 m, promove redução na produtividade. Beutler et al. (2006), estudando o efeito de seis níveis de compactação do solo em quatro cultivares de soja, observaram que a partir de duas passadas do trator houve redução da produtividade.

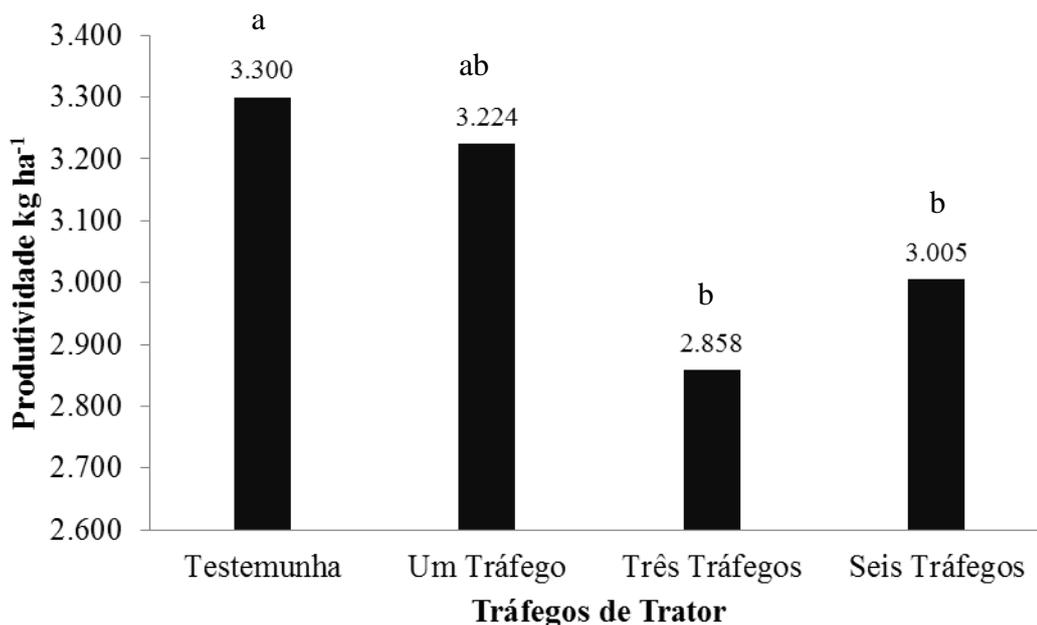


FIGURA 4. Valores médios de produtividade da soja em função do tráfego de trator. As médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A produtividade foi superior significativamente para o sistema de manejo SUB I em relação a SUB II (Figura 5), indicando que, quando necessária a subsolagem deve ser realizada com um período maior antecedendo a semeadura, visando proporcionar melhor continuidade dos poros do solo e melhorando o desenvolvimento

radicular. Possivelmente, esse aumento na produtividade pode ter ocorrido em função da maior taxa fotossintética, que tem importante papel na produção das culturas, conforme Wullschleger e Oosterhuis, (1990). O rendimento de grãos é potencialmente influenciado pela duração da taxa de acumulação de carboidratos (CRAFTS-BRANDNER e PONELEIT, 1992).

Nicoloso et al. (2008) concluíram que as práticas mecânicas e biológicas visando a redução da compactação beneficiam a qualidade física do solo e aumentam a produtividade da soja. Entretanto, Secco et al. (2009) verificaram que sistemas de escarificação do solo em três estados de compactação do solo, não modificaram o rendimento da soja.

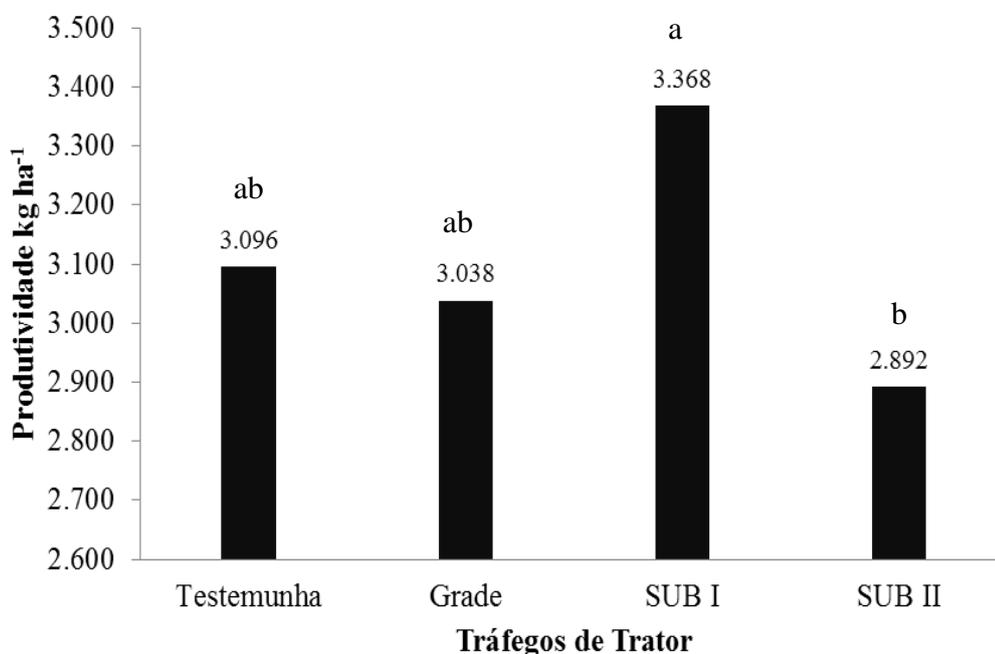


FIGURA 5. Valores médios de produtividade da soja em função do tráfego de trator. As médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

- O tráfego de trator agrícola reduz o índice de área foliar, o teor de clorofila e a produtividade, comprimento e área radicular na camada mais superficial.
- O tráfego de trator agrícola promove alterações nas características morfológicas das raízes nas camadas subsuperficiais e altera o aspecto anatômico da raiz de soja, tornando-a achatada.
- Os sistemas de manejos aumentaram a condutância estomática
- A subsolagem, quando realizada antecipadamente, promove aumento do comprimento e área de superfície em camadas subsuperficiais e aumento da produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELAYGUE, C.; WERY, J.; COWAN, A.A.; TARDIEU, F. Contribution of leaf expansion, rates of leaf appearance, and stolon branching to growth of plant leaf area under water deficit in white clover. **Crop Science**, Madison, v.36, p.1240-1246, 1996.

BENGHOUGH, A.G.; MULLINS, C.E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.41, n.3, p.341-58, 1990.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. 2ed Jaboticabal: FUNEP, 41p. 2003.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 38, p.849-856, 2003.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.6, p.581-588, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; SILVA, A. P. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 30, p. 787-794, 2006.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; FREDDI, O. S.; SOUSA NETO, E. L.; LEONEL, C. L.; SILVA, A.P. Traffic soil compaction of an oxisol related to soybean development and yield. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.64, n. 6, p. 608-615, 2007

BOTTA, G. F.; JORAJURIA, D.; BALBUENA, R.; RESSIA, M.; FERRERO, C.; ROSSATO, H.; TOURN, M. Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annuus* L.) yields. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, p.164–172, 2006

BOTTA, G. F.; TOLON-BECERRA, C. A.; LASTRA-BRAVO, X. TOURN, M. Tillage and traffic effects (planters and tractors) on soil compaction and soybean (*Glycine max* L.) yields in Argentinean pampas. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam v. 110, p.167–174, 2010.

BURTON, J.W. Breeding soybeans for improved protein quantity and quality. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 3., 1984, Ames. **Proceedings**. Boulder : Westview, p.361-367,1984

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, oitavo levantamento, maio 2012** / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília : Conab, 2012.

CLAESSEN, M. C. E. (Org). **Manual de métodos de análise do solo**. 2.ed. ver. Atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997.212p.

CRAFTS-BRANDNER, S.J.; PONELEIT, C.G. Selection for seed growth characteristics: effect on leaf senescence in maize. **Crop Science**, Madison, v.32, p.127-131, 1992.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p

FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L.; BULL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 49-57, 2006.

GLINSKI, J.; LIPIEC, J. **Soil Physical Conditions and Plant Roots**. CRC Press Inc., Boca Raton, FL. 1990.

GRZESIAK, S.; GRZESIAK, M. T.; HURA, T.; MARCIŃSKA, I.; RZEPKAB, A. Changes in root system structure, leaf water potential and gas exchange of maize and triticale seedlings affected by soil compaction. **Environmental and Experimental Botany**, p. 1-9, 2012.

HAGQUIST, C.W. Preparation and care of microscope slides. **American Biology Teacher**, v.36, p.414-417, 1974.

HAKANSSON, I.; LIPIEC, J. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, p. 71-85, 2000.

HAMILTON-MANNS, M.; ROSS, C.W.; HORNE, D.J.; BAKER, C.J. Subsoil loosening does little to enhance the transition to no-tillage on a structurally degraded soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam. v. 68, p.109-119, 2002.

HORAN, F.E. Soy protein products and their production. **Journal of the American Oil Chemists Society**, New York, v.51, n.1, p.67-73, 1974.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4 ed. São Paulo, p. 117-121. 2005.

JORGE, L.A.C.; CRESTANA, S. Recomendações práticas para utilização do SIARCS 3.0 nos estudos de raízes, cobertura vegetal, folhas e outras aplicações. São Carlos: EMBRAPA-CNPDIA, 1996. 34p. (EMBRAPA-CNPDIA. **Recomendação Técnica**, 4).

LIPIEC, J.; STEPNIEWSKI, W. Effects of soil compaction and tillage systems on uptake and losses of nutrients. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.3 n.5, p. 37-52, 1995

LIPIEC, J.; HORN, R.; PIETRUSIEWICZ, J.; SICZEK, A. Effects of soil compaction on root elongation and anatomy of different cereal plant species. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.121, p. 74-81, 2012.

LUGG, D.G.; SINCLAIR, T.R. Seasonal changes in photosynthesis of field-grown soybean leaflets: 2. Relation to nitrogen content. **Photosynthetica**, Prague, v.15, p.138-144, 1981.

MICUCCI, F. G.; TABOADA, M. A. Soil physical properties and soybean (*Glycine max*, Merrill) root abundance in conventionally- and zero-tilled soils in the humid Pampas of Argentina. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, p. 152–162, 2006.

NAWAZ, M. F.; BOURRIÉ, G.; TROLARD, F. Soil compaction impact and modelling. A review. **Agronomy sustainable development**. p.1-19, 2012

NICOLOS0, R. S.; AMADO, T. J. C.; SCHENEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1723-1734, 2008

OLIVEIRA, P. R.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; FRANCO, H. B. J.; PEREIRA, F. S.; BARBARO JUNIOR, L. S.; ROSSETTI, K. V. Qualidade Física de um latossolo Vermelho cultivado com soja submetido a níveis de compactação e de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 587-597, 2012.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; Mc, C. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.2, p.137-144, 2005.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S. dos S.S.; MIRANDA, M.A.C. de. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.929-938, 2000.

RANATHUNGE, K.; STEUDLE, E.; LAFITTE, R. Control of water uptake by rice (*Oryza sativa* L.): role of the outer part of the root. **Planta**, v. 217, p. 193–205, 2003.

ROSOLEM, C. A.; ALMEIDA, A. C. S.; SACRAMENTO, L. V. S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 53, n. 2, p. 259-266, 1994.

SANTOS, J.B.; LÁZARI, T.M.; CAMELO, G.N.; OLIVEIRA, T.A.; FIGUEIREDO, J.L.A. Competição entre soja resistente ao glyphosate e plantas daninhas em solo compactado. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 123-130, 2008.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.3, p.287-294, 1998

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.1, p.58-64, 2009.

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

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. A New Version of The Assistat-Statistical Assistance Software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4, Orlando-FL-USA: **Anais...** Orlando: American Society of Agricultural Engineers. p.393-396. 2006.

SILVA, G. J.; MAIA, J. C. S.; BIANCHINI, A. Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetida à irrigação subsuperficial e a diferentes graus de compactação de um Latossolo vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 31-40, 2006.

SIMPSON JUNIOR, A.M.; WILCOX, J.R. Genetic and phenotypic associations of agronomic characteristics in four high protein soybean populations. **Crop Science**, **Madison**, v.23, p.1077-1081, 1983.

SOUZA, L. C. F.; ZANON, G. D.; PEDROSO, F. F.; ANDRADE, L. H. L. Teor de proteína e de óleo nos grãos de soja em função do tratamento de sementes e aplicação de micronutrientes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n. 6, p. 1585-1593, 2009.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 34, p. 83-91, 1999.

STRUDLEY, M.W.; GREEN, T.R.; ASCOUGH, J.C. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: state of the science. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.99, p.4-48, 2008.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TAYLOR, H.M.; BRAR, G.S. Effect of soil compaction on root development. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.19, p.111-119, 1991.

THORNE, J.C.; FEHR, W.R. Incorporation of highprotein, exotic germplasm into soybean populations by 2- and 3-way crosses. **Crop Science**, Madison, v.10, p.652-655, 1970.

TU, J. C.; TAN, C. S. Soil compaction effect on photosynthesis, roor rol severety and growth of White beans. **Canadian Journal Soil Science**. Ottawa, v. 68, p. 455-459, 1988.

TUBEILEH, A.; GROLEAU-RENAUD, V.; PLANTUREUX, S.; GUCKERT, A. Effect of soil compaction on photosynthesis and carbon partitioning within a maize soil system. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, 71:151-161, 2003.

TRACE-TWD. **Molecular biology database.** Disponível em http://www.bats.ch/trace/?file5=coreforms/taxonomy.php&record_number=3 acesso em 10 agosto.2011.

WULLSCHLEGER, S.D.; OOSTERHUIS, D.M. Photosynthetic carbon production and use by developing cotton leaves and bolls. **Crop Science**, Madison, v.30, p.1259-1264, 1990.

ZHANG, T. Y.; SUEN, C. Y. A fast parallel algorithm for thinning digital patterns. **Communications of the ACM**, New York, v. 27, n. 3, p. 236-239, 1984.

ZOBIOLE, L.H.S.; OLIVEIRA JR., R.S.; TORMENA, C.A.; CONSTANTIN, J.; CAVALIERI, S.D.; ALONSO, D. G; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C. Efeito da compactação do solo e do sulfentrazone sobre a cultura da soja em duas condições de água no solo. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 537-545, 2007.

CONCLUSÕES FINAIS

A compactação do solo pode ter origem por processo de eluviação de partículas, pisoteio animal, carga por eixo, pressão de insuflagem dos pneus e tráfegos de trator agrícola. A compactação altera a dinâmica da porosidade do solo, reduzindo principalmente macroporos. Os fatores que podem interferir no crescimento e desenvolvimento das plantas pode ser diretos ou indiretos. Os fatores diretos são o conteúdo de água, taxa de difusão de oxigênio, temperatura e resistência mecânica que solo oferece ao desenvolvimento radicular. Os fatores indiretos são densidade do solo, a textura, a estrutura, estabilidade de agregados e distribuição do tamanho e continuidade dos poros. Essas mudanças podem causar limitações no crescimento e desenvolvimento das plantas, principalmente no sistema radicular. As conclusões finais do presente trabalho foram que o tráfego promove alteração nas propriedades físicas, especialmente na porosidade do solo, reduzindo a amplitude de disponibilidade de água no solo, principalmente nas camadas superficiais, reduzindo sua qualidade e causando mudanças nas características morfológicas das raízes da soja e do girassol, além de reduzir a produtividade e teor de óleo na cultura do girassol. Desta forma deve ser realizado o monitoramento do grau de compactação do solo induzido por tráfego em relação às culturas do girassol e soja, pois a compactação causa a redução do sistema radicular destas plantas e diminui o crescimento podendo promover a redução nos rendimentos destas culturas. Quando se fizer necessário à adoção de subsolagem para minimizar o efeito da compactação do solo, recomenda-se que a mesma seja realizada no máximo três meses após a identificação do estado de compactação do solo, além disso, a subsolagem promove aumento a condutância estomática na cultura da soja.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKKER, D. M.; DAVIS, R. J. Soil deformation observations in a Vertisol under field traffic. **Australian Journal of Soil Research**, v. 33, p. 817–832, 1995.

BALBUENA, R. H.; TERMINIELLO, A. M.; CLAVERIE, J. A.; CASADO, J. P. MARLATS, R. Soil compaction by forestry harvester operation. Evolution of physical properties. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v. 4, p. 453–459, 2000.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.6, p.581-8, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; SILVA, A. P. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 30, p. 787-794, 2006.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; FREDDI, O. S.; SOUSA NETO, E. L.; LEONEL, C. L.; SILVA, A.P. Traffic soil compaction of an oxisol related to soybean development and yield. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.64, n. 6, p. 608-615, 2007.

BOTTA, G. G.; JORAJURIA, C. D.; DRAGHI, T. L. Soil compaction during secondary tillage traffic. **Agrociência**, v. 15, p. 139–144, 1999.

BOTTA, G.; JORAJURIA, D.; BALBUENA, R.; ROSSATO, H. Mechanical and cropping behaviour of direct drilled soil under different traffic intensities: effect on soybean (*Glycine max* L.) yields. **Soil and Tillage Research**. Amsterdam v. 78, p. 53–58, 2004.

BOTTA, G. F.; JORAJURIA, D.; BALBUENA, R.; RESSIA, M.; FERRERO, C.; ROSSATO, H.; TOURN, M. Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annuus* L.) yields. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, p.164–172, 2006.

BOTTA, G.; POZZOLO, O.; BOMBEN, M.; ROSSATO, H.; RIVERO, D.; RESSIA, M.; TOURN, M.; SOZA, E.; VÁZQUEZ, J. Traffic alternatives in harvest of soybean (*Glycine max* L.): effect on yields and soil under direct sowing system. **Soil and Tillage Research**. Amsterdam, v. 96, p. 145–154, 2007.

CAMARGO de, O. A.; ALLEONI, L.R.F. **Conceitos Gerais de Compactação do solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/Comp1.htm>. Acesso em: 19/8/2012

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, oitavo levantamento, maio 2012** / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília : Conab.

COOPERBIO. **Cultura do Girassol. Disponível em:**
<http://www.cooperbio.com.br/materias/Girassol.pdf>. acessado em 20 de Maio de 2012.

DEFOSSEZ, P.; RICHARD, G. Models of soil compaction due to traffic and their evaluation. **Soil and Tillage Research**. Amsterdam. v. 67, p. 41–64, 2002.

DEXTER A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 201-214, 2004a.

DEXTER A. R. Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tilth and hard-setting. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 215-225, 2004b

DEXTER A. R. Soil physical quality: Part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. **Geoderma**, Amsterdam, v.120, p. 227-239, 2004c.

LEITE, R. M. B. C; BRIGHENTI, A. M; CASTRO, C. Girassol no Brasil. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2005. 641p