

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**VARIÁVEIS TERMO-FÍSICO-HÍDRICAS NO SULCO DE SEMEADURA DO
MILHO EM PLANTIO DIRETO RELACIONADAS COM TRÁFEGO DE
RODADOS, MECANISMOS SULCADORES DE FERTILIZANTE E
COBERTURAS DO SOLO**

**Lucas Zulpo
(Dissertação de Mestrado)**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**VARIÁVEIS TERMO-FÍSICO-HÍDRICAS NO SULCO DE SEMEADURA DO
MILHO EM PLANTIO DIRETO RELACIONADAS COM TRÁFEGO DE
RODADOS, MECANISMOS SULCADORES DE FERTILIZANTE E
COBERTURAS DO SOLO**

LUCAS ZULPO
Engenheiro Agrônomo (UFRGS)

Dissertação apresentada como
um dos requisitos à obtenção do
Grau de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil
Maio de 2016

CIP - Catalogação na Publicação

Zulpo, Lucas
VARIÁVEIS TERMO-FÍSICO-HÍDRICAS NO SULCO DE
SEMEADURA DO MILHO EM PLANTIO DIRETO RELACIONADAS
COM TRÁFEGO DE RODADOS, MECANISMOS SULCADORES DE
FERTILIZANTE E COBERTURAS DO SOLO / Lucas Zulpo. --
2016.
74 f.

Orientador: Renato Levien.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa
de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, BR-
RS, 2016.

1. plantio direto. 2. sulcadores de fertilizantes
. 3. temperatura do solo. 4. compactação do solo. 5.
rotação de culturas. I. Levien, Renato, orient. II.
Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com
os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Lucas Zulpo

VARIÁVEIS TERMO-FÍSICO-HÍDRICAS NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO EM PLANTIO DIRETO RELACIONADAS COM TRÁFEGO DE RODADOS, MECANISMOS SULCADORES DE FERTILIZANTE E COBERTURAS DO SOLO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Aprovada em 25 de maio de 2016

Homologado em

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Michael Mazurana

UFRGS

Dr. Osmar Conte

EMBRAPA

Prof. Carlos Eduardo Angeli Furlani

UNESP

Orientador - Prof. Renato Levien

UFRGS

***Dedico este trabalho à minha família
Em especial meus pais:
José e Vilma!!!!***

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a Deus pela minha existência e por sempre estar comigo nas horas de dificuldade.

Aos meus Pais, José Thomaz Zulpo e Vilma Rossi Zulpo, por sempre me apoiarem, incentivarem meus estudos, não medindo esforços para que eu pudesse alcançar os meus objetivos, muitas vezes abrindo mão de algumas coisas para que eu continuasse minha caminhada.

Aos meus irmãos, Leandro e Leonardo, por sempre me apoiarem, principalmente no início de minha caminhada, ainda na graduação, sempre me auxiliando quando necessário. As minhas cunhadas Nilciane e Letícia por fazerem parte dessa família.

Ao professor e orientador Renato Levien, pelos ensinamentos e orientação, não somente no mestrado, mas também durante os quatro de iniciação científica no período de graduação, e principalmente pelo companheirismo e amizade demonstrados.

Ao professor Michael Mazurana, que sempre se dedicou a ensinar e contribuir quando necessário. Aos bolsistas de iniciação científica, Jefferson, Gabrielle, Hyran, Macgayver, Thais, Thiane e Júlio pelo apoio e parceria não só no trabalho, mas no dia-a-dia. E a todos que passaram pelo Laboratório de Mecanização Agrícola durante esse período.

Aos amigos e colegas do PPGS que de alguma forma contribuíram para agregar conhecimento e risadas ao longo dessa caminhada.

Agradecer aqueles professores que durante o período de minha formação não se preocuparam em somente distribuir o conteúdo, mas sim, ensinar como verdadeiros mestres e amigos.

A UFRGS, CNPq, e ao Departamento de Solos pela oportunidade de realizar esse trabalho.

A toda minha família, amigos e conhecidos que de alguma forma contribuíram para que eu concluísse meu objetivo. Em especial a memória de minha tia Odila Rossi, que nos deixou alguns dias antes de eu concluir essa etapa da minha vida.

Meu eterno MUITO OBRIGADO a todos vocês!!!!!!

VARIÁVEIS TERMO-FÍSICO-HÍDRICAS NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO EM PLANTIO DIRETO RELACIONADAS COM TRÁFEGO DE RODADOS, MECANISMOS SULCADORES DE FERTILIZANTE E COBERTURAS DO SOLO¹

Autor: Eng^o. Agr^o. Lucas Zulpo
Orientador: Prof. Renato Levien

RESUMO

O Brasil é considerado como um dos maiores celeiros do mundo devido ao seu alto potencial de produção nos sistemas agrícolas. A partir da década de 80, começou a se difundir o sistema de semeadura direta, no intuito de corrigir os graves problemas que o preparo convencional estava causando ao solo. Para mobilização de solo somente na linha de semeadura, ferramentas de abertura de sulco para deposição de fertilizantes e sementes foram desenvolvidas. Entretanto, a mobilização do solo depende de fatores como tipo de sulcador de adubo e sua formatação. Assim, o objetivo do trabalho foi quantificar e qualificar, em termos de características físicas, como a mobilização do solo por diferentes mecanismos sulcadores e o tráfego de máquinas interferem na dinâmica da umidade e temperatura no sulco de semeadura e a influência dessas variáveis nos parâmetros de planta. O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Agronomia, em Eldorado do Sul (RS), sobre um Argissolo Vermelho, franco-argilo-arenoso, iniciado em 2002 numa área altamente degradada fisicamente. Os tratamentos consistiam de três coberturas do solo no inverno (aveia + ervilhaca; nabo forrageiro e pousio), dois sulcadores de adubo (haste e disco) e condição de com e sem tráfego do rodado do trator. Como cultura de verão, foi implantado o milho, sendo avaliado mobilização no sulco de semeadura, assim como temperatura e umidade do solo durante o ciclo da cultura e condições físicas do solo como densidade e porosidade. Como resultados tem-se que área de solo mobilizada na linha de semeadura foi na ordem de 4 vezes maior no sulcador tipo haste. Os tratamentos tráfego de rodados e tipos de mecanismos sulcadores (haste ou disco) não afetaram significativamente a temperatura e a umidade do solo durante o desenvolvimento da cultura do milho, porém foram observadas diferenças significativas na produtividade de grãos, com menor produtividade no tratamento disco com presença de tráfego.

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre ---. Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq e da CAPES.

**THERMAL-PHYSICAL-HYDRIC VARIABLES IN FURROW PLANTING
CORN ON NO-TILLAGE WITH WHEELSETS TRAFFIC, MECHANISMS
FURROW OPENERS FERTILIZER AND GROUND COVER ²**

Author: Agron. Lucas Zulpo
Adviser: Prof. Renato Levien

ABSTRACT

The Brazil is considered as one important agricultural producer in the world due to its high production potential in agricultural systems. After 1980's decade, the new system of management used has been no-tillage that reduced the erosion common in conventional tillage. However, the soil disturbance depends on factors such as the type of plow fertilizer and formatting. Thus, the objective of this study was qualify and quantify, in terms of soil physical, how the soil disturbance for different furrowers and the traffic of machines, affect soil moisture and soil temperature on the seed and the impact in plants development. The study was conducted in Agronomic Experimental Station of the Federal University of Rio Grande do Sul, in Eldorado do Sul (RS), on a Paleudult, sandy clay loam, and the experiment has been conducted since 2002, initially in a degraded área. Have involved three winter cover crops (fallow, black oast + vechth, oilseed radish – *Raphanus Sativus* L.), two furrow openers for fertilizer (shank or disc) and condition with and without wheeled tractor traffic. As summer crop, it was implated corn, being assessed in mobilizing planting furrow, as well as temperature and soil moisture during the growing season and soil physical conditions such as density and porosity. The soil disturbance in seeding row was four times greater in furrower machete in relation to disk. The treatments of traffic and the type of furrowers do not affect the soil temperature and soil moisture during the corn plants development, but the production was affected, with lower productivity without treatment disc traffic presence.

² Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre ---. Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq e da CAPES.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO.....	3
2.1. O sistema Plantio Direto	3
2.2. Rotação de culturas e o sistema plantio direto: a importância do conceito e a não aplicação prática.....	5
2.3. A mecanização agrícola e a sua relação com a compactação do solo: Aliada ou vilã	7
2.4. Relação solo-atmosfera: a temperatura.....	9
3. HIPÓTESES E OBJETIVOS	13
4. MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1. Localização e características da área experimental	14
4.2. Histórico da área experimental	14
4.3. Delineamento experimental e tratamentos	15
4.4. Material utilizado na condução do experimento.....	16
4.5. Determinações.....	17
4.5.1. Massa seca da parte área das culturas de inverno	17
4.5.2. Profundidade e área da seção transversal do sulco	18
4.5.3. Densidade de semeadura e população de plantas emergidas da cultura de verão.....	18
4.5.4. Temperatura e umidade do solo	19
4.5.5. Densidade do solo, macroporosidade e microporosidade	21
4.5.6. Curva de retenção de água	22
4.5.7. Produtividade das culturas.....	22
4.6. Análise estatística	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1. Massa seca da parte área das coberturas de inverno	24

5.2. Parâmetros relacionados aos mecanismos ativos no solo: mobilização de solo e profundidade de atuação	26
5.3. Altura e população de plantas da cultura de verão.....	28
5.4. Temperatura do solo.....	30
5.5. Conteúdo de água no solo.....	35
5.6. Densidade e distribuição no tamanho de poros.....	37
5.7. Curva de retenção de água	40
5.8. Produtividade da cultura de milho safra 2014/2015.....	42
6. CONCLUSÕES	44
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
9. APÊNDICES	54

RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela	página
1. Biomassa da parte aérea das culturas de cobertura de inverno	24
2. Profundidade de atuação e mobilização do solo no sulco de semeadura por diferentes mecanismos sulcadores	25
3. Número de plantas de milho por hectare em diferentes sistemas de mobilização do solo e condições de tráfego de máquinas.....	27
4. Altura de plantas de milho em diferentes sistemas de mobilização do solo e condições de tráfego de máquinas	28
5. Temperaturas máximas, médias e mínimas registradas nos dias em que foram realizadas as medições à campo para as temperaturas do solo.	34
6. Conteúdo de água no solo ao longo do tempo em diferentes sistemas de mobilização do solo, condições de tráfego de máquinas e camadas	35
7. Densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo em função dos tipos de mecanismos sulcadores.....	36
8. Densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo em função dos mecanismos sulcadores e tráfego dos rodados do trator	39
9. Água disponível no solo para a camada avaliada em função dos mecanismos sulcadores e tráfego dos rodados do trator	41
10. Produtividade de grãos da cultura do milho em função dos mecanismos sulcadores e tráfego dos rodados do trator	41

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura	página
1. Parcela experimental dividida em semeadura com mecanismo sulcador tipo haste e disco.....	15
2. Representação esquemática da parcela subdividida em função do mecanismo sulcador e tráfego.....	16
3. Representação do perfil do sulco de semeadura pelo perfilômetro.....	18
4. Representação das leituras de temperatura em profundidade e na superfície do solo.....	19
5. Representação dos principais estádios de desenvolvimento da cultura do milho e coletas dos dados.....	20
6. Precipitação pluviométrica mensal para o ano de 2014.....	23
7. Seção transversal mobilizada e profundidade de atuação dos mecanismos sulcadores.....	26
8. Parcela experimental com a cultura do milho estabelecida.....	28
9. Temperatura do solo (°C) pela manhã em função do tipo de haste sulcador de adubo, condições de tráfego de máquinas e profundidade do solo, ao longo do ciclo da cultura do milho.....	30
10. Temperatura do solo (°C) pela tarde em função do tipo de haste sulcador de adubo, condições de tráfego de máquinas e profundidade do solo, ao longo do ciclo da cultura do milho.....	31
11. Temperatura do solo (°C) pela manhã em função das plantas de cobertura, tipo de haste sulcador de adubo, condições de tráfego de máquinas e profundidade do solo, 15 dias após a semeadura da cultura do milho.....	32
12. Temperatura do solo (°C) pela tarde em função das plantas de cobertura, tipo de haste sulcador de adubo, condições de tráfego de máquinas e profundidade do solo, 15 dias após a semeadura da cultura do milho.....	33
13. Curva característica de água do solo para o tratamento sulcador tipo haste na condição de tráfego do rodado.....	40

14. Precipitação pluviométrica para os meses de condução do experimento...43

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado um dos maiores produtores de grãos do mundo devido ao seu alto potencial de produção no sistema agropecuário. Isso se deve principalmente a incorporação de novas tecnologias e melhorias que vem ocorrendo ao longo dos anos na produção agropecuária. As melhorias obtidas na fertilidade do solo, manejo das culturas e do solo, associado à utilização de fertilizantes e defensivos agrícolas, além da genética e máquinas agrícolas, os quais somados, permitiram alcançar produtividades médias acima de 10,0 Mg ha⁻¹ de milho e 5,0 Mg ha⁻¹ de soja em sistemas de produção ditos de alta tecnologia.

No passado, o predomínio do sistema de preparo convencional gerou graves problemas de degradação do solo, tanto de ordem física, química e biológica, uma vez que o mesmo era caracterizado pelo revolvimento intensivo do solo, em virtude de ter sido desenvolvido em países de clima temperado, diferentemente do Brasil, onde as altas temperaturas e precipitações aceleram processos de perda de matéria orgânica e degradação física do solo pela erosão hídrica.

A partir da década de 80, começou a se difundir o sistema de semeadura direta (aqui abordado como sistema plantio direto - SPD), com intuito de corrigir problemas que o preparo convencional estava causando ao solo. Essa técnica, baseada nos princípios básicos de mínima mobilização do solo (somente no sulco de semeadura) e manutenção dos restos culturais sobre a superfície, possibilitou grandes avanços na produtividade das culturas e na melhoria dos sistemas de produção agrícola.

A utilização crescente e em grande escala do SPD possibilitou o aumento da agricultura em escala comercial, necessitando máquinas mais potentes, que por vezes são mais pesadas, no intuito de obter maiores rendimentos operacionais e capacidade de campo efetiva. Isso desencadeou problemas de ordem física no solo, como a compactação, que acarreta em diminuição da porosidade do solo e, conseqüentemente, menor infiltração e armazenamento de água, afetando o desenvolvimento das plantas.

Para mobilização de solo somente na linha de semeadura, foram desenvolvidas ferramentas de abertura de sulco para deposição de fertilizantes

e sementes, muitas das quais de baixa eficiência, pois a sua efetividade depende de uma série de fatores. Tais fatores podem ser sumarizados como o tipo de solo; tipo e formato de sulcador de adubo (haste ou disco); a velocidade de operação do conjunto trator-semeadora; a quantidade, tipo e forma da distribuição da cobertura vegetal na superfície do solo, viva ou morta; a presença de raízes subsuperficiais; o estado de compactação do solo; o sentido da operação em superfícies inclinadas e a umidade do solo no momento da operação.

Todas essas variáveis podem exercer influência na produtividade das culturas, sendo que, para se alcançar os objetivos de uma boa produção, tudo inicia com a adequada distribuição e germinação das sementes na lavoura. Para que isso ocorra, o solo que circunda a semente deve prover água e oxigênio suficiente para que a semente germine, e permitir, ao mesmo tempo, que o sistema radicular se estabeleça sem problemas de resistência mecânica ou química.

Buscando entender melhor como se dá a dinâmica de crescimento da planta, o suprimento de água e as condições de temperatura no interior do sulco de semeadura, leito da semente, este trabalho abordará alguns fatores de solo e buscará relacioná-los a variáveis de planta, estabelecendo inter-relações entre os mesmos.

2. ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO

O avanço no desenvolvimento de sistemas de manejo do solo mais adequados às diferentes realidades brasileiras está intimamente ligado com o advento e expansão do SPD. Anteriormente, no sistema de preparo convencional, o solo era revolvido antes da implantação das culturas para incorporação de fertilizantes, controle de pragas, doenças e plantas daninhas, mas muitas vezes como simples forma de se conseguir realizar a semeadura. Neste sentido, a eliminação da palhada por meio de queima era prática comum. Essas práticas ocasionavam diversos problemas tanto de ordem física, bem como química e biológica, tendo como principal a erosão hídrica do solo, além de outros, como redução da matéria orgânica pela oxidação do carbono.

Com a nova experiência de semear sem revolver o solo implementada na década de 1970, os setores de máquinas, insumos e a pesquisa tiveram novo direcionamento e enfoque para o manejo conservacionista dos solos brasileiros, revolucionando o Brasil no cenário internacional, tornando-o em um dos maiores produtores mundiais de grãos.

2.1 O Sistema Plantio Direto

O sistema plantio direto (SPD) não consiste em apenas uma nova tecnologia, mas sim, também uma nova filosofia voltada para uma agricultura sustentável, com um sistema de rotação de culturas e reflexos interligados, diferentemente da revolução verde, onde eram distribuídos pacotes tecnológicos para a condução das culturas (Abeas, 2005).

A partir do final da década de 1980, percebeu-se a necessidade de ampliar o conceito de plantio direto, até então trabalhado, para “sistema plantio direto”, incorporando práticas de manejo conservacionistas ao modelo, que era entendido apenas como mobilização do solo somente no sulco de semeadura e manutenção dos resíduos culturais sobre a superfície (Nunes et al., 2014). Assim, além desses preceitos básicos, foram incorporadas novas práticas como a rotação e a sucessão de culturas, a redução do período entre a colheita

e a semeadura, maior aporte possível de material orgânico ao solo e a manutenção de sistemas mecânicos para contenção do excedente pluviométrico que possa não infiltrar no solo. Conforme Franchini et al. (2011), o SPD visa tecnologias que, utilizadas em conjunto, evitam o revolvimento do solo e melhoram sua estrutura. Com isso, houve uma notável redução nos custos após a consolidação deste sistema, devido a diminuição de operações como aração, subsolagem, escarificação e gradagem, trazendo melhorias e benefícios ao meio ambiente (Palma et al., 2010).

Entretanto, nem sempre as práticas preconizadas pelo SPD são levadas em consideração, resultando em problemas adversos para a agricultura. De acordo com Drescher et al. (2011), a não realização da rotação de culturas com aporte de resíduos insuficientes para atender a demanda biológica do solo e o desrespeito às condições de umidade do solo para manejo (favorecendo processos de compactação do solo), trazem prejuízos a estrutura do solo e para o desenvolvimento de plantas. Também interfere no desempenho de maquinários agrícolas, principalmente pelo incremento na força de tração necessária para realização das operações.

Por se tratar e ser entendido como um sistema, este apresenta variações entre e dentro de regiões fisiográficas. Isso porque as variações no tipo de solo e no clima influenciam na escolha do sistema de cultivo de plantas. Dessa maneira, o SPD se difundiu pela agricultura brasileira gradativamente, em diferentes estágios de adoção, desde sua motivação na década de 1970, estagnando na última década por volta de 34 milhões de hectares no Brasil (FBPDP, 2015). Embora seja um dos sistemas de manejo mais estudados na agricultura tropical, ainda se encontram regiões onde o preparo convencional é utilizado em larga escala (Furlani et al., 2004).

Dentre os pilares que sustentam a base conservacionista do SPD, a manutenção da cobertura do solo é um dos fatores chave, isso porque regula variações de temperatura e umidade que ocorrem no solo, especialmente dentro de uma mesma estação de crescimento de culturas. Neste sentido, Furlani et al. (2004) determinaram que a permanência da cobertura do solo em superfície no SPD ficou em 60%, sendo maior que no preparo convencional e escarificado. Além disso, os mesmos autores apontam que a patinação dos rodados foi menor e a capacidade de campo efetiva foi maior no SPD,

demonstrando a importância do não revolvimento do solo. De forma semelhante, Vidal et al. (1998), em estudo sobre o efeito de níveis de resíduos vegetais no controle de plantas daninhas na semeadura direta observaram que o aumento da quantidade de resíduos vegetais sobre a superfície, associado à ausência de controle químico, reduziu a ocorrência de plantas daninhas, resultando em aumento da produtividade da cultura da soja. Isso corrobora com Reis et al. (2014), os quais apontam que as maiores produtividades de soja foram obtidas quando a mesma foi cultivada sobre os restos culturais de aveia, trigo e nabo. Quando em pousio, os autores registraram a menor produtividade e, na média geral, o sistema de cultivo com rotação de culturas foi o que apresentou a maior produtividade. Segundo estes autores, o cultivo sequencial ou a escolha de espécies vegetais que possam ser hospedeiros comuns de patógenos da cultura aumentam a intensidade de doenças, principalmente as causadas por fungos.

2.2. Rotação de culturas e o sistema plantio direto: a importância do conceito e a não aplicação prática

Pilar essencial do SPD, a rotação de culturas consiste em alternar, anualmente, espécies vegetais em uma mesma área agrícola (Embrapa, 2000), diferentemente da sucessão de culturas, que consiste no estabelecimento de duas ou mais espécies vegetais, em sequência, na mesma área sem levar em consideração a família botânica das espécies escolhidas.

A rotação de culturas exerce um papel fundamental na melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, sendo que sua ausência pode acarretar na diminuição do teor de matéria orgânica, na degradação da estrutura do solo, no agravamento dos processos erosivos, na redução da atividade biológica, bem como aumento da incidência de plantas daninhas, pragas e doenças (Franchini et al., 2011). Segundo esses autores, a densidade e a resistência do solo à penetração de raízes é diminuída em condições de rotação de culturas.

De acordo com Franchini et al. (2011), o uso de rotação de culturas em solo argiloso favoreceu a produtividade da cultura da soja, chegando a

apresentar um aumento de 17% na produtividade quando cultivado milho no ano anterior em comparação com a sucessão trigo/soja. Segundo os autores, esse aumento estaria relacionado com a recuperação da qualidade do solo devido a maior produção de fitomassa de raízes e parte aérea das culturas de aveia e milho, e à redução de doenças causadas por fungos que seriam atenuados pela rotação (Reis et al., 2014). Esses benefícios podem ser ainda maiores na fase inicial do SPD, onde a rotação de culturas desempenha um papel ainda mais importante. Isso porque o sistema ainda está em construção e o desempenho pode ser inferior ao preparo convencional até que se obtenha uma significativa melhoria da qualidade do solo e um aumento nos teores de matéria orgânica (Franchini et al., 2008).

O milho quando cultivado em rotação com leguminosas, como a ervilhaca, apresenta um melhor desenvolvimento inicial devido à capacidade dessas plantas fixarem nitrogênio, diferentemente das gramíneas, conforme apontam Franchini et al. (2011). A utilização de rotação de culturas e a manutenção do solo sempre cultivado contribuem para sua melhoria. De acordo com Sequinatto et al. (2014) e Drescher et al. (2011) a utilização de plantas de cobertura no inverno contribui para um aumento significativo no teor de matéria orgânica na superfície do solo que, aliado ao tráfego controlado de máquinas, a ciclos de umedecimento e secagem do solo e a utilização de mecanismos rompedores de solo (rompimento de camadas superficiais compactadas), resultam numa melhoria da capacidade produtiva do solo em função de melhorias na qualidade física, química e biológica do solo ao longo do tempo.

Embora haja uma gama de benefícios pró SPD quando empregados sistemas de rotação de culturas, uma pergunta que fica é porque atualmente na maioria das lavouras brasileiras não se utiliza a rotação de culturas? Algumas das hipóteses são a verticalização do sistema produtivo baseado exclusivamente na soja como cultura de verão (em função da sua liquidez no mercado e dos altos preços praticados), da suscetibilidade a estiagens que acometem mais facilmente a cultura do milho, a dificuldade de se encontrar sementes de espécies alternativas como a ervilhaca e o tremoço entre outras, o menor custo de produção da soja comparativamente ao milho e a facilidade

de manejo da cultura (uma vez que existe um pacote tecnológico conhecido e dominado pela maior parte dos produtores). Outro fator importante que está atrelado a isso é a questão de logística e armazenamento da cultura, uma vez que os períodos de colheita da soja e do milho podem coincidir, obrigando o produtor a optar por apenas uma, no caso a soja e tornando o milho praticamente uma cultura de segunda safra no Brasil, visto que, hoje a maior parte da área e produção do milho são oriundas de segunda safra.

Estes e outros fatores mais, acreditamos serem os que distanciam o conceito rotação de cultura e seus benefícios da não aplicação prática da mesmo em larga escala pelas lavouras brasileiras.

2.3. A mecanização agrícola e a sua relação com a compactação do solo: aliada ou vilã?

A compactação do solo tem se apresentado como um problema frequente e crescente na agricultura atual, não só pela redução de produtividade das lavouras, mas principalmente pela dificuldade de ser mensurada (e atribuído um valor crítico) e correlacionada como fator causador da redução na produtividade. Dias Júnior & Pirce (1996) citam a compactação como uma das principais causas de degradação do solo, caracterizando-se pelo incremento na densidade e resistência mecânica, diminuição na porosidade total, macroporosidade, capacidade de infiltração de água, aeração e condutividade hidráulica.

Em condições de uso do solo com agricultura e pecuária, a compactação tem sido atribuída ao uso de máquinas com elevada massa e/ou o excessivo pastejo dos animais, em áreas de integração L&P. Referente às máquinas, Schlosser et al. (2005) citam que os tratores estão evoluindo para uma relação peso/potência menor, ou seja, os tratores estão cada vez mais potentes, porém menos pesados, o que contrapõe o argumento de que os tratores estão maiores e mais pesados. Entretanto, pouco se tem questionado sobre o tipo de pneus que equipam esses tratores e colhedoras, bem como a frequência de tráfego e às condições de umidade que o solo é submetido quando trafegado.

A umidade do solo no momento da realização das operações agrícolas tem fundamental importância nas alterações físicas que podem ocorrer na estrutura do solo e desempenho das máquinas agrícolas. Quando um solo se apresenta numa condição de umidade muito baixa exige um potencial de tração muito maior para ser mobilizado e, portanto, um gasto energético maior para realizar a atividade. Isso se deve a alta coesão entre as partículas do solo, força essa, que se manifesta entre partículas de mesma natureza. Entretanto, em condições de alta umidade (acima da condição de friabilidade do solo) poderá ocasionar deformação da estrutura do solo (compactação) pela diminuição da capacidade de suporte de carga do solo, além da adesão de solo aos implementos agrícolas, ocasionada pela manifestação da força de adesão do solo, resultante da atração de matérias de naturezas distintas (Klein, 2014).

Associado às condições de uso do solo e das máquinas, o SPD também contribui para uma estratificação física das camadas superficiais do solo, principalmente até 30 cm. A camada mais superficial (até 5 cm) apresenta maior volume de solo solto em decorrência da ação dos sulcadores de fertilizante da semeadora e da maior presença de raízes, dificultando a formação de camadas compactadas superficialmente (Nunes et al., 2014). Além disso, há uma maior deposição de fertilizante nestas camadas mais superficiais, o que sinalizaria para a cultura que, em havendo água, não há necessidade de aprofundamento do sistema radicular, fato que potencialmente prejudica as culturas em períodos de veranicos.

Devido aos problemas relacionados à compactação do solo em SPD, tem-se buscado alternativas de mitigação da mesma com métodos diferentes dos tradicionais, como semeadoras equipadas com sulcadores de fertilizantes do tipo haste no intuito de diminuir possíveis problemas de compactação da camada superficial (Drescher et al., 2011), e promover uma melhor condição para a deposição da semente na linha de semeadura. Além disso, nas camadas superficiais do solo há uma maior concentração da pressão aplicada pelos pneus das máquinas agrícolas, que se dá entre a 1/3 a 1/5 da largura dos pneus (Hillel, 2004).

A utilização de semeadora-adubadora equipada com sulcadores do tipo hastes sulcadoras, ao romper e mobilizar a camada superficial do solo,

diminui a sua densidade na camada entre 7 e 15 cm, se comparada a ação dos sulcadores do tipo discos duplos defasados, em virtude da maior profundidade de atuação (Drescher et al., 2011). Nunes et al. (2014) verificaram a diminuição da camada compactada sub-superficial na semeadura direta, quando da utilização de hastes sulcadoras, atribuindo a elas o rompimento de parte dessa camada e proporcionando um efeito semelhante à da escarificação mecânica do solo. Também relatam que a utilização de haste sulcadora a 17 cm de profundidade proporcionou uma maior distribuição de nutrientes no perfil e favoreceu o crescimento radicular da cultura pela deposição do fertilizante e aumento da macroporosidade, contribuindo para a mitigação de problemas de ordem química e física. De forma semelhante, Brandelero et al. (2014), apontam que a ação dos mecanismos sulcadores é dependente de como a palha é manejada, resultando em uma menor área mobilizada no sulco de semeadura quando utilizado disco de corte à frente do sulcador. Também referem que o uso de mecanismos cobridores do sulco melhora a qualidade da semeadura.

Palma et al. (2010), realizaram um estudo sobre a exigência de esforço de tração de hastes sulcadoras em diferentes profundidades de trabalho (10, 15, 20 e 25 cm) e observaram que a menor demanda de esforço foi na menor profundidade (10 cm), porém a força demandada a 15 cm foi maior que a 20 cm de profundidade. Segundo os autores isso ocorreu pela maior resistência do solo à penetração encontrada até 15 cm. Semelhante a isso, Levien et al. (2011) encontraram um acréscimo na força de tração de 32% no sulcador tipo haste, quando comparado ao de discos duplos devido a área mobilizada pela haste sulcadora, que foi 52% superior.

Entretanto o uso de ferramentas como os rompedores de solo tipo haste carece de maiores estudos quando a sua eficiência de rompimento de camadas compactadas, da mobilização de solo causada pelos mesmos e da demanda de potência efetiva na barra de tração, conforme apontam Conte et al. (2011).

2.4. Relação solo-atmosfera: a temperatura e umidade

O solo, sistema trifásico, aberto, que troca energia e matéria com o meio pode ser analisado e entendido como um capacitor, ou seja, aquece ou esfria de acordo com os níveis ou intensidade da radiação provinda do sol durante o dia (ano), variando a temperatura nas camadas subjacentes, armazenando parte do calor líquido recebido. Dessa forma, a temperatura “armazenada” no solo influencia a germinação de sementes e o desenvolvimento de plantas, sendo que reações químicas e disponibilidade de nutrientes no solo estão relacionados a faixas ideais de temperatura e com isso, afetam o crescimento radicular e parte aérea das plantas, bem como a intensidade e severidade de doenças no ciclo da cultura (Gasparim et al., 2005).

O manejo inadequado do solo pode acarretar em problemas sérios nas lavouras, principalmente na questão de germinação de sementes e emergência de plântulas. Segundo Primavessi (1992), o solo descoberto pode chegar a elevadas temperaturas, ultrapassando os 70 °C e prejudicando o estabelecimento das plantas na lavoura, bem como a partir de 32 °C a absorção de água pelas plantas é interrompida. Caso a faixa de temperatura do solo esteja fora da ideal, reações adversas poderão ocorrer no solo, como atividade microbiológica interrompida, sementes não germinarem e as plantas não desenvolverem.

Além das variáveis de planta, a temperatura exerce influência sobre as propriedades físicas da água, do ar, bem como seus movimentos no solo, em reações químicas que liberam nutrientes para as plantas, além de ter efeito na evaporação pelo calor armazenado próximo da superfície (Prevedello, 1996). Neste sentido, a água tem um importante papel na dinâmica da temperatura no solo, pois afeta o calor específico e a condutividade térmica do solo. Isso ocorre porque a condução de calor em um meio úmido poroso é maior quando comparado ao estado seco, pelo fato de o ar estar menos presente no sistema, visto que é um péssimo condutor de calor. Esse aumento na condutividade térmica pelo aumento do conteúdo de água no solo se dá até certo ponto, quando já não é mais tão significativo devido ao alto calor específico da água (4.136 J kg^{-1}), dependendo de muita energia para aumentar 1°C na temperatura da água (Jong van Lier, 2010).

A variação da temperatura do ar durante o dia se dá de forma senoidal pelo fato da radiação incidente sobre a superfície apresentar esse mesmo comportamento (Jong van Lier, 2010). No solo isso também ocorre, porém é dependente do tipo e de suas propriedades térmicas, bem como da radiação líquida que chega até a superfície do mesmo. Essa característica, quando associada com a utilização de restos culturais sobre o solo, como ocorre no SPD, resulta em alterações em superfície e subsuperfície, tanto de ordem física, química e biológica. Dessa forma, a cobertura vegetal pode agir como isolante térmico, evitando grandes oscilações de temperatura durante o dia, dependendo do tipo de material presente e a condutividade térmica do mesmo, além da espessura da camada dos restos culturais. Em regiões onde predominam temperaturas altas durante o ano, esse efeito pode ser mais bem observado, amenizando a temperatura do solo e diminuindo as suas oscilações (Gasparim et al., 2005).

A variação da temperatura do solo em função da profundidade e condição de cobertura do solo tem sido objeto de alguns estudos, como os de Belan et al. (2013) realizado no Espírito Santo em um latossolo vermelho amarelo. Segundo os autores, a média da amplitude térmica do solo descoberto, na profundidade de 2 cm, foi de 5,3°C enquanto que, no solo coberto a média foi de 1,3°C. Isso salienta a importância da cobertura vegetal na manutenção da temperatura em níveis ótimos fisiológicos para o crescimento de plantas, bem como para o desenvolvimento biológico, uma vez que essa redução na temperatura diminui as perdas de água por evaporação direta. Conforme Salton (1995), o manejo e a cobertura podem minimizar a amplitude térmica do solo, por protegê-lo da incidência direta dos raios solares sobre a superfície e alterar o balanço de radiação.

As maiores temperaturas registradas no solo durante o dia (entre as 14 e 15h) ocorrem na camada superficial até 5 cm, independentemente se o solo esta coberto ou não, ao passo que as menores temperaturas são registradas no início da manhã, porém com maiores valores de amplitude térmica ocorrendo no solo descoberto (Belan et al., 2013). Ainda segundo os mesmos autores, a influência da cobertura do solo pode ser verificada até a profundidade de 20 cm, onde o solo descoberto também apresentou amplitude

térmica maior do que o solo coberto, embora os valores tenham sido mais baixos que os registrados nas camadas superiores.

Estudando o efeito da temperatura na cultura do feijoeiro, Silva et al. (2006), observaram que as maiores temperaturas médias foram registradas nos sistemas de preparo onde houve maior mobilização (escarificação) ou revolvimento do solo (aração seguida de gradagem) e na profundidade de 2,5 cm. Segundo esses autores, na medida que as plantas foram crescendo a amplitude térmica na profundidade de 10 cm foi reduzida em todos os tratamentos, evidenciando a importância da cobertura do solo. Isso corrobora com estudos de Levien et al. (2005) onde, até o período de um mês após a emergência da cultura do milho, a amplitude térmica do solo apresentou menores valores nos tratamentos onde foi realizada a escarificação e semeadura direta, quando comparados ao preparo convencional, não sendo significativa após esse período. Resultados semelhantes foram encontrados por Furlani et al., (2008).

Entretanto, fatores como a densidade do solo também interferem na amplitude térmica e hídrica do solo. Solos com menores densidades apresentam maiores amplitudes térmicas devido ao maior espaço aéreo, a baixa capacidade de conduzir calor e ao efeito isolante do ar (Rodrigues et al., 2009). Esses autores observaram menores amplitudes térmicas nos solos sob semeadura direta, devido a maior aproximação das partículas sólidas, o que lhes confere capacidade de dissipar a temperatura para maiores profundidades, aquecendo e resfriando mais lentamente. Ainda segundo os autores, a temperatura do solo foi influenciada pelo nível de compactação e pelo teor de umidade do solo durante o ciclo da cultura do milho e que a cobertura do solo é uma forma de manejar a temperatura do solo.

Esses dados corroboram com os dados de Kaiser et al. (2009), os quais observaram que até a profundidade de 10 cm, com o aumento no grau de compactação de um Argissolo Vermelho, a temperatura do solo foi superior aos locais com menor grau de compactação, possivelmente pela maior densidade e menor aeração.

3. HIPÓTESE E OBJETIVOS

A hipótese que norteou a pesquisa foi que em sistemas de semeadura direta, o tipo de sulcador de fertilizantes (haste ou disco) modifica as condições físicas do solo no sulco de semeadura, alterando a dinâmica dos processos de transferência de calor e fluxos de água no sulco, independentemente se há ou não tráfego de rodados do trator nos locais onde foi realizado o sulco de semeadura.

Nesse sentido, objetivou-se quantificar e qualificar, em termos de características físicas, como a mobilização do solo por diferentes mecanismos sulcadores e tráfego de máquinas interferem na dinâmica da umidade e temperatura no sulco de semeadura e a influência dessas variáveis nos parâmetros de planta.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e características da área experimental

O estudo foi conduzido no ano agrícola 2014/2015 na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, localizada no município de Eldorado do Sul, Região Fisiográfica da Depressão Central do Estado, próximo as coordenadas geográficas Latitude 30° 4' 38" Sul e longitude 51° 43' 43" Oeste.

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico apresentando características naturais de ser profundo, bem drenado, com presença de acúmulo de argila iluvial no horizonte B, baixa fertilidade natural, forte acidez e alta saturação por alumínio (Streck et al., 2008). O clima é do tipo subtropical úmido (Cfa, pela classificação de Köppen), com temperaturas médias mensais ao longo do ano variando entre 13,9°C e 24,9°C e precipitações médias mensais entre 96 mm e 168 mm, totalizando 1.440 mm anuais (Bergamaschi et al., 2003).

4.2 Histórico dá área experimental

O experimento foi instalado em área onde no passado eram realizados programas de melhoramento de cultivares de soja pela Fundação de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Sul (FEPAGRO). Nesse período, a área foi intensamente preparada (plantio convencional) resultando em degradação do solo. No final da década de 70, o experimento foi encerrado e houve restabelecimento da vegetação nativa.

A partir de 1982, a área foi dividida em três partes, sendo que, a fração onde se encontra o experimento, passou a ser um local de permanência temporária de bovinos, antes do deslocamento até as pastagens. Devido ao excesso de lotação de bovinos, a área foi degradada fisicamente e teve sua composição botânica alterada. A partir do ano de 2002 foi instalado o experimento no intuito de recuperar a área degradada, sendo realizada a correção do solo através da aplicação em superfície de 2,5 Mg ha⁻¹ de calcário

dolomítico (PRNT 60%) antes da implantação das culturas de inverno (safra 2002). Mais detalhes sobre a instalação e condução do experimento podem ser encontrados em Beutler (2005) e Debiasi (2008).

4.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos casualizados (DBC), com parcelas subsubdivididas e quatro repetições. Os tratamentos principais foram compostos por parcelas de 4,5 metros de largura por 20 metros de comprimento, sendo utilizado três coberturas de inverno (pousio (P), nabo forrageiro NF) e o consórcio aveia preta + ervilhaca comum (A+E)) e no verão realizada a semeadura direta de milho e soja em sistema de rotação de culturas. Para realização do experimento, as parcelas foram divididas ao meio, no sentido longitudinal, em duas passadas de semeadora (2,25m x 20m), sendo uma com disco de corte de palha precedendo o sulcador de adubo do tipo haste (F) e a outra com com o mecanismo sulcador tipo discos duplos (D), conforme ilustrado na Figura 1.



Figura 1. Parcela experimental dividida em semeadura com mecanismo sulcador tipo haste e disco.

Como tratamento secundário tem-se o tráfego do rodado do trator em cada tratamento (tráfegado e não tráfegado – T e NT, respectivamente). A Figura 2, apresenta um esquema dos locais com e sem tráfego do trator. O apêndice 1 mostra o croqui geral da área do experimento, onde podem ser visualizados todos os tratamentos utilizados.

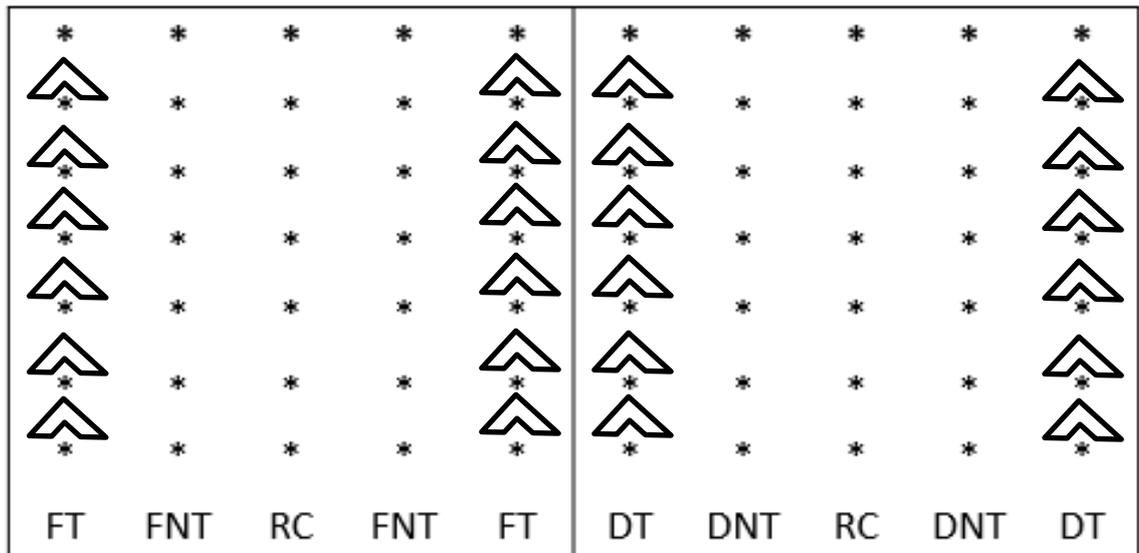


Figura 2. Representação esquemática da parcela subdividida em função dos mecanismos sulcadores e tráfego (FT= haste tráfego, FNT= haste não trafegado, DT= disco tráfego e DNT= disco não trafegado).

4.4 Material utilizados na condução do experimento

Desde a escolha da área até a implantação dos experimentos, procurou-se utilizar as máquinas com mesma dimensão e massa, evitando variabilidade externa aos tratamentos. Assim, utilizou-se, para o estudo:

- Um trator marca Valtra modelo 125, 4x2 TDA, potência máxima do motor de 92 kW (125 cv) e massa total de 7.392 kg (2.956 kg sobre o eixo dianteiro e 4.435 kg sobre o traseiro). Pneus traseiros 18.4-34 R1 e dianteiros 14.9-24 R1, com pressão de inflação de 95 e 110 kPa, respectivamente e bitola de 2,15 m nos eixos dianteiro e traseiro. A única operação em que o trator passa pelo interior das parcelas é no momento da semeadura das culturas de verão e inverno.

- Pulverizador de barras tratorizado e montado, tanque com capacidade para 400 litros de calda e barras providas de 19 bicos e largura útil de 9,5 m.

- Semeadora-adubadora, marca Vence Tudo, modelo AS 11500, montada ao sistema hidráulico de três pontos do trator, com massa de 1.110 kg. Para a semeadura da cultura de verão, configurou-se a semeadora-adubadora de forma a apresentar 5 linhas espaçadas de 0,45 m. Cada linha

era composta por sulcador de deposição de adubo do tipo haste equipado com ponteiros de 0,0025 m de largura e ângulo de ataque de 20°, sendo colocado um disco de corte de palha a sua frente, com 14” de diâmetro; sulcador para sementes do tipo disco duplo, com 0330 m (13”) de diâmetro e rodas compactadoras dispostas em “V” com 12” de diâmetro. Para semeadura das culturas de inverno utilizou-se um mesmo modelo de máquina equipada com 11 linhas espaçadas em 0,2 m.

- Trilhadora estacionária marca Lindner, com cilindro e côncavo de dentes, acionada por motor à gasolina com 8,83 kW de potência. Essa máquina é utilizada para trilhar amostras de soja e milho para determinar a produtividade das mesmas.

- Colhedora autopropelida de grãos, marca SLC-John Deere, modelo 1165, dotada de plataforma de corte, com 14 pés (4,62 m) de largura, ou despigadora, para 4 linhas de milho; com picador de palhas; massa em ordem de marcha de 7.200 kg, sendo 2.250 kg no eixo traseiro e 4.950 kg no eixo dianteiro; pneus dianteiros 18.4-30 R1 e traseiros 10.5/80-18. Apenas utilizada na colheita de soja e milho (após serem colhidas amostras manualmente para avaliação de produtividade), visto que, as culturas de inverno são utilizadas apenas para cobertura do solo.

4.5 Determinações

4.5.1 Massa seca da parte aérea das coberturas de inverno

As densidades de semeadura utilizadas nas culturas de inverno foram de 40 kg/ha de ervilhaca e 60 kg/ha de aveia (em consórcio), e para o nabo forrageiro utilizou-se em torno de 12 kg/ha. Foi realizada a determinação da quantidade de massa seca produzida pelas coberturas de inverno por unidade de área antes da semeadura da cultura de verão. As amostras foram compostas por todas as plantas contidas no interior de um retângulo de 0,24 m², as quais foram coletadas rente ao solo. Foi coletada uma amostra por parcela, secada em estufa a 65°C até peso constante, sendo os valores assim obtidos extrapolados para Mg ha⁻¹.

4.5.2 Profundidade e área da seção transversal do sulco

Para a determinação destas duas variáveis, foi empregado um perfilômetro (Figura 3) com 0,35 m de largura, equipado com varetas espaçadas de 0,01 m e curso (deslocamento vertical) de 0,35 m. Após remoção manual do solo mobilizado na linha de semeadura, as varetas do perfilômetro são liberadas e copiam a forma geométrica do sulco, permitindo a cópia em papel colocado no aparelho. A maior distância vertical medida entre o fundo do sulco e a superfície do solo corresponderá à profundidade do mesmo. A área transversal do sulco foi calculada por programa computacional utilizando Software Excel, da Microsoft Corporation.



Figura 3. Representação do perfil do sulco de semeadura pelo perfilômetro.

4.5.3 Densidade de semeadura e população de plantas emergidas da cultura de verão

A semeadura da cultura do milho foi realizada em 22 de dezembro de 2014, sendo utilizada a cultivar MORGAN 30A77PW, com densidade de semeadura de 88 mil sementes de milho por hectare, e adubação de 250 kg/ha da fórmula 5-30-15 de NPK, respectivamente. Em cobertura foi realizada aplicação de 200 kg/ha de ureia no estágio V5 da cultura do milho.

Para definição da população de plantas de milho emergidas, foram realizadas amostragens nas linhas centrais das parcelas, sendo contabilizado o

número de plantas em cinco metros e após extrapolado para um hectare. Também foi acompanhado o desenvolvimento da cultura, sendo realizadas medições de altura de plantas, onde, as mesmas plantas foram marcadas para serem acompanhadas até o final das medições. A medida era realizada em 3 plantas por linha de semeadura, sendo a média das três o valor definido para a respectiva linha, e como critério de medição levava-se em conta a última folha expandida.

4.5.4 Temperatura e umidade do solo

A temperatura foi determinada com o uso de termômetros digitais tipo espeto, utilizados em cozinha, para medição em profundidade e, com termômetro infravermelho digital com mira laser, para a medição na superfície do solo (Figura 4). As leituras foram realizadas na superfície do solo e nas profundidades de 3, 7, 12 e 17 cm, sendo que, após a introdução do termômetro no solo, eram aguardados em torno de 20 segundos para a estabilização da medição, sendo anotado o valor. Foram realizadas leituras durante o turno da manhã (início 8:30 horas, término 11:00 horas) e durante o turno da tarde (início 14:30 horas, término 17:00 horas) em todas as parcelas, fazendo-se a média das leituras.



Figura 4. Representação das leituras de temperatura em profundidade e na superfície do solo.

Para a determinação do conteúdo de água no solo foi utilizado um trado de rosca, coletando-se amostras de solo correspondentes às camadas de

0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm. Após as mesmas eram acondicionadas em frascos vedados e levadas para o laboratório, onde pela diferença entre peso úmido e peso seco em estufa a 105°C foi determinada a umidade gravimétrica de cada camada de solo para o dia da coleta.

As leituras de temperatura e umidade foram realizadas durante o ciclo da cultura do milho, em diferentes estádios de desenvolvimento que definem o potencial produtivo da mesma (Figura 5). Foram realizadas seis leituras de temperatura e umidade em diferentes épocas, sendo a primeira no estágio V5, a segunda no estágio V8, terceira entre V8-V12, a quarta em V12, quinta no florescimento e a sexta e última próxima do enchimento de grãos. Uma observação importante sobre os estádios de desenvolvimento da cultura é que o número de semanas ou dias podem variar para a expressão de cada um, dependendo de fatores climáticos como temperatura e precipitação, principalmente.

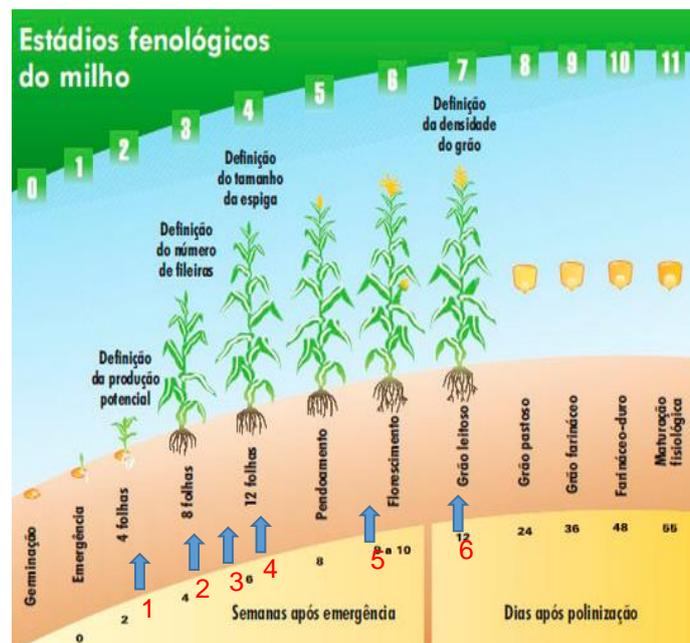


Figura 5. Representação dos principais estádios de desenvolvimento da cultura do milho e coletas dos dados. (Fonte: Unifertil)

4.5.5 Densidade do solo, macroporosidade e microporosidade

Foram coletadas amostras com estrutura preservada nas linhas do sulco de semeadura nas camadas de 2-4,5 cm, 5,0-7,5 cm, 10-12 cm e 15-17,5

cm, embaladas em filme plástico, acondicionadas em caixa de isopor e levadas ao Laboratório de Física do Solo para avaliações.

Para determinação da densidade do solo foi utilizado o método do cilindro volumétrico, descrito em (EMBRAPA, 1979).

$$\rho_s = m_{ss}/V$$

Sendo:

ρ_s – Densidade do solo (Mg m^{-3})

m_{ss} – Massa de solo seco em estufa à 105°C (Mg)

V – Volume do cilindro (m^{-3})

Para determinação da macroporosidade, amostras de solo com estrutura preservada foram saturadas com água e colocadas em mesa de tensão a -6kPa . Após estabilizar, por diferença de peso (massa de solo saturado menos massa de solo submetida à mesa de tensão) foi calculado a macroporosidade. Já a microporosidade foi calculada pela diferença entre massa de solo submetida à tensão da coluna de água menos a massa de solo seco na estufa (105°C).

4.5.6 Curva de retenção de água

A curva de retenção de água do solo (CRA) foi determinada seguindo a metodologia descrita por EMBRAPA (1997). As amostras de solo das camadas foram submetidas às tensões (-6 e -10 kPa) em mesa de tensão e as pressões de 30; 100; 300; 500 e 1.100 kPa na câmara de Richards. Os valores médios das repetições originarão uma CRA para a profundidade estudada. Assim, com base nos dados da CRA foi possível quantificar a água disponível e a capacidade de água disponível (CAD) para cada subtratamento considerando a profundidade de atuação da haste ou do disco.

4.5.7 Produtividade das culturas

Para a estimativa da produtividade de grãos foram colhidas manualmente as espigas de milho das linhas centrais (20 m x 0,45 m), conforme descritos em delineamento. Posteriormente, as amostras foram trilhadas mecanicamente através de uma trilhadora estacionária, os grãos pesados e o teor de água corrigido para 13%, sendo os resultados expressos em Mg ha⁻¹.

4.6 Análise estatística

Os dados das variáveis de solo e de planta foram compilados e analisados por meio do programa estatístico SAS Analise System. Os dados foram submetidos à comparação de médias e, quando houve significância, foi aplicado o teste de Tukey 5%. Quando houve interação entre os fatores analisados, os mesmos foram analisados por meio de análise de regressão simples.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Massa seca da parte aérea das coberturas de inverno

Os resultados da produção de matéria seca das culturas de inverno (utilizadas como cobertura) e da área de pousio são apresentados na Tabela 1. Não houve diferença significativa na produção de biomassa da parte aérea entre os tratamentos, diferentemente de outros anos, onde a produção de biomassa das culturas de inverno (Aveia + Ervilhaca e Nabo forrageiro) foi maior em relação ao pousio conforme observado por Sequinato (2010) e Beutler (2005), no mesmo local do experimento. Tal fato pode estar atribuído à demora do estabelecimento inicial das culturas de cobertura, que ocorreu devido à colheita tardia das culturas de verão, bem como alguma limitação hídrica que pode ser visualizada nos meses de abril e maio de 2014 conforme a Figura 6, associado também a pouca intensidade de frio.

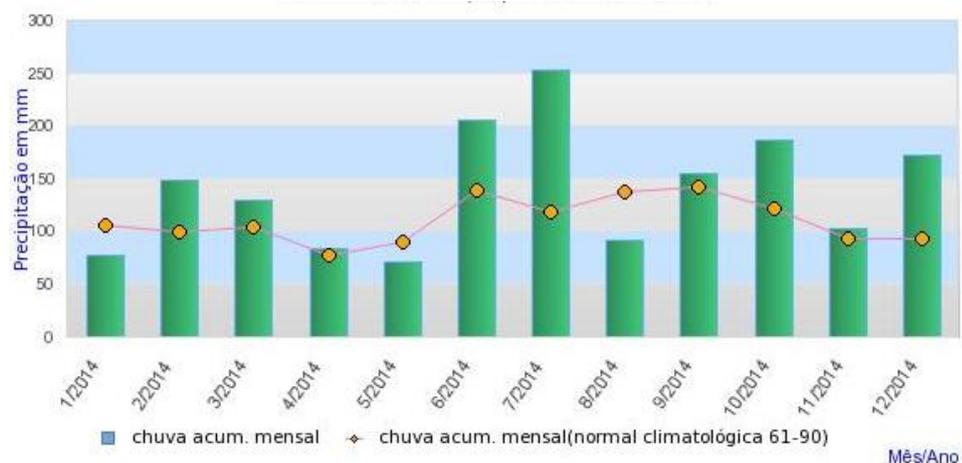


Figura 6. Precipitação pluviométrica mensal ano 2014. (Fonte: INMET)

Na condição de pousio, o rápido estabelecimento natural de espécies vegetais provenientes do banco de sementes no solo (composta principalmente por gramíneas) conferiu um aumento na produção de biomassa, equiparando-se aos demais tratamentos, onde as culturas foram semeadas. Nessas condições, devido o pousio ter se equiparado aos demais tratamentos, poderia ser diminuído o custo de implantação das culturas de inverno, mas por

outro lado, devesse levar em conta a baixa produção de massa seca obtida nesse ano em específico.

Tabela 1. Biomassa da parte aérea das culturas de cobertura de inverno

Culturas	Matéria seca (Mg ha⁻¹)
Pousio	2,71 ^{ns}
Aveia + Ervilhaca	2,62
Nabo forrageiro	3,04
Média	2,71
CV (%)	21,9

^{ns} Não significativo pelo teste de Tukey a $p < 0,05$.

A importância da utilização de plantas de coberturas de inverno e da quantidade de biomassa produzida se dá principalmente pelo aporte contínuo de resíduos (palhada) ao solo, contribuindo para um aumento nos teores de matéria orgânica (MO) que, gradativamente, leva a uma melhoria na qualidade físico-química dos solos (Sequinato, 2010). Entretanto, os valores observados estão abaixo dos recomendados por Bayer (1996), o qual cita que, para um manejo satisfatório de um SPD, o aporte de resíduos anuais deve ser mantido em torno de 10 a 12 Mg ha⁻¹ de matéria seca. Além disso, a manutenção e as melhorias das condições do ambiente para o estabelecimento e desenvolvimento de plantas de cobertura do solo permitem uma maior e melhor ciclagem e reciclagem dos nutrientes aplicados ao solo (Alvarenga, 2001). Associado a isso, a presença de cobertura do solo também diminui a amplitude térmica do mesmo entre o dia e a noite, reduz o impacto da chuva sobre o solo (reduzindo a formação de selo e crosta, especialmente numa condição de solo com textura mais arenosa) e favorece os processos de agregação do solo (Derpsch et al; 1985).

Por outro lado, a cobertura do solo pode influenciar negativamente o desempenho de conjuntos mecanizados. Estudos desenvolvidos por Conte (2007) e Kamimura (2008) apontam que, com o incremento na quantidade de resíduos sobre o solo, há uma maior patinação dos rodados do trator, o que acarreta em maior compactação e maior consumo de combustível, carecendo de maiores estudos na relação solo-máquina quanto a relação entre doses de resíduos e eficiência dos conjuntos mecanizados.

5.2 Parâmetros relacionados aos mecanismos ativos no solo: mobilização de solo e profundidade de atuação

A Tabela 2 mostra os dados referentes à profundidade de atuação dos mecanismos ativos da semeadora no solo. A profundidade de atuação, área da seção transversal e, conseqüentemente, a mobilização do solo, foram maiores utilizando o sulcador do tipo haste, quando comparado ao sulcador do tipo disco, para as mesmas condições de trabalho (Tabela 2; Figura 7). Porém, comparado a outros trabalhos da literatura, como Conte (2007; 2010), a mobilização obtida na haste foi menor nesse estudo, sendo influenciado pelo tipo de solo e também poderia estar associado a uma melhoria da estrutura do solo devido as práticas de rotação de culturas e manutenção dos restos culturais em cobertura. A umidade do solo no momento da semeadura encontrava-se dentro do estado de friabilidade do solo.

Tabela 2. Profundidade de atuação e mobilização do solo no sulco de semeadura por diferentes mecanismos sulcadores

Sulcador	Prof. máxima (m)	Área da seção transversal (cm²)	Mobilização (m³ ha⁻¹)
Haste	0,10	36,7	82,0 A
Disco	0,04	10,3	23,0 B

Letras maiúsculas comparam médias entre os tipos de mecanismos sulcadores pelo teste de Tukey a $p < 0,05$.

Os resultados da Tabela 2 e Figura 7 são semelhantes aos obtidos por Siqueira (2009), o qual afirma que a haste sulcadora possui maior capacidade de penetração e variabilidade de profundidade no sulco em relação ao disco. Tal fato pode ser atribuído ao menor ângulo de ataque que a haste sulcadora possui, promovendo sucção no solo e permitindo alcançar maiores profundidades e maior capacidade de expulsar o solo verticalmente no sulco de semeadura. Por outro lado, os discos por serem sulcadores rotativos, podem apresentar algumas limitações, como maior dificuldade para penetração no solo e, ocasionalmente, pressionar resíduos (palhada) que estão na superfície para dentro do sulco (Seidi, 2012), o que pode contribuir para menor

profundidade de atuação e problemas na germinação de sementes. Além disso, por serem sulcadores rotativos têm maior necessidade de peso para serem inseridos no solo, necessitando assim de máquinas maiores e mais pesadas para que possam atingir profundidades semelhantes ao sulcador haste.

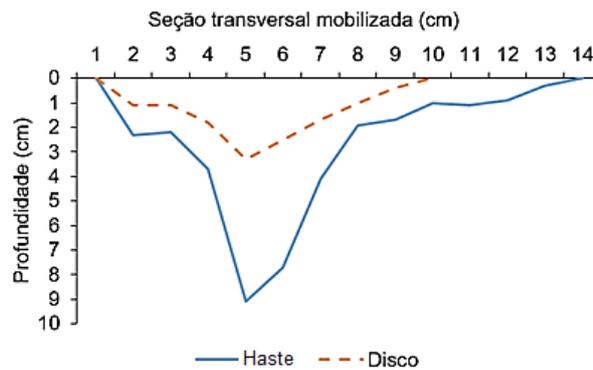


Figura 7. Seção transversal mobilizada e profundidade de atuação dos mecanismos sulcadores.

A maior mobilização na linha de semeadura utilizando sulcador do tipo haste foi favorecida pela maior profundidade de atuação que o mesmo alcançou (Figura 7). Nesse sentido, Conte (2007) obteve um incremento de 107% na área do sulco mobilizada com o aumento da profundidade de atuação da haste sulcadora de 6 para 12 cm de profundidade, corroborando com os dados encontrados. Entretanto, essa relação profundidade/área mobilizada é limitada a um ponto denominado profundidade crítica de atuação da haste, dado pela formatação e ângulo de ataque da ponteira ao solo. Spoor & Godwin (1978) definem profundidade crítica como sendo a profundidade a partir da qual o esforço tratório aumenta, sem que haja um incremento significativo de solo mobilizado.

De acordo com Conte (2007), quando a haste passou de 12 cm para 15 cm de profundidade, o incremento da área mobilizada, em solo de textura argilosa, foi apenas de 27%. Isso ocorre devido ter-se ultrapassado a profundidade crítica de atuação do mecanismo ativo (haste) junto ao solo.

Comparando-se os valores de volume de solo mobilizado obtidos com os dois tipos de mecanismos ativos (haste e disco), frente ao sistema de

preparo convencional (mantendo-se as mesmas profundidades - 0,1 m e 0,04 m, respectivamente) tem-se uma redução de 12,1 e 17,4 vezes na mobilização de solo para haste e disco, respectivamente. Isso evidencia a importância de se conhecer o tipo de mecanismo ativo que equipa às semeadoras que, quando corretamente dimensionado, proporciona uma diminuição do volume de solo mobilizado (restringindo-se somente a linha de semeadura favorecendo a menor perda de solo por erosão, menor exposição ao sol e conseqüentemente menor evaporação de água), diminuição da emergência de plantas indesejadas e maior eficiência no uso dos recursos do meio (Barros & Freixial, 2011).

Além disso, a maior capacidade de atuação dos mecanismos sulcadores em profundidade (como é o caso de sulcadores do tipo haste), favoreceu o rompimento das camadas compactadas, tanto em superfície, como em subsuperfície no solo no SPD, melhorando as características físicas, bem como favorecendo a distribuição dos nutrientes no perfil do solo (Nunes, 2014), além de proporcionar condições para um maior aprofundamento do sistema radicular no solo, o que pode ser benéfico em caso de veranicos.

5.3 Altura e população de plantas da cultura do milho

Na Tabela 3 consta o número médio de plantas estabelecidas na área para cada tipo de mecanismo sulcador e condições de tráfego de máquinas. Não foram observadas diferenças significativas na população de milho entre tratamentos (tipo de sulcador de adubo), nem entre subtratamentos (condição de tráfego de rodados).

Tabela 3. Número de plantas de milho por hectare em diferentes sistemas de mobilização do solo e condições de tráfego de máquinas

Sulcador	Tráfego	Nº de plantas ha ⁻¹	
		(x1000)	Média
Disco	Sem	72,6 ^{ns}	70,3 ^{ns}
	Com	68,1	
Haste	Sem	76,3	76,1
	Com	75,9	

^{ns} Não significativo pelo teste de Tukey a p<0,05.

De acordo com Embrapa (2013), a densidade de plantas é o fator que mais influência a produtividade de milho, sendo que pequenas alterações modificam diretamente a produtividade final de grãos. Entretanto, a densidade de semeadura pode variar conforme a cultivar, em virtude da disposição das folhas da cultura (eretas ou prostradas), de forma que o aumento no estande de plantas favorece o incremento na produção devido a maior interceptação da radiação solar pelas folhas, desde que não haja um declínio na produção por planta. A cultivar utilizada apresentava características de folhas mais eretas (Figura 8).



Figura 8. Parcela experimental com a cultura do milho estabelecida.

Quando analisado o desenvolvimento das plantas com base na altura, os resultados mostram que não houve diferença significativa para o tipo de sulcador utilizado e nem para a condição de tráfego (Tabela 4), independentemente do número de dias após a emergência da cultura. Assim, pode-se inferir que não houve relação com esse atributo a menor produtividade obtida na condição de sulcador disco com presença de tráfego, conforme será visualizado no item 5.8.

Tabela 4. Altura de plantas de milho em diferentes sistemas de mobilização do solo e condições de tráfego de máquinas

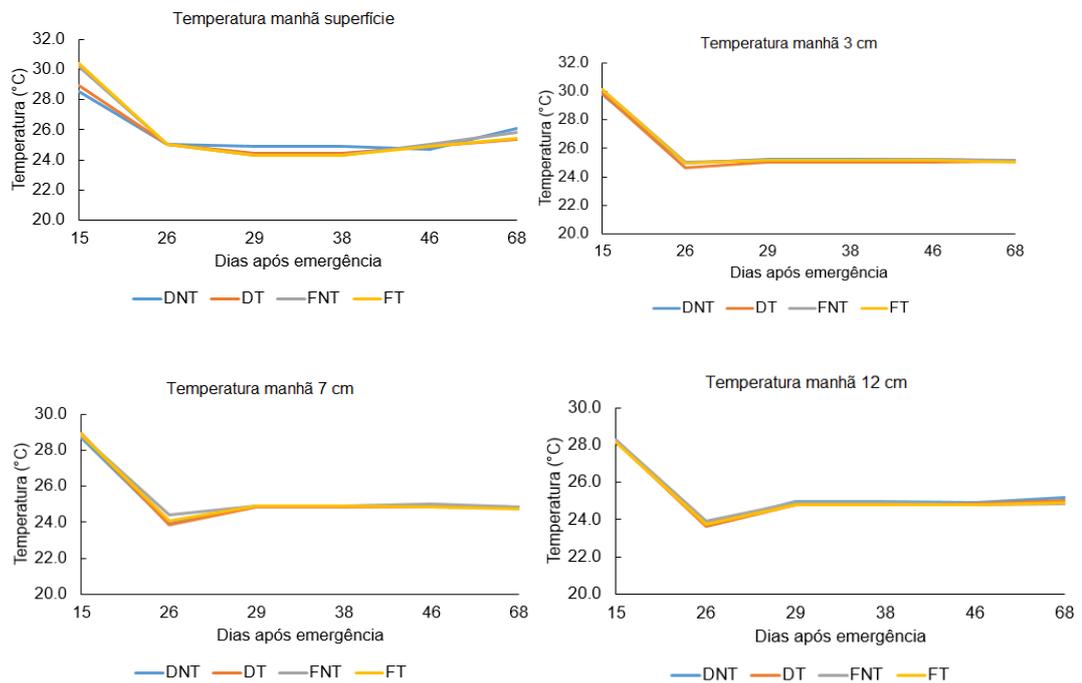
Sulcador	Tráfego	Dias após emergência			
		16	29	38	46
		----- altura (cm) -----			
Disco	Sem	35,4 ^{ns}	80,6	125,0	140,7
	Com	34,2	79,5	123,6	136,0

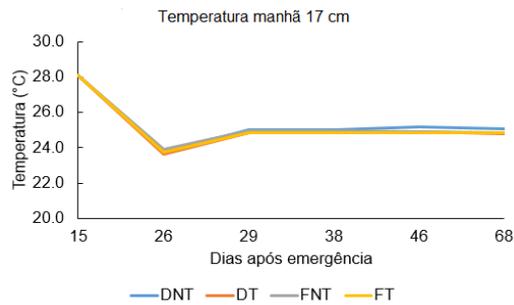
	Média	34,8 A	80 A	124,3 A	138,35 A
Haste	Sem	38,6	83,6	126,9	145,6
	Com	36,4	81,9	125,4	143,0
	Média	37,5 A	82,75 A	126,15 A	144,3 A

^{ns} Não significativo pelo teste de Tukey a $p < 0,05$. Letras maiúsculas comparam médias entre os tipos de mecanismos sulcadores.

5.4 Temperatura do solo

Nas Figuras 9 e 10 são apresentados os gráficos referentes as temperaturas do solo para o turno da manhã e da tarde, respectivamente. Os dados propriamente ditos, podem ser visualizados nos apêndices 2 e 3.

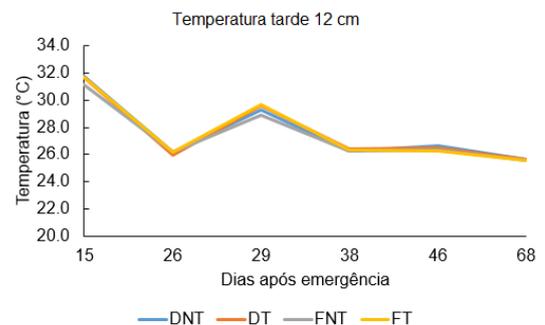
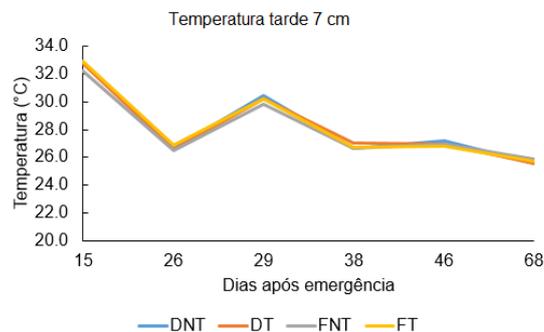
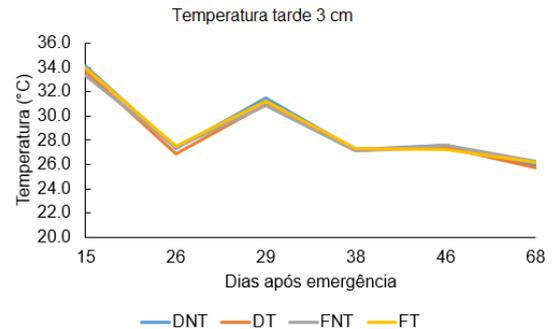
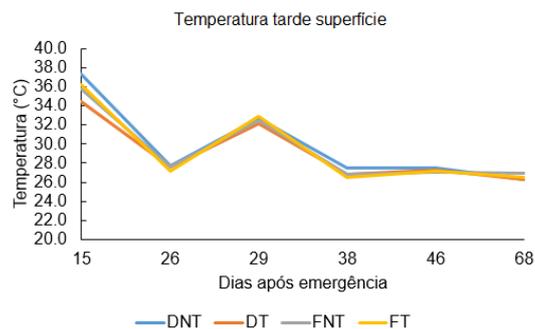


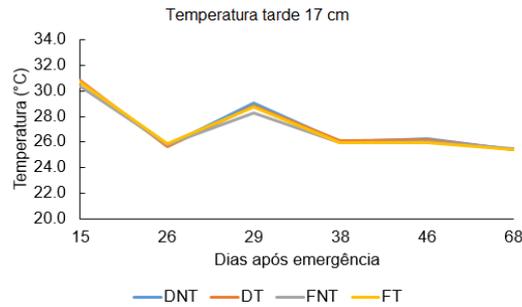


Não significativo pelo teste de Tukey a $p < 0,05$. (DNT= Disco não trafegado; DT= Disco tráfego; FNT: Haste não trafegado; FT= Haste trafegado).

Figura 9. Temperatura do solo ($^{\circ}\text{C}$) pela manhã em função do tipo de haste sulcador de adubo, condições de tráfego de máquinas e profundidade do solo, ao longo do ciclo da cultura do milho.

A análise de variância não demonstrou diferenças significativas para os tratamentos tipos de sulcadores e condições de tráfego de rodados, dentro de cada época de amostragem.



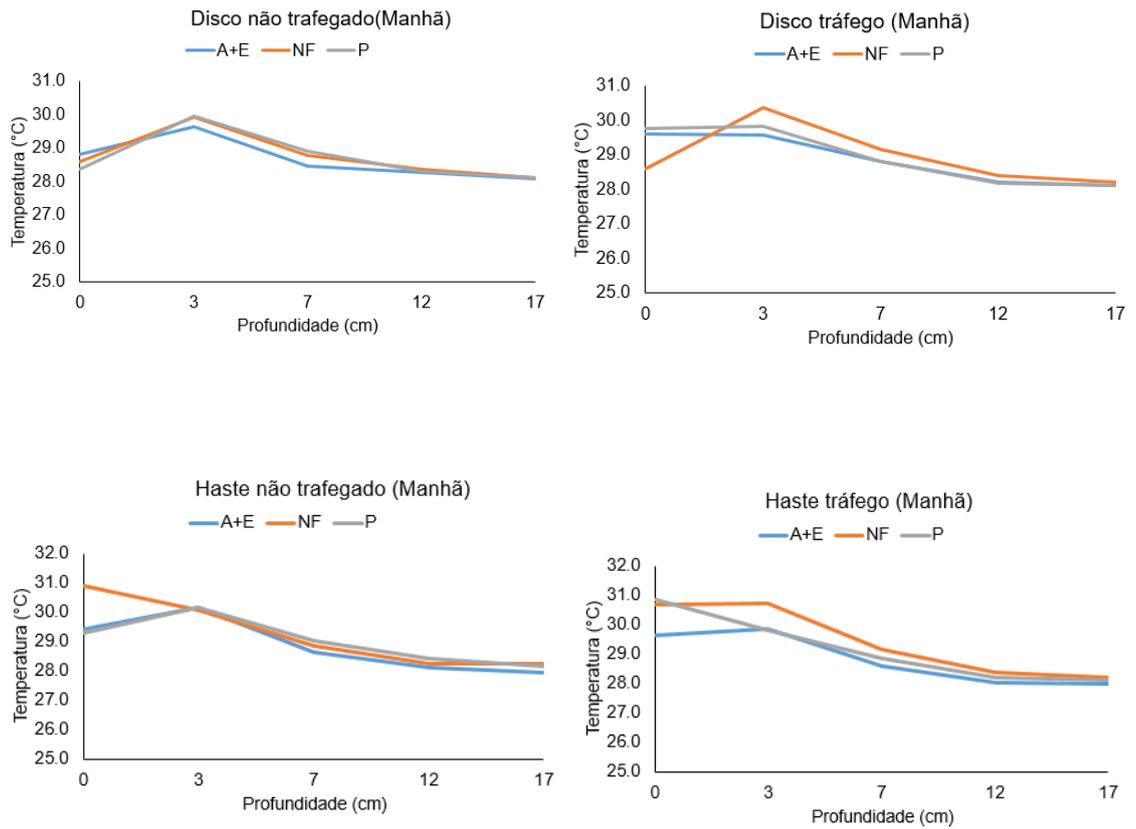


Não significativo pelo teste de Tukey a $p < 0,05$. (DNT= Disco não trafegado; DT= Disco tráfego; FNT: Haste não trafegado; FT= Haste trafegado).

Figura 10. Temperatura do solo (°C) pela tarde em função do tipo de haste sulcador de adubo, condições de tráfego de máquinas e profundidade do solo, ao longo do ciclo da cultura do milho.

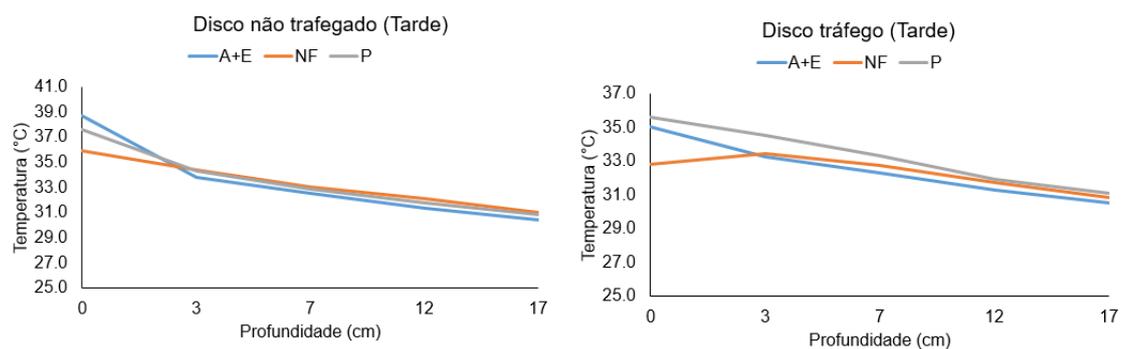
Entretanto, observou-se que os maiores valores de temperatura do solo foram registrados na primeira coleta, quando a cultura do milho ainda não havia coberto o solo associado à baixa quantidade de resíduos das culturas de inverno, estando o mesmo mais exposto a radiação solar. Os valores baixos para a segunda coleta são devidos as menores temperaturas diárias registradas nesse dia (Figuras 9 e 10).

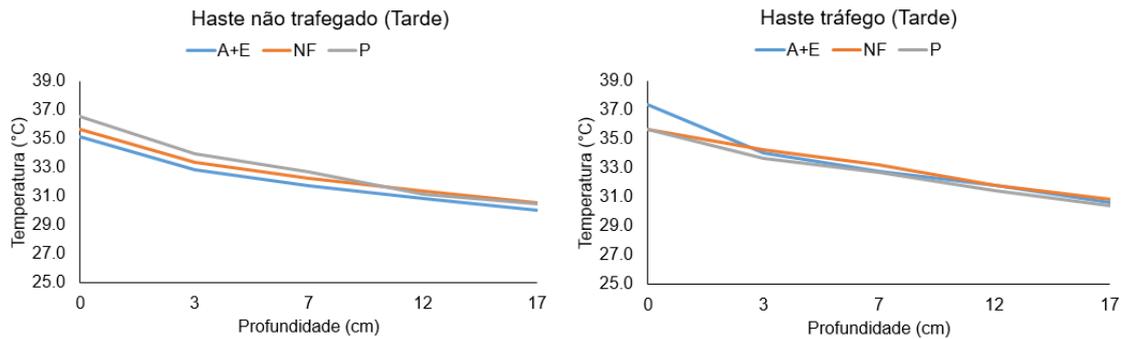
Nas figuras 11 e 12 são apresentados os dados de temperatura do solo pela manhã e a tarde, respectivamente, aos 15 dias após emergência da cultura do milho, em função das coberturas de inverno. Embora a temperatura da superfície do solo tenha apresentado amplitude de 2°C entre alguns tratamentos, a mesma não foi suficiente para diferir estatisticamente pela análise de variância. Devido ao nabo forrageiro apresentar menor relação C/N, esperava-se encontrar diferenças significativas entre os tratamentos, principalmente na primeira amostragem, onde a cultura do milho ainda não ocasionava sombreamento, mas não foi observado nenhuma diferença significativa, provavelmente pela germinação de plantas espontâneas (principalmente gramíneas) junto com a cultura do nabo.



Não significativo pelo teste de Tukey a $p < 0,05$. (A+E= Aveia + Ervilhaca; NF= Nabo Forrageiro; P=Pousio).

Figura 11. Temperatura do solo (°C) pela tarde em função das plantas de cobertura, tipo de haste sulcador de adubo, condições de tráfego de máquinas e profundidade do solo, 15 dias após a semeadura da cultura do milho.





Não significativo pelo teste de Tukey a $p < 0,05$. (A+E= Aveia + Ervilhaca; NF= Nabo Forrageiro; P=Pousio).

Figura 12. Temperatura do solo ($^{\circ}\text{C}$) pela tarde em função das plantas de cobertura, tipo de haste sulcador de adubo, condições de tráfego de máquinas e profundidade do solo, 15 dias após a semeadura da cultura do milho.

Contrariando a hipótese central do trabalho, a não observância de diferenças significativas em relação a temperatura medida no solo entre os tratamentos avaliados, pode estar relacionado ao manejo do sistema ser o mesmo, bem como a não diferença na massa seca da cultura de inverno (Tabela 1). Isso corrobora, em parte, com os resultados obtidos por Levien (1999), Silva (2006) e Furlani (2008) que verificaram diferenças na temperatura do solo em função do preparo e/ou cobertura do solo, sendo que, sempre SPD apresentou menor amplitude térmica em relação aos demais preparos (convencional ou escarificado). Também verificaram que, independentemente do tipo de preparo do solo, não houveram mais diferenças na temperatura do solo quando as plantas proporcionaram mais de 50% de cobertura ao mesmo. Por outro lado, Kaiser (2009) encontrou maior amplitude térmica em solo com compactação adicional. Por isso, mais estudos devem ser realizados nessa área, visto que, são poucos os trabalhos que abordam o assunto.

As temperaturas médias diárias, bem como a máxima e a mínima registradas nas datas das coletas estão dispostos na Tabela 5, onde a maior temperatura registrada foi na primeira coleta, aos 15 dias após a emergência. Aos 26 dias após emergência (dia 23 de janeiro), devido as condições do dia em específico, foi registrada a menor temperatura, juntamente com a última coleta (dia 6 de março), essa relacionada com a proximidade do final da

estação de verão, o que explica as oscilações nas temperaturas registradas no solo entre as coletas, como podem ser visualizadas nas figuras 9 e 10.

Tabela 5. Temperaturas máximas, médias e mínimas registradas nos dias em que foram realizadas as medições à campo para as temperaturas do solo

	12/jan	23/jan	26/jan	04/fev	12/fev	06/mar
Máxima (°C)	34	29	33	30	33	30
Média (°C)	29	24	27	26	27	24
Mínima (°C)	26	18	23	23	23	22

Inmet, 2015

As variações que ocorrem na temperatura do solo são influenciadas principalmente pela textura e estrutura do solo, limitando-se as camadas mais superficiais, tendo relação direta com trocas iônicas entre o sistema radicular e o solo (Ometto, 1981). Além disso, com o SPD, a cobertura do solo também passou a ter um papel importante na dinâmica da temperatura do solo.

Os principais problemas relacionados à temperatura do solo e nutrientes referem-se à solubilidade dos mesmos. O fósforo tem sua solubilidade afetada principalmente por baixas temperaturas do solo, além da difusão, principal mecanismo de absorção desse nutriente pelas plantas, tornar-se mais lenta nessas condições (Grant et. al., 2001). Pelos resultados, percebe-se que as temperaturas do solo se mantiveram altas durante todo o ciclo da cultura, principalmente devido a época de semeadura ter sido em dezembro. Assim, a baixa produtividade de milho, (abordado no item 5.8) teve relação com outros fatores (precipitações escassas principalmente) que não a temperatura do solo.

5.5 Conteúdo de água no solo

Os dados de umidade volumétrica do solo (Tabela 6) diferiram significativamente entre si apenas na segunda coleta (26 dias após a emergência) e para camada 0,00-0,05 m. Para as demais profundidades e épocas de avaliação não houve diferenças pela análise de variância. Observou-se ao longo das avaliações uma tendência de maior umidade para a condição de sulcador tipo disco restrita a camada superficial, sendo em parte, atribuído à menor mobilização e aumento da densidade na camada superficial

do solo e uma possível maior exploração pelas raízes nessa camada na condição de sulcador tipo haste.

Houve variação temporal da umidade do solo durante o ciclo da cultura, principalmente devido aos ciclos de umedecimento e secagem do solo, dependentes de fatores como precipitação e estiagem, além da maior ou menor exigência da cultura durante seu desenvolvimento. Campos et al. (1994) verificou que a cobertura do solo tem grande influência sobre a umidade do solo, sendo essa uma possível causa para não se ter verificado diferenças dentro de uma mesma época de avaliação.

Os valores de umidade volumétrica encontrados ficaram abaixo dos valores para condição de capacidade de campo, encontrada por Sequinato (2010) para o mesmo solo, que foram em torno de $0,28 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o local com tráfego do rodado do trator e $0,26 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ onde não foi trafegado. Isso sugere que a planta não dispunha de toda a água necessária para expressar seu máximo potencial produtivo. Também é possível inferir que a não variação da temperatura do solo entre os tratamentos é, em parte, devido a umidade do solo ser a mesma, visto que a ela é muito importante nos processos de fluxo e dissipação de calor no solo conforme visto no item 2.4.

Tabela 6. Conteúdo de água no solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) ao longo do tempo em diferentes sistemas de mobilização do solo, condições de tráfego de máquinas e camadas

Sulcador	Tráfego	Dias após a emergência					
		15	26	29	38	46	68
Camada 0-5 cm							
Disco	Sem	0,20 a	0,18 a	0,15	0,21	0,20	0,13
	Com	0,21 a	0,21 a	0,14	0,22	0,24	0,14
	Média	0,21 A	0,20 A	0,15 A	0,22 A	0,22 A	0,14 A
Haste	Sem	0,15 a	0,15 b	0,12	0,18	0,21	0,12
	Com	0,20 a	0,14 b	0,13	0,19	0,20	0,12
	Média	0,18 A	0,15 B	0,13 A	0,19 A	0,21 A	0,12 A
Camada 5-10 cm							
Disco	Sem	0,23 ^{ns}	0,20	0,17	0,20	0,16	0,15

	Com	0,23	0,21	0,16	0,19	0,17	0,15
	Média	0,23^{ns}	0,21	0,17	0,20	0,17	0,15
Haste	Sem	0,22	0,21	0,14	0,19	0,19	0,15
	Com	0,23	0,18	0,15	0,20	0,17	0,14
	Média	0,23	0,20	0,15	0,20	0,18	0,15
Camada 10-15 cm							
Disco	Sem	0,23 ^{ns}	0,23	0,17	0,20	0,16	0,15
	Com	0,23	0,20	0,16	0,19	0,17	0,15
	Média	0,23^{ns}	0,22	0,17	0,20	0,17	0,15
Haste	Sem	0,23	0,20	0,16	0,20	0,19	0,15
	Com	0,23	0,18	0,16	0,20	0,18	0,15
	Média	0,23	0,19	0,16	0,20	0,19	0,15
Camada 15-20 cm							
Disco	Sem	0,24 ^{ns}	0,22	0,18	0,22	0,18	0,17
	Com	0,25	0,21	0,19	0,20	0,18	0,16
	Média	0,25^{ns}	0,22	0,19	0,21	0,18	0,17
Haste	Sem	0,25	0,26	0,20	0,21	0,19	0,17
	Com	0,26	0,22	0,18	0,22	0,18	0,18
	Média	0,26	0,24	0,19	0,21	0,19	0,17

^{ns} Não significativo pelo teste de Tukey a $p < 0,05$. Letras maiúsculas comparam médias entre os tipos de mecanismos sulcadores.

5.6 Densidade e distribuição no tamanho de poros do solo

Na Tabela 7 são apresentados os dados de densidade, macro, micro e porosidade total do solo nas diferentes camadas, em função dos tipos de mecanismos sulcadores.

Tabela 7. Densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo para diferentes camadas, em função do tipo de mecanismos sulcadores.

Camada (m)	Sulcador	
	Disco	Haste
	Densidade (Mg Mg ⁻³)	
0,00-0,05	1,35 A c	1,25 A c
0,05-0,10	1,47 A b	1,44 A b
0,10-0,15	1,50 A b	1,51 A b

0,15-0,20	1,61 A a	1,62 A a
	Macroporosidade ($m^{-3} m^{-3}$)	
0,00-0,05	0,21 A a	0,25 A a
0,05-0,10	0,15 B b	0,19 A b
0,10-0,15	0,15 A b	0,17 A bc
0,15-0,20	0,12 A b	0,13 A c
	Microporosidade ($m^{-3} m^{-3}$)	
0,00-0,05	0,28 A b	0,26 A b
0,05-0,10	0,33 A a	0,32 A a
0,10-0,15	0,27 A b	0,27 A b
0,15-0,20	0,27 A b	0,27 A b
	Porosidade total ($m^{-3} m^{-3}$)	
0,00-0,05	0,48 A a	0,50 A a
0,05-0,10	0,47 A a	0,50 A a
0,10-0,15	0,43 A b	0,43 A b
0,15-0,20	0,39 A c	0,40 A b

Letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna dentro de um mesmo atributo não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Observou-se diferença significativa somente na macroporosidade para os tratamentos tipos de mecanismos sulcadores, onde a camada 0,05-0,10 m, apresentou maiores valores para a condição com uso do sulcador tipo haste (Tabela 7). Tal fato é atribuído a maior profundidade de atuação atingida por este tipo de sulcador em relação ao disco (Figura 1) que foi de, aproximadamente 0,10 m. Como as avaliações foram feitas no final do ciclo da cultura, pode ter ocorrido um adensamento natural das partículas de solo na camada superficial, diminuindo as diferenças entre os sulcadores.

Além disso, devido ao fato de sempre ter sido utilizado sulcador do tipo haste desde a adoção do SPD na área do experimento para semeadura das culturas de verão, acredita-se que possa haver um efeito residual da atuação dos mesmos na semeadura da safra anterior, o que diminui as chances de se observar diferenças nestas variáveis, conforme apontam Nunes et. al. (2014). De acordo com estes autores, que estudaram a ação da haste sulcadora em diferentes profundidades (10, 15 e 17 cm) em Latossolo Vermelho, pode ter havido efeito residual da mobilização após 12 meses da utilização da mesma, corroborando com a hipótese levantada.

Os menores valores encontrados para densidade do solo na camada superficial podem ser atribuídos ao maior teor de matéria orgânica (Lanças et al., 2005; Sequinato 2010), raízes e também ao fato desta ter sido mobilizada pelos mecanismos sulcadores.

Embora tenha sido observado tal diferença, os valores de macroporosidade não podem ser considerados como críticos, pois estão acima de $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, valor considerado limitante para porosidade de aeração de acordo com Tormena et al. (1998), pois restringiria o desenvolvimento das plantas por limitar as trocas gasosas.

Quando comparamos os valores das variáveis em profundidade, dentro dos tratamentos tipos de sulcadores, diferenças significativas ocorreram. Observou-se que, em ambos os tipos de sulcadores, a densidade do solo aumentou em profundidade, sendo maior na camada de 0,15-0,20 m (Tabela 9). Isso se deve principalmente ao adensamento natural das partículas de solo, observado também por Sequinato (2010). Devido a esse adensamento das partículas em profundidade, conseqüentemente ocorre a diminuição da macroporosidade e porosidade total, como observado na Tabela 8.

Os valores médios de densidade do solo encontrados nesse trabalho para as camadas de 0,1 - 0,15m e a 0,15 - 0,2m foram um pouco menores do que as encontradas por Sequinato (2010). Uma hipótese para tal comportamento, pode ser atribuída ao manejo com plantas de cobertura, e rotação com milho que possui um sistema radicular mais profundo, ocasionando uma melhoria do sistema, pois essas camadas praticamente não são afetadas pelo tráfego de máquinas e profundidade dos sulcadores. Ainda, se compararmos com os valores obtidos por Beutler (2005) no início do experimento, onde nas camadas superficiais do solo a densidade chegava a $1,7 \text{ Mg Mg}^{-3}$, é possível identificar como o manejo do solo com rotação de culturas e aporte de resíduos contribuiu na recuperação física do solo em estudo.

Na Tabela 8 são apresentados os dados de densidade, macro, micro e porosidade total do solo em função da condição de tráfego nos tipos de sulcadores. Diferenças significativas foram observadas apenas para os atributos densidade e macroporosidade, e na camada 0,00-0,05 m para ambos os tipos de sulcadores. Nestes casos, os maiores valores de densidade foram observados para a condição com tráfego, e conseqüentemente pelo adensamento das partículas observou os menores valores de macroporosidade, na mesma camada (Tabela 8). Sequinato (2010) encontrou

valores médios de densidade de $1,33 \text{ Mg m}^{-3}$ e $1,19 \text{ Mg m}^{-3}$, para local com e sem tráfego do rodado do trator, respectivamente.

Corroborando com os resultados encontrados neste estudo, Silva et. al., (2003), em um Latossolo Vermelho, no Cerrado, relata aumento da densidade e diminuição da macroporosidade na camada superficial em locais de tráfego de máquinas, quando utilizada semeadora adubadora em sistema de plantio direto.

Tabela 8. Densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo nas diferentes camadas em função dos mecanismos sulcadores e tráfego dos rodados do trator.

Sulcador	Tráfego	Camada (m)			
		0,00 - 0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20
Ds (Mg m^{-3})					
Disco	Sem	1,29 b	1,44 a	1,47 a	1,61 a
	Com	1,40 a	1,50 a	1,52 a	1,62 a
Haste	Sem	1,22 b	1,41 a	1,52 a	1,59 a
	Com	1,29 a	1,46 a	1,50 a	1,65 a
Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)					
Disco	Sem	0,24 a	0,16 a	0,15 a	0,12 a
	Com	0,18 b	0,14 a	0,16 a	0,11 a
Haste	Sem	0,27 a	0,20 a	0,17 a	0,14 a
	Com	0,23 b	0,19 a	0,17 a	0,11 a
Microporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)					
Disco	Sem	0,27 ^{ns}	0,33	0,27	0,27
	Com	0,29	0,33	0,27	0,27
Haste	Sem	0,26	0,33	0,26	0,28
	Com	0,26	0,31	0,27	0,27
Porosidade total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)					
Disco	Sem	0,50 ^{ns}	0,48	0,43	0,39
	Com	0,46	0,46	0,43	0,38
Haste	Sem	0,52	0,50	0,43	0,42
	Com	0,48	0,50	0,43	0,38

^{ns} Não significativo pelo teste de Tukey a $p < 0,05$. Letras iguais na coluna dentro de um mesmo atributo não diferem entre si.

5.7 Curva de retenção de água

A curva característica de retenção de água no solo está representada na Figura 13. A camada avaliada foi de 0,05-0,10 m, não apresentando diferenças entre os tratamentos após a capacidade de campo (10 kpa).

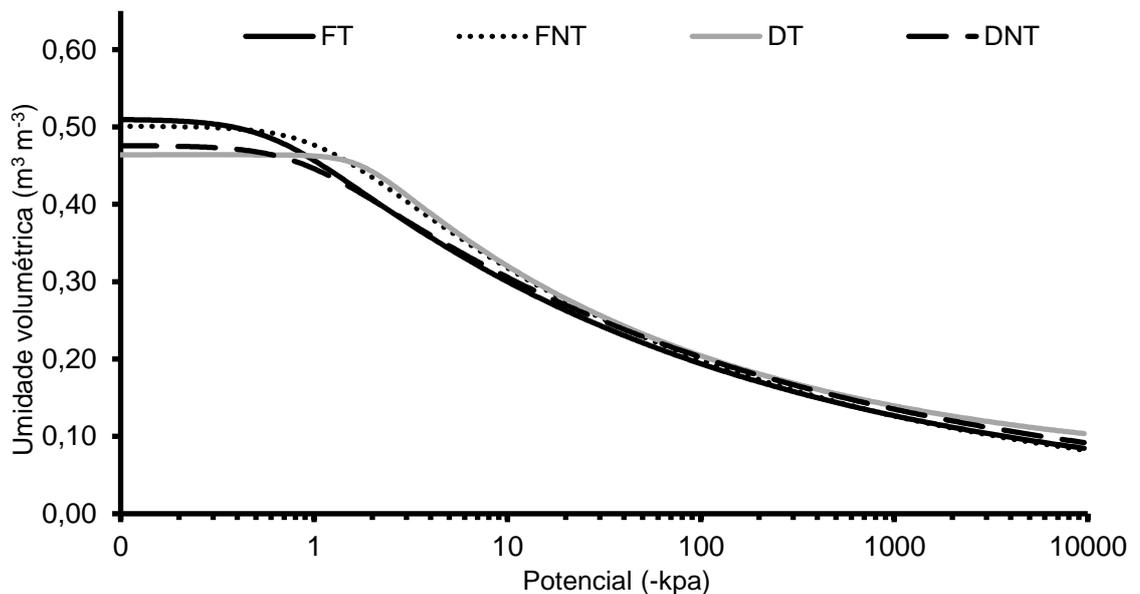


Figura 13. Curva característica de água do solo para o tratamento sulcador tipo haste na condição de tráfego do rodado.

Na Tabela 9, são apresentados os valores calculados para água disponível no solo nos tratamentos avaliados. Não foram observadas diferenças significativas nos tratamentos tipo de sulcadores e condições de tráfego dos rodados. Isso pode ser explicado pelo fato de não terem sido verificadas diferenças nos valores de microporosidade do solo (Tabela 8), em nenhum dos tratamentos, pois é essa a principal característica que define o armazenamento de água no solo. O aumento da densidade poderia aumentar as quantidades de água armazenada, pois macroporos podem ser, devido à compressão, transformados em microporos ou ficarem mais tortuosos, podendo reter uma parcela de água, fato não observado com base nos dados.

Tabela 9. Água disponível no solo na camada avaliada, em função dos mecanismos sulcadores e tráfego dos rodados do trator

Sulcador	Tráfego	Água disponível (m ³ m ⁻³)	Média
Disco	Sem	0,19 ^{ns}	0,20
	Com	0,22	
Haste	Sem	0,22	0,21
	Com	0,20	

^{ns} Não significativo pelo teste de Tukey a p<0,05.

5.8 Produtividade da cultura de milho safra 2014/15

A Tabela 10 apresenta a produtividade da cultura do milho em função dos mecanismos sulcadores e condições de tráfego. Não foram observadas diferenças significativas entre a utilização dos tipos de mecanismos sulcadores avaliados, mas sim entre as condições de tráfego dentro do mesmo mecanismo sulcador.

Tabela 10. Produtividade de grãos da cultura do milho (safra 2014/2015) em função dos mecanismos sulcadores e tráfego dos rodados do trator.

Sulcador	Tráfego	Produtividade (Mg ha ⁻³)	Média
Disco	Sem	5,82 a	4,84 A
	Com	3,85 b	
Haste	Sem	5,43 a	5,38 A
	Com	5,34 a	

Letras minúsculas comparam condições de tráfego dentro de cada mecanismo sulcador e, letras maiúsculas, comparam mecanismos sulcadores. Médias comparadas pelo teste de Tukey p<0,05.

Isso se deve principalmente ao fato do tráfego ter influenciado negativamente, principalmente na condição em que foi realizada a semeadura com o mecanismo sulcador tipo disco.

Quando comparado a condição de tráfego utilizando mecanismo sulcador tipo disco, observou-se que a condição com tráfego apresentou a menor produtividade (Tabela 10), em torno de 34 % menor comparado com a condição sem tráfego. Isso ocorreu devido ao conjunto de fatores negativos que foram obtidos nas avaliações realizadas, como aumento da densidade na camada superficial, o que pode ter prejudicado o desenvolvimento e

aprofundamento das raízes da cultura. Beutler (2009) relata diminuição em até 22% na produtividade de milho pela compactação do solo ocasionada pelo tráfego de máquinas, enquanto que Girardello (2014) observou produtividade de 24% menor na condição de tráfego de máquinas. Em experimento com feijoeiro, Collares (2008) relata que o sistema radicular e crescimento da parte aérea, bem como produtividade, foram menores em locais com compactação adicional.

Em contrapartida, observou-se que na condição onde foi realizada a semeadura com mecanismo sulcador tipo haste não houve influência do tráfego na produtividade do milho. Isso evidencia que o mecanismo sulcador haste rompe camadas superficiais compactadas mais limitantes, melhorando as condições no sulco de semeadura para o desenvolvimento da cultura, diminuindo os efeitos negativos do tráfego na produtividade.

Quando comparadas as médias de produtividade de grãos da cultura do milho, considerando apenas os mecanismos sulcadores (Tabela 10) não foram encontradas diferenças significativas. Em trabalho semelhante, testando sulcador tipo haste e disco duplos, Silva (2003) também não encontrou diferenças entre a produtividade média de grãos na cultura de milho. Em contrapartida, Klein & Boller (1995) testando sulcadores tipo haste e disco duplos em solo argiloso, obtiveram maior produtividade de milho na condição de plantio direto utilizando mecanismo sulcador tipo haste.

A produtividade foi extremamente baixo se comparada com a obtido por Sequinato (2010), na mesma área de estudo, onde a média para safra 2008/2009 foi em torno de 11 Mg ha⁻¹ para a cultura do milho. A média do Estado do Rio grande do Sul para a safra 2014/15 foi de 6,6 Mg ha⁻¹ e para o Brasil 4,9 Mg ha⁻¹, segundo dados da CONAB. O principal motivo para a produtividade ter sido abaixo do esperado foi a falta de precipitações pluviométricas regulares durante os períodos mais críticos para a cultura, principalmente os de florescimento e enchimento de grãos nos meses de março e abril (Figura 14).

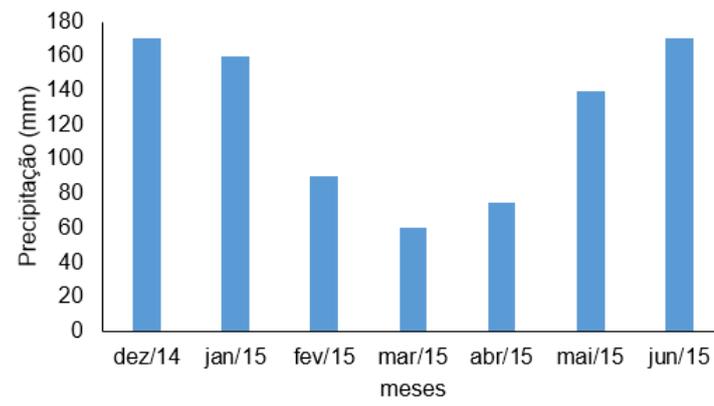


Figura 14. Precipitação pluviométrica para os meses de condução do experimento (Fonte Inmet, 2015).

6. CONCLUSÕES

Não houve diferenças na produtividade de matéria seca entre as culturas de cobertura do solo, bem como as mesmas não influenciaram na dinâmica da temperatura do solo entre os tratamentos.

A utilização de sulcador de adubo do tipo haste resultou em maior profundidade de atuação e isso fez com que o volume de solo mobilizado por área fosse quatro vezes maior do que a obtida com sulcador do tipo discos duplos.

A utilização de sulcador tipo haste ou disco, com ou sem presença de tráfego, não influenciou na dinâmica da temperatura e umidade do solo, sendo que as mesmas apresentaram variação temporal.

Não houve variação na curva de retenção de água no solo para os diferentes tratamentos.

O tráfego teve influência negativa sobre a produtividade da cultura do milho apenas quando utilizado o sulcador tipo disco. Na média entre os tratamentos de tráfego de rodados, a produtividade do milho não foi afetada pela utilização dos sulcadores de adubo haste e discos duplos, inferindo-se que para esse tipo de solo a utilização do sulcador tipo disco duplos é recomendado, visto que, há um menor esforço de tração e assim é possível utilizar semeadora que possua mais linhas de semeadura para uma mesma potência do trator em relação à haste sulcadora.

A utilização de rotação de culturas e manutenção dos restos culturais em superfície, alinhadas as demais práticas conservacionistas preconizadas no SPD mostraram-se satisfatórias ao longo do tempo para a recuperação física do solo da área em estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO AGRÍCOLA SUPERIOR. ABEAS. **Histórico, característica e benefícios do plantio direto**. Brasília, DF: ABEAS; Brasília. DF: Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2005.

ALVARENGA, R. C. et al. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, jan./fev., 2001.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 240 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BELAN, L. L. et al. Dinâmica entre temperaturas do ar e do solo sob duas condições de cobertura. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 11, Supl. 1, p. S147-S154, 2013.

BERGAMASCHI, H. et al. **Clima da Estação Experimental da UFRGS (e região de abrangência)**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 78 p.

BEUTLER, J. F. **Parâmetros de solo e máquinas na semeadura direta de milho e soja em duas coberturas de solo sobre o campo natural**. 2005. 107 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

BEUTLER, A. N. et al. 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.

BRANDELERO, E. M.; ARAUJO, A. G.; RALISCH, R. Mobilização do solo e profundidade de semeadura por diferentes mecanismos para o manejo do sulco de semeadura em uma semeadora direta. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 263-272, Mar./Apr., 2014.

BRASIL. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife: IPEAS, 1973. 431 p. (Boletim Técnico, 30).

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 813-819, 2005a.

CAMPOS, B. C. et al. Avaliação temporal da umidade do solo como consequência do tipo e percentagem de cobertura vegetal. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 459-463, 1994.

CAUDURO, F.A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem**. Porto Alegre – PRONI: IPH-UFRGS, 1986. 216 p.

CEPIK, C. T. C. **Análise do desempenho de uma haste sulcadora de Semeadora-Adubadora, em diferentes teores de água no solo, velocidade e profundidades de trabalho**. 2002. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

CEPIK, C. T. C. **Parâmetros de solo e máquinas em semeadura direta com doses de cobertura e configurações de deposição de fertilizante**. 2006. 104 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

CEPIK, C. T. C. et al. Força de tração e mobilização do solo por hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.5, Campina Grande May 2010.

COLLARES, G. L. et al. Compactação de um latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 933-942, 2008.

CONTE, O. et al. Demanda de tração, mobilização de solo na linha de semeadura e rendimento de soja, em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n.10, p. 1254-1261, 2009.

CONTE, O. **Atributos físicos de solo e demanda de tração em semeadura direta de soja, com diferentes pressões de pastejo em sistema de integração Lavoura-Pecuária**. 2010. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

CONTE, O. **Mobilização, atributos de solo e variabilidade espacial em integração Lavoura-Pecuária**. 2011. 136 f. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CORSINI, P. C.; FERRAUDO, A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 289-298, 1999.

CHANCELLOR, W. J. Soil physical properties. In: CHANCELLOR, W. J. (Coord.). **Advances in soil dynamics**. Saint Joseph: ASAE, 1994. p. 21-254.

DEBIASI, H. **Recuperação física de um argissolo compactado e suas implicações sobre Sistema Solo-Máquina-Planta**. 2008. 263 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

DEBIASI, H. et al. Capacidade de suporte e compressibilidade de um argissolo, influenciadas pelo tráfego e por plantas de cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n. especial, p. 2629-2637, 2008.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, n. 3-4, p. 199-238, 1988.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. X. Manejo do solo com cobertura de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 7, p. 761-773, Jul, 1985.

DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua

modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 175-182, 1996.

DRESCHER, M. S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.5, p. 1713-1722, 2011.

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

EMBRAPA. **Reunião técnica anual do milho, 58.; Reunião Técnica Anual do Sorgo, 41**. Brasília, DF:Embrapa, 2013, 124 p. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/98253/1/livro-indicacoes-milho-sorgo.pdf>>

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; DE LIMA, S. L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38. n. 8, p. 947–953, 2003.

FRANCHINI, J. C. et al. **Contribuição de sistemas de manejo do solo para a produção sustentável da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 12 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 58).

FRANCHINI, J. C. et al. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 52 p. (Embrapa Soja. Documentos, 327).

FREDDI, O. da S. et al. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 627–636, 2007.

FURLANI, C. E. A. **Efeito do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2000. 218 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2000.

FURLANI, C. E. A. et al. Desempenho operacional de uma semeadora-adubadora de precisão, em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 24, n. 2, p. 388-395, 2004.

FURLANI, C. E. A. et al. Temperatura do solo em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 375-380, 2008.

GASPARIM, E. et al. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 107-115, 2005.

GIRARDELLO, V. C. **Atributos físicos do solo e a produtividade de soja e milho em áreas sob tráfego controlado de máquinas agrícolas**. 2014. 137 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Santa Maria, 2014.

GRANT, C. A. et al. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações agrônômicas**, Piracicaba, n. 95, set., 2001.

HEAD, K. H. **Manual of soil laboratory testing**. London: Pentech Press, 1982. 412 p. v. 2.

HILLEL, D. **Introduction to Environmental Soil Physics**. Elsevier Academic Press: Amsterdam, 2004.

JONG VAN LIER, Q. (Org.). **Física do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010.

KAISER, D. R. et al. Temperatura do solo afetada por diferentes estados de compactação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. 14., Cuibá, 2002. **Anais...** Cuibá: [s.n.], 2002. 4 p.

KAMIMURA, K. M. et al. Parâmetros solo-máquina em função de doses de resíduos vegetais e profundidades de deposição de adubo em semeadura

direta. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 431-439, July/Sept., 2009.

KAMIMURA, K. M. **Parâmetros de solo, máquina e planta em função de doses de resíduos vegetais e profundidade de deposição de fertilizantes em semeadura direta**. 2008. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

KLEIN, V. A.; BOLLER, W. Avaliação de diferentes manejos de solo e métodos de de semeadura em área sob sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 395-398, 1995.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n. 2, p. 45-54, 1998.

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

KLEIN, V. A. **Física do solo**. 3. ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2014. 263 p.

LEIJ, F. J.; GHEZZEHEI, T. A.; OR, D. Modeling the dynamics of the soil pore-size distribution. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 64, n. 1-2, p. 61-67, 2002.

LEVIEN, R. **Condições de cobertura e métodos de preparo do solo para implantação da cultura do milho** (*Zea mays* L.). 1999. 305 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 1999.

LEVIEN, R.; GAMERO, C.A.; FURLANI, C.E.A. Temperaturas do solo e do ar durante o desenvolvimento do milho em diferentes condições de manejo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., Canoas, 2005. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2005. 1 CD-ROM.

LEVIEN, R. et al. Semeadura direta de milho com dois tipos de sulcadores de adubo, em nível e no sentido do declive do terreno. **Ciência Rural**, Santa Maria. v. 41, n. 6, p. 996-1002, Jun., 2011.

MULLER, J. **Atributos físicos do solo e produtividade da soja em função de doses de resíduos e tráfego de máquinas em semeadura direta**. 2011. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

NUNES, M. R. et al. Efeito de semeadora com haste sulcadora para ação profunda sem solo manejado com plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 627-638, Mar./Apr., 2014

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres. Ltda., 1981. 425 p.

PALMA, M. A. Z. et al. Efeito da profundidade de trabalho das hastes sulcadoras de uma semeadora-adubadora na patinação, na força de tração e no consumo de combustível de um trator agrícola. **Ciência E Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1320-1326, Sept./Oct., 2010.

PENG, X. H. et al. Mechanisms of soil vulnerability to compaction of homogenized and recompacted Ultisols. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 2, p. 125–137, 2004.

PREVEDELLO, C.L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: C.L. Prevedello, 1996. 446 p.

PRIMAVESI, A. **Agricultura sustentável**. São Paulo: Ed. Nobel, 1992. 142 p.

REIS, E. M. et al. Efeitos da rotação de culturas na incidência de podridões radiciais e na produtividade da soja. **Summa phytopathologica**, Botucatu, v. 40, n. 1, p. 9-15, Jan./Mar., 2014

ROGRIGUES, M. F. et al. Variação da temperatura do solo em diferentes sistemas de manejo e níveis de compactação durante o ciclo do milho. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 7., Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: [s.n.], 2011.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 313-319, 1995.

SCHLOSSER, J. F. et al. Análise comparativa do peso específico de tratores agrícolas fabricados no Brasil e seus efeitos sobre a seleção e uso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 92-97, jan./fev., 2005.

SECCO, D.; REINERT, D. J. Efeitos imediato e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 16, n. 3, p. 52-61, 1997.

SEIDI, E. Effects of Geometry of Disk Openers on Seed Slot Properties. **International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering**, v. 6, n. 12, p. 1056-1060, 2012.

SEQUINATO, L. **Qualidade física do solo e rendimento de grãos num argissolo em processo de recuperação**. 2010. 141 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SEQUINATTO, L. et al. Qualidade de um argissolo submetido a práticas de manejo recuperadoras de sua estrutura física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 344-350, Mar., 2014.

SILVA, P. R. A. **Mecanismos sulcadores de semeadora-adubadora na cultura do milho no sistema de plantio direto**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2003.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variação de temperatura do solo em três sistemas de manejo na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 391-399, 2006.

SIQUEIRA, R. Semeadoras adubadoras para sistema plantio direto com qualidade. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 9., Dourados, 2007. **Anais...** Dourados: [s.n.], 2007. Disponível em: <<http://www.iapar.br/arquivos/File/semeadora-adubadora%20para%20sistema%20de%20plantio%20direto%20com%20qualidade.pdf>>

SPOOR, G.; GODWIN, R. J. An experimental investigation into de deep loosening of soil by rigid tines. **Journal of Agriculture Engineering Reserch**, London, v. 23, n. 3, p. 243-258, 1978.

STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.

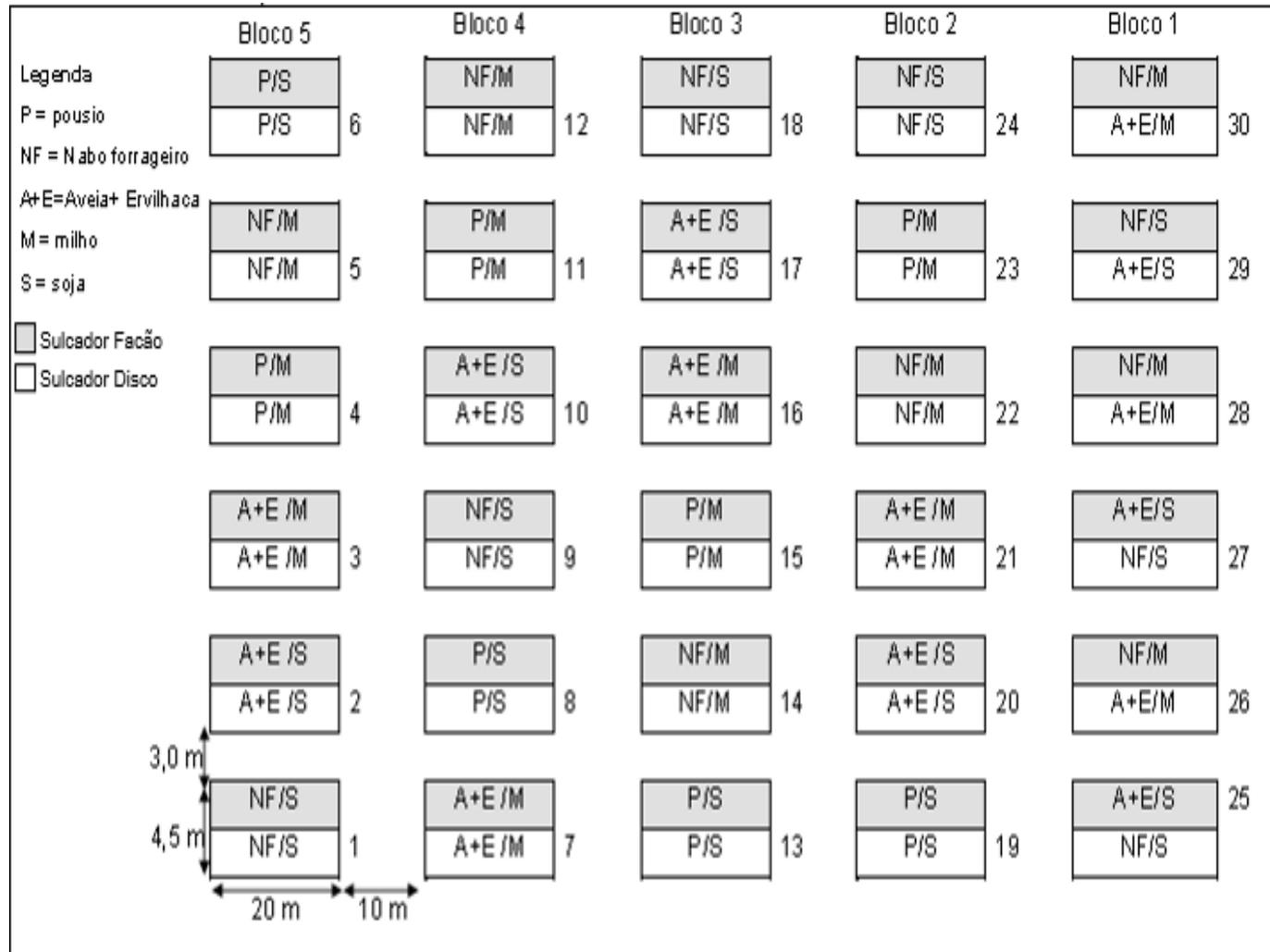
TAVARES-FILHO, J. et al. Efeito da escarificação na condutividade hidráulica saturada de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 996-999, 2006.

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, n. 2, p. 301-309, 1998.

VIDAL, R. A. et al. Palha no sistema de semeadura direta reduz a infestação de gramíneas anuais e aumenta a produtividade da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 3, , p. 373-377, July/Sept., 1998.

8. APÊNDICES

Apêndice 1. Croqui área experimental, safra 2014/2015.



Apêndice 2. Temperatura do solo (°C) pela manhã ao longo do ciclo da cultura em diferentes sistemas de mobilização do solo, condições de tráfego de máquinas e profundidades

Sulcador		Dias após a semeadura					
		15			26		
		Coberturas					
Trafego	A+E	NF	P	A+E	NF	P	
Superfície do solo							
Disco	Sem	28.8 ^{ns}	28.6	28.4	-	-	-
	Com	29.6	28.6	29.8	-	-	-
	Média	29.2	28.6	29.1	-	-	-
Haste	Sem	29.5	30.9	29.3	-	-	-
	Com	29.7	30.7	30.9	-	-	-
	Média	29.6	30.8	30.1	-	-	-
Profundidade 3 cm							
Disco	Sem	29.7	29.9	30.0	24.6	25.3	25.0
	Com	29.6	30.4	29.8	24.5	25.0	24.5
	Média	29.6	30.1	29.9	24.5	25.1	24.7
Haste	Sem	30.2	30.1	30.2	24.8	25.4	24.9
	Com	29.9	30.7	29.8	25.0	25.4	24.6
	Média	30.0	30.4	30.0	24.9	25.4	24.7
Profundidade 7 cm							
Disco	Sem	28.5	28.8	28.9	23.8	24.2	23.9
	Com	28.8	29.2	28.8	23.9	23.9	23.8
	Média	28.6	29.0	28.9	23.8	24.0	23.8
Haste	Sem	28.6	28.9	29.0	24.1	24.3	24.9
	Com	28.6	29.2	28.9	24.0	24.4	23.8
	Média	28.6	29.0	29.0	24.1	24.3	24.4
Profundidade 12 cm							
Disco	Sem	28.3	28.4	28.3	23.6	23.9	23.7
	Com	28.2	28.4	28.2	23.7	23.8	23.5
	Média	28.2	28.4	28.2	23.7	23.8	23.6
Haste	Sem	28.1	28.3	28.5	23.9	24.0	23.8
	Com	28.0	28.4	28.2	23.7	24.0	23.6
	Média	28.1	28.3	28.3	23.8	24.0	23.7
Profundidade 17 cm							
Disco	Sem	28.1	28.1	28.1	23.8	23.9	23.7
	Com	28.1	28.2	28.1	23.6	23.8	23.6
	Média	28.1	28.2	28.1	23.7	23.8	23.7
Haste	Sem	28.0	28.3	28.2	23.9	24.0	23.9
	Com	28.0	28.2	28.1	23.7	23.9	23.7
	Média	28.0	28.2	28.2	23.8	24.0	23.8

^{ns} Não significativo pelo teste de Tukey a $p < 0,05$.

		Dias após a semeadura					
		29			38		
Sulcador	Trafego	Coberturas					
		A+E	NF	P	A+E	NF	P
		Superfície do solo					
Disco	Sem	24.9 ^{ns}	25.2	24.5	24.9	25.2	24.5
	Com	24.5	24.7	24.2	24.5	24.7	24.2
	Média	24.7	24.9	24.4	24.7	24.9	24.4
Haste	Sem	24.1	24.5	24.4	24.1	24.5	24.4
	Com	24.0	24.8	24.2	24.0	24.8	24.2
	Média	24.0	24.6	24.3	24.0	24.6	24.3
		Profundidade 3 cm			Profundidade 3 cm		
Disco	Sem	24.9	25.5	25.2	24.9	25.5	25.2
	Com	24.9	25.2	24.9	24.9	25.2	24.9
	Média	24.9	25.4	25.1	24.9	25.4	25.1
Haste	Sem	25.0	25.3	25.2	25.0	25.3	25.2
	Com	25.0	25.4	25.2	25.0	25.4	25.2
	Média	25.0	25.3	25.2	25.0	25.3	25.2
		Profundidade 7 cm			Profundidade 7 cm		
Disco	Sem	24.7	25.2	24.9	24.7	25.2	24.9
	Com	24.7	25.0	24.8	24.7	25.0	24.8
	Média	24.7	25.1	24.9	24.7	25.1	24.9
Haste	Sem	24.9	25.0	25.0	24.9	25.0	25.0
	Com	24.8	25.0	25.0	24.8	25.0	25.0
	Média	24.8	25.0	25.0	24.8	25.0	25.0
		Profundidade 12 cm			Profundidade 12 cm		
Disco	Sem	24.8	25.1	25.0	24.8	25.1	25.0
	Com	24.7	24.9	24.8	24.7	24.9	24.8
	Média	24.8	25.0	24.9	24.8	25.0	24.9
Haste	Sem	24.9	24.9	24.9	24.9	24.9	24.9
	Com	24.7	24.8	24.9	24.7	24.8	24.9
	Média	24.8	24.9	24.9	24.8	24.9	24.9
		Profundidade 17 cm			Profundidade 17 cm		
Disco	Sem	24.8	25.1	25.1	24.8	25.1	25.1
	Com	24.8	25.0	24.8	24.8	25.0	24.8
	Média	24.8	25.1	24.9	24.9	25.0	24.9
Haste	Sem	24.9	25.0	25.0	24.9	25.0	25.0
	Com	24.8	24.9	24.9	24.8	24.9	24.9
	Média	24.9	25.0	24.9	24.9	25.0	24.9

^{ns} Não significativo pelo teste de Tukey a $p < 0,05$.

		Dias após a semeadura					
		46			68		
Sulcador	Trafego	Coberturas					
		A+E	NF	P	A+E	NF	P
		Superfície do solo					
Disco	Sem	22.7 ^{ns}	25.7	25.7	25.1	26.6	26.7
	Com	23.6	25.8	25.3	24.8	25.9	25.3
	Média	23.2	25.8	25.5	25.0	26.2	26.0
Haste	Sem	24.5	25.3	25.3	25.3	25.8	26.5
	Com	23.9	25.6	25.3	24.8	25.9	25.7
	Média	24.2	25.5	25.3	25.0	25.9	26.1
		Profundidade 3 cm					
Disco	Sem	25.0	25.4	25.3	24.8	25.2	25.3
	Com	24.9	25.2	25.1	25.0	25.1	25.2
	Média	25.0	25.3	25.2	24.9	25.1	25.3
Haste	Sem	25.1	25.4	25.3	25.0	24.9	25.6
	Com	24.8	25.3	25.4	25.1	25.0	25.2
	Média	24.9	25.3	25.3	25.0	25.0	25.4
		Profundidade 7 cm					
Disco	Sem	24.7	25.0	25.0	24.6	25.0	25.0
	Com	24.7	25.0	25.0	24.7	24.8	24.9
	Média	24.7	25.0	25.0	24.6	24.9	24.9
Haste	Sem	24.8	25.1	25.2	24.8	24.8	25.1
	Com	24.7	24.9	25.0	24.6	24.8	24.9
	Média	24.7	25.0	25.1	24.7	24.8	25.0
		Profundidade 12 cm					
Disco	Sem	24.9	25.0	25.0	25.1	25.3	25.3
	Com	24.9	24.8	24.9	24.9	25.1	25.1
	Média	24.9	24.9	24.9	25.0	25.2	25.2
Haste	Sem	24.8	24.7	25.0	24.9	24.9	24.9
	Com	24.7	24.8	24.9	24.8	24.8	25.1
	Média	24.8	24.7	24.9	24.8	24.8	25.0
		Profundidade 17 cm					
Disco	Sem	25.2	25.3	25.1	24.9	25.1	25.2
	Com	24.9	24.9	24.9	24.7	24.9	24.9
	Média	25.1	25.1	25.0	24.8	25.0	25.0
Haste	Sem	24.8	24.9	25.0	24.8	24.7	25.0
	Com	25.0	24.8	24.8	24.7	25.0	24.9
	Média	24.9	24.9	24.9	24.8	24.8	24.9

^{ns} Não significativo pelo teste de Tukey a $p < 0,05$.

Apendice 3. Temperatura do solo (°C) pela tarde ao longo do ciclo da cultura em diferentes sistemas de mobilização do solo, condições de tráfego de máquinas e profundidades

Sulcador		Dias após a semeadura					
		15			26		
		Coberturas					
Trafego	A+E	NF	P	A+E	NF	P	
		Superfície do solo					
Disco	Sem	38.7 ^{ns}	36.9	37.6	27.5	29.8	25.9
	Com	35.1	33.8	35.6	27.2	28.8	26.8
	Média	36.9	35.4	36.6	27.4	29.3	26.3
Haste	Sem	35.2	35.7	36.5	27.0	28.0	27.8
	Com	37.4	35.7	35.7	26.7	28.0	27.0
	Média	36.3	35.7	36.1	26.9	28.0	27.4
		Profundidade 3 cm					
Disco	Sem	33.9	34.4	34.3	27.2	27.9	26.8
	Com	33.3	33.5	34.5	26.8	26.9	27.2
	Média	33.6	33.9	34.4	27.0	27.4	27.0
Haste	Sem	32.9	33.4	34.0	27.0	27.2	28.1
	Com	34.1	34.3	33.7	26.8	27.9	27.7
	Média	33.5	33.8	33.8	26.9	27.6	27.9
		Profundidade 7 cm					
Disco	Sem	32.6	33.0	32.9	26.6	27.1	26.2
	Com	32.3	32.8	33.4	26.3	26.5	26.8
	Média	32.4	32.9	33.1	26.4	26.8	26.5
Haste	Sem	31.8	32.3	32.7	26.2	26.9	26.4
	Com	32.8	33.3	32.7	26.4	27.1	27.0
	Média	32.3	32.8	32.7	26.3	27.0	26.7
		Profundidade 12 cm					
Disco	Sem	31.3	32.1	31.8	26.1	26.7	25.8
	Com	31.3	31.7	32.0	25.8	26.1	26.1
	Média	31.3	31.9	31.9	25.9	26.4	25.9
Haste	Sem	30.9	31.4	31.2	26.0	26.2	26.5
	Com	31.8	31.8	31.5	25.8	26.4	26.2
	Média	31.3	31.6	31.3	25.9	26.3	26.4
		Profundidade 17 cm					
Disco	Sem	30.4	31.1	30.8	25.6	26.2	25.5
	Com	30.5	30.9	31.1	25.5	25.7	25.7
	Média	30.5	31.0	31.0	25.5	25.9	25.6
Haste	Sem	30.0	30.6	30.5	25.6	25.8	25.9
	Com	30.7	30.9	30.4	25.6	25.9	26.2
	Média	30.3	30.7	30.5	25.6	25.8	26.1

^{ns} Não significativo pelo teste de Tukey a $p < 0,05$.

		Dias após a semeadura					
		29			38		
Sulcador	Trafego	Coberturas					
		A+E	NF	P	A+E	NF	P
		Superfície do solo					
Disco	Sem	31.7 ^{ns}	32.7	33.8	28.2	27.2	27.1
	Com	31.3	32.9	32.3	27.0	27.4	26.2
	Média	31.5	32.8	33.0	27.6	27.3	26.6
Haste	Sem	31.4	32.5	33.5	27.2	26.9	26.4
	Com	33.2	32.2	33.3	27.1	26.5	26.0
	Média	32.3	32.4	33.4	27.1	26.7	26.2
		Profundidade 3 cm					
Disco	Sem	31.2	31.5	31.8	27.0	27.1	27.7
	Com	30.1	31.5	31.2	27.2	27.4	27.0
	Média	30.6	31.5	31.5	27.1	27.3	27.3
Haste	Sem	30.8	30.8	30.9	27.2	27.4	27.0
	Com	30.8	31.7	31.3	27.4	27.6	27.0
	Média	30.8	31.2	31.1	27.3	27.5	27.0
		Profundidade 7 cm					
Disco	Sem	30.1	30.5	30.9	26.4	26.7	26.9
	Com	29.5	30.5	30.7	26.7	27.9	26.6
	Média	29.8	30.5	30.8	26.5	27.3	26.7
Haste	Sem	29.7	29.8	30.1	26.6	26.8	26.6
	Com	29.8	30.7	30.2	26.6	27.0	26.7
	Média	29.7	30.2	30.2	26.6	26.9	26.6
		Profundidade 12 cm					
Disco	Sem	29.2	29.7	29.0	26.0	26.4	26.4
	Com	28.8	30.1	30.0	26.3	26.6	26.4
	Média	29.0	29.9	29.5	26.1	26.5	26.4
Haste	Sem	28.7	28.8	29.3	26.3	26.3	26.2
	Com	28.9	30.2	29.9	26.2	26.6	26.3
	Média	28.8	29.5	29.6	26.2	26.4	26.3
		Profundidade 17 cm					
Disco	Sem	28.7	29.1	29.2	25.8	26.2	26.1
	Com	28.2	29.0	29.3	26.0	26.4	26.0
	Média	28.5	29.1	29.3	25.9	26.3	26.0
Haste	Sem	28.1	28.1	28.7	25.9	26.0	26.0
	Com	28.3	29.2	28.9	25.8	26.1	26.0
	Média	28.2	28.6	28.8	25.9	26.1	26.0

^{ns} Não significativo pelo teste de Tukey a $p < 0,05$.

		Dias após a semeadura					
		46			68		
Sulcador	Trafego	Coberturas					
		A+E	NF	P	A+E	NF	P
		Superfície do solo			Superfície do solo		
Disco	Sem	27.6 ^{ns}	26.8	28.0	26.4	26.3	26.1
	Com	26.6	26.9	28.4	26.7	26.0	26.3
	Média	27.1	26.9	28.2	26.5	26.2	26.2
Haste	Sem	25.8	26.9	28.6	26.8	27.1	27.0
	Com	26.1	27.0	28.5	26.6	26.4	26.6
	Média	25.9	26.9	28.6	26.7	26.8	26.8
		Profundidade 3 cm			Profundidade 3 cm		
Disco	Sem	27.6	27.8	27.5	26.3	25.7	25.7
	Com	27.2	27.5	27.6	25.8	25.8	25.8
	Média	27.4	27.7	27.5	26.0	25.7	25.8
Haste	Sem	27.5	27.7	27.7	26.2	26.2	26.3
	Com	26.9	27.4	27.5	26.2	26.1	26.1
	Média	27.2	27.6	27.6	26.2	26.1	26.2
		Profundidade 7 cm			Profundidade 7 cm		
Disco	Sem	27.5	27.1	27.0	25.6	25.6	25.6
	Com	26.7	27.0	27.2	25.5	25.5	25.7
	Média	27.1	27.1	27.1	25.6	25.5	25.6
Haste	Sem	26.8	27.1	27.0	25.8	25.8	26.0
	Com	26.5	26.8	27.0	25.8	25.6	25.8
	Média	26.6	26.9	27.0	25.8	25.7	25.9
		Profundidade 12 cm			Profundidade 12 cm		
Disco	Sem	26.5	26.8	26.6	25.5	25.7	25.6
	Com	26.3	26.8	26.5	25.6	25.5	25.8
	Média	26.4	26.8	26.6	25.5	25.6	25.7
Haste	Sem	26.2	26.4	26.4	25.6	25.4	25.7
	Com	26.1	26.3	26.3	25.5	25.4	25.7
	Média	26.1	26.4	26.3	25.6	25.4	25.7
		Profundidade 17 cm			Profundidade 17 cm		
Disco	Sem	26.1	26.3	26.4	25.4	25.5	25.5
	Com	26.0	26.2	26.3	25.4	25.3	25.6
	Média	26.0	26.3	26.3	25.4	25.4	25.5
Haste	Sem	25.7	26.2	26.1	25.4	25.4	25.6
	Com	25.8	26.1	26.0	25.3	25.3	25.6
	Média	25.8	26.1	26.1	25.3	25.4	25.6

^{ns} Não significativo pelo teste de Tukey a $p < 0,05$.