

HÊNER COELHO

**DEMANDA ENERGÉTICA DE CONJUNTOS MECANIZADOS
EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO PARA
A CULTURA DO MILHO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2011

HÊNER COELHO

**DEMANDA ENERGÉTICA DE CONJUNTOS MECANIZADOS EM
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO PARA A CULTURA
DO MILHO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 1º de setembro de 2011.

Prof. Edney Leandro da Vitória

Prof. Fábio Lúcio Santos

Prof. José Márcio Costa

Prof. Paulo Roberto Cecon
(Co-orientador)

Prof. Haroldo Carlos Fernandes
(Orientador)

DEDICO

A **Deus**.

À minha esposa **Marlúcia da Silva Coelho**,
aos meus filhos **Henrique Coelho** e **Ana Liza Coelho**.

Ofereço aos meus pais: *Heiter* e
Lécia e aos meus irmãos: *Heiter*,
Eliene e *Er*.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade da vida e realização do presente trabalho;

Aos meus pais Heiter Bernardes Coelho e Lécia de Faria Coelho, pelo apoio, e por sempre me incentivar nos estudos;

À minha esposa, Marlúcia, fiel companheira, que não mediu esforços para incentivar, aconselhar e sempre estar ao meu lado nos momentos mais difíceis e também aos meus filhos, Henrique e Ana Liza, que compreenderam a importância desta jornada e que me apoiaram em todos os momentos;

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela oportunidade e disponibilização dos recursos necessários para realizar este Doutorado em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA);

Ao Instituto Federal Minas Gerais – *campus* Bambuí, pelo apoio, empréstimo da maquinaria e laboratórios, utilizados na realização do experimento e pela disponibilização da área experimental, não se esquecendo de agradecer pela liberação de minhas atividades dentro do Instituto, para realizar este trabalho;

À CAPES pela concessão da bolsa de pesquisa;

Ao Professor Haroldo Carlos Fernandes, pela orientação, amizade, conselhos, apoio e incentivos, que tanto contribuíram para minha formação e conclusão deste curso;

Aos professores Daniel Marçal de Queiroz, Mauri Martins Teixeira, Luciano Baião de Oliveira, Paulo Roberto Cecon, Pedro Hurtado Mendoza Borges, Fábio Lúcio Santos, Ricardo Capúcio, Diogo Santos Campos, Paulino da Cunha Leite, pela amizade, pelas sugestões e conhecimentos transmitidos;

Ao professor Rogério Amaro, pela amizade e excelente coordenação do programa DINTER (Doutorado Interinstitucional), que proporcionou a chance de realizar este trabalho;

Ao professor Áureo, Fábio e Gil, pela amizade e liberação da área experimental, bem como alguns insumos utilizados no experimento;

Aos funcionários da UFV, pelos serviços prestados, em especial a Edna (Secretária da Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Agrícola), Graça Freitas (Secretária de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola) e Evandro;

Aos meus amigos professor Pedro Renato Pereira de Barros e Rodrigo Caetano Costa, pela amizade, pelo companheirismo fraterno e pelos grandes momentos de solidariedade e alegrias compartilhados;

Ao meu amigo Anderson Rodrigo Silva, pela amizade, disposição e ajuda neste trabalho;

Aos meus amigos Daniel Mariano Leite, Élcio das Graça Lacerda e Elton da Silva Leite, pela amizade, pela ajuda na instalação do experimento em Bambuí e pelas trocas de conhecimentos que muito nos engrandeceram;

Aos meus colegas e amigos de pós-graduação em Mecanização Agrícola, Wagner, Flávio, Paula, Ronaldo, Marconi, Raphael, Rafael, Robson, Gustavo, Amanda, André, Cleyton, Marcelo (Baiano), Samuel, Eduardo, Gracielly, Geice, Frederico, Marcos, Lorena, Marley e Denis;

Aos colegas e amigos do IFMG que tiveram participação importante no desenvolvimento deste trabalho, João Teixeira Júnior (Juninho), José Heleno, Li Chaves Miranda, Silvia, Ludmila, Alexandre (Sombra), Helvécio, Zé Eucimar (Zezão), Philipe Diamante, Wedson (Branco), Roxinho, Zagalo, Geraldo, Taylor, Gustavo, Fernando e Aline;

A todas as pessoas que, de diferentes formas, colaboraram para elaboração do presente trabalho.

BIOGRAFIA

HÊNER COELHO, filho de Heiter Bernardes Coelho e Lécia de Faria Coelho, nascido em 02 de setembro de 1964 na cidade de Bambuí, Minas Gerais.

Em dezembro de 1981, concluiu o ensino médio no Colégio Estadual João Batista de Carvalho em Bambuí – MG.

Em Agosto de 1982, iniciou o curso de Graduação em Engenharia Mecânica na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC-MG, em Belo Horizonte, MG, concluindo-o em Junho de 1988.

Em março de 1998, ingressou no Programa de Pós-graduação, em nível de Mestrado, em Agronomia pela UNESP – Campus Botucatu-SP, área de concentração em Energia na Agricultura, concluindo-o em dezembro de 1999.

Em agosto de 2009, ingressou no Programa de Pós-graduação, em nível de Doutorado, em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, área de concentração em Mecanização Agrícola, submetendo-se à defesa da tese em 01 de setembro de 2011.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ix
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. A Cultura do Milho.....	4
2.2. Preparo do Solo	5
2.2.1. Preparo Convencional	6
2.2.2. Cultivo Mínimo	7
2.2.3. Plantio Direto	8
2.3. Semeadora-Adubadora	10
2.4. Resistência do Solo à Penetração	11
2.5. Densidade do solo.....	13
2.6. Teor de Água no Solo	14
2.7. Cobertura Vegetal	15
2.9. Parâmetros Operacionais.....	18
2.9.1. Consumo de Combustível	18
2.9.2. Força de Tração	19
2.9.3. Demanda Energética	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1. Área Experimental.....	22
3.2. Delineamento Experimental	23
3.3. Croqui da Área Experimental	25
3.4. Caracterização da Área Experimental.....	26
3.4.1. Composição Química do Solo	26
3.4.2. Análise Granulométrica do Solo	26
3.4.3. Massa da Matéria Seca da Cobertura Vegetal	26
3.4.4. Teor de Água no Solo.....	27
3.4.5. Densidade do Solo	28
3.4.6. Resistência do Solo à Penetração.....	29

3.5. Máquinas e Implementos Agrícolas	30
3.6. Insumos Agrícolas.....	34
3.7. Sistemas de Manejo do Solo.....	35
3.8. Avaliação do Desempenho dos Conjuntos Mecanizados.....	35
3.8.1. Velocidade de Deslocamento	36
3.8.2. Força Requerida pelos Implementos	36
3.8.3. Potência Requerida pelos Implementos	38
3.8.4. Capacidade de Trabalho Teórica.....	38
3.8.5. Consumo Horário de Combustível.....	39
3.8.6. Consumo de Combustível por Área Trabalhada.....	39
3.8.7. Consumo de Combustível por Volume de Solo Mobilizado	40
3.8.8. Demanda Energética	42
3.8.9. Deslizamento das Rodas Motrizes do Trator	42
3.9. Avaliação do Plantio.....	43
3.9.1. Emergência das Plântulas	43
3.9.2. Profundidade de Semeadura.....	44
3.9.3. Produtividade de Massa de Matéria Verde.....	45
3.10. Análise Estatística.....	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1. Caracterização Química e Física da Área Experimental.....	47
4.1.1. Caracterização Química do Solo	47
4.1.2. Granulometria do Solo.....	48
4.1.3. Massa da Matéria Seca da Cobertura Vegetal	48
4.1.4. Teor de Água no solo	48
4.1.5. Densidade do Solo	49
4.1.6. Resistência do Solo à Penetração.....	49
4.2. Desempenho dos Conjuntos Mecanizados	50
4.2.1. Velocidade de Deslocamento	50
4.2.2. Força Requerida pelos Implementos	52
4.2.3. Potência Requerida pelos Implementos	54
4.2.4. Capacidade de Trabalho Teórica.....	56
4.2.5. Consumo de Combustível e Demanda Energética.....	58
4.2.5.1. Consumo Horário de Combustível.....	60
4.2.5.2. Consumo de Combustível por Área Trabalhada.....	62

4.2.5.3.	Consumo de Combustível por Volume de Solo Mobilizado	64
4.2.5.4.	Demanda Energética	66
4.2.6.	Deslizamento das Rodas Motrizes do Trator	69
4.2.6.1.	Deslizamento das Rodas Motrizes do Trator no Preparo Convencional	69
4.2.6.2.	Deslizamento das Rodas Motrizes do Trator no Cultivo Mínimo	74
4.2.6.3.	Deslizamento das Rodas Motrizes do Trator no Plantio Direto.....	78
4.3.	Avaliação do Plantio.....	81
4.3.1.	Profundidade de Semeadura	81
4.3.2.	Emergência das Plântulas	82
4.3.3.	Produtividade de Massa de Matéria Verde	83
5.	CONCLUSÕES	85
6.	REFERÊNCIAS	87

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Vista geral da área experimental, antes da aplicação dos tratamentos..	22
Figura 2 – Disposição dos blocos e tratamentos.	25
Figura 3 – Quadrado de madeira utilizado para determinar a quantidade de massa seca da cobertura vegetal.	27
Figura 4 – Retirada da amostra para determinação da densidade do solo com anel volumétrico.	28
Figura 5 – Vista superior do penetrômetro utilizado.	29
Figura 6 – Trator John Deere 5603.....	30
Figura 7 – Trator URSUS 4-75.	31
Figura 8 – Pulverizador de barras.....	32
Figura 9 – Arado de discos.....	32
Figura 10 – Grade destorroadora-niveladora.	33
Figura 11 – Escarificador de arrasto.	33
Figura 12 – Semeadora-adubadora de arrasto.	34
Figura 13 – Célula de carga e suporte.	37
Figura 14 – Comboio a ser utilizado para a determinação da força demandada para tração dos implementos montados no sistema hidráulico de três pontos.	37
Figura 15 – Vista geral do perfilômetro.	40
Figura 16 – Profundidade de deposição da semente	45
Figura 17 – Resultado da resistência do solo à penetração para caracterização da área.....	49
Figura 18 – Regressão do consumo de combustível por volume de solo mobilizado ($L ha^{-1} m^{-3}$) em função da rotação do motor.....	66

Figura 19 – Média e desvio padrão (barras verticais) das variáveis: Índice de Velocidade de Emergência (IVE) e percentual de Emergência (PE) em cada sistema de preparo do solo (PC: preparo convencional; CM: cultivo mínimo; PD: plantio direto).	82
Quadro 1 – Tratamentos definidos com base nos fatores e níveis avaliados.....	234
Quadro 2 – Especificações técnicas do penetrômetro PNT - 2000	29
Quadro 3 – Especificações técnicas dos tratores	31
Quadro 4 – Resultados de volume de solo mobilizado.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado da análise química do solo, na faixa de 0,00 a 0,20 m de profundidade, antes da instalação do experimento	47
Tabela 2 – Resultado da análise granulométrica do solo da área experimental, na faixa de 0,00 a 0,30 m de profundidade	48
Tabela 3 – Média e desvio padrão da variável Velocidade (km h^{-1}), em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no sistema convencional.....	50
Tabela 4 – Média e desvio padrão das variáveis Velocidade (km h^{-1}), em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no sistema cultivo mínimo.....	51
Tabela 5 – Média e desvio padrão das variáveis Velocidade (km h^{-1}), em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no plantio direto	51
Tabela 6 – Média e desvio padrão da Força de Tração (kN), em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no sistema convencional.....	52
Tabela 7 – Média e desvio padrão das variáveis Força de Tração (kN), em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no cultivo mínimo.....	53
Tabela 8 – Média e desvio padrão das variáveis Força de Tração (kN), em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no plantio direto	54
Tabela 9 – Média e desvio padrão da variável Potência (kW) em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no sistema convencional.....	55
Tabela 10 – Média e desvio padrão da variável Potência (kW), em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no sistema cultivo mínimo ..	55
Tabela 11 – Média e desvio padrão das variáveis Potência (kW), em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no sistema plantio direto.....	55
Tabela 12 – Média e desvio padrão da variável Capacidade de Trabalho Teórica em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no sistema convencional	57
Tabela 13 – Média e desvio padrão da variável Capacidade de Trabalho Teórica, em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no sistema cultivo mínimo	57

Tabela 14 – Média e desvio padrão da variável Capacidade de Trabalho Teórica, em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no sistema plantio direto	57
Tabela 15 – Resumo da análise de variância para as variáveis, Consumo Horário (CH), Consumo de Combustível por Área trabalhada (CCA), Consumo de Combustível por Volume de solo mobilizado (CCV), Demanda Energética (DE), em função do sistema de manejo, da marcha e da rotação	59
Tabela 16 – Valores médios de consumo horário ($L h^{-1}$) para as combinações de sistema de manejo e marcha utilizada	60
Tabela 17 – Valores médios de Consumo Horário ($L h^{-1}$) em cada sistema de manejo por rotação utilizada	61
Tabela 18 – Valores médios de Consumo de Combustível por Área Trabalhada ($L ha^{-1}$), em cada sistema de preparo, PC: Preparo Convencional, CM: Cultivo Mínimo, PD: Plantio Direto	62
Tabela 19 – Valores médios de Consumo de Combustível por Área Trabalhada ($L ha^{-1}$), em função da marcha	63
Tabela 20 – Valores médios de Consumo de Combustível por Volume de Solo Mobilizado ($L ha^{-1} m^{-3}$) em cada combinação de sistema de preparo e marcha utilizada	65
Tabela 21 – Valores médios de consumo de combustível por volume de solo mobilizado ($L ha^{-1} m^{-3}$) em cada combinação de sistema de preparo e rotação utilizada	65
Tabela 22 – Análise de variância de regressão da variável consumo de combustível por volume de solo mobilizado ($L ha^{-1} m^{-3}$) em função da rotação em cada sistema de manejo do solo	66
Tabela 23 – Valores médios de Demanda Energética ($MJ ha^{-1}$) em cada combinação de sistema de preparo e marcha utilizada	67
Tabela 24 – Valores médios de Demanda Energética ($MJ ha^{-1}$) em cada sistema de preparo por rotação utilizada.....	68
Tabela 25 – Análise de variância para deslizamento de cada roda do trator em função da operação, da marcha e rotação de trabalho no preparo convencional	70
Tabela 26 – Valores médios de deslizamento da roda traseira esquerda DRTE (%) em cada operação do preparo convencional, por rotação de trabalho do motor	71

Tabela 27 – Valores médios de deslizamento da roda traseira esquerda DRTE (%) em cada marcha utilizada no preparo convencional, por rotação de trabalho do trator	72
Tabela 28 – Valores médios do deslizamento da roda dianteira direita (DRDD: %) e deslizamento da roda traseira direita (DRTD: %) em cada operação do preparo convencional	73
Tabela 29 – Análise de variância para deslizamento de cada roda do trator em função da operação, da marcha e da rotação de trabalho no cultivo mínimo	75
Tabela 30 – Valores médios de deslizamento da roda dianteira esquerda (DRDE), deslizamento da roda traseira esquerda (DRTE) e deslizamento da roda traseira direita (DRTD) em cada operação do cultivo mínimo, por rotação de trabalho do motor do trator	76
Tabela 31 – Valores médios de deslizamento da roda traseira direita (DRTD: %) em cada marcha utilizada no cultivo mínimo, por rotação de trabalho do motor do trator.....	77
Tabela 32 – Valores médios de deslizamento da roda dianteira direita (DRDD: %) em cada combinação de operação e marcha no cultivo mínimo.....	78
Tabela 33 – Análise de variância para deslizamento de cada roda do trator em função da operação, da marcha e da rotação de trabalho no sistema plantio direto.....	79
Tabela 34 – Valores médios do deslizamento da roda dianteira direita (DRDD: %) em cada operação do sistema plantio direto, por rotação de trabalho do trator.....	80
Tabela 35 – Valores médios de operação para as variáveis deslizamento da roda dianteira esquerda (DRDE: %), deslizamento da roda traseira esquerda (DRTE: %) e deslizamento da roda traseira direita (DRTD: %) no sistema plantio direto	80
Tabela 36 – Média e desvio padrão da profundidade de semeadura (m) em cada combinação de marcha e rotação do motor nos três sistemas de manejo do solo.....	81
Tabela 37 – Média e desvio padrão da produtividade de massa verde do milho (kg ha ⁻¹) em cada combinação de marcha e rotação do motor nos três sistemas de manejo do solo.....	83

RESUMO

COELHO, Hêner, D. Sc. Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2011. **Demanda energética de conjuntos mecanizados em diferentes sistemas de manejo do solo para a cultura do milho.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Co-Orientadores: Diogo Santos Campos, Mauri Martins Teixeira e Paulo Roberto Cecon.

O preparo do solo para implantação de culturas agrícolas é um dos maiores consumidores de energia e de trabalho. Portanto, a escolha de um método de preparo adequado inclui avaliações do consumo de energia e da conservação do meio ambiente. Redução de intensidade no preparo do solo reduz o consumo de combustível, aumenta a proporção de energia, controla a erosão do solo, diminui o tempo e a energia necessários para o preparo. Este trabalho teve como objetivo avaliar a demanda energética de conjuntos mecanizados em diferentes sistemas de preparo do solo na cultura do milho, no município de Bambuí-MG. O experimento foi conduzido a campo na safrinha outonal de 2011, na Fazenda Varginha do Instituto Federal Minas Gerais – *campus* Bambuí em um Latossolo Vermelho Distroférico típico. Em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os sistemas, nas subparcelas as marchas e nas subsubparcelas as rotações, no delineamento em blocos casualizados com três repetições, totalizando 81 unidades experimentais. Os tratamentos foram: (PC) preparo convencional, (CM) cultivo mínimo e (PD) plantio direto, em cada tratamento 3 marchas (A2, A3 e B1), em 3 rotações (1600, 1900 e 2200 rpm). Durante a aplicação dos tratamentos, monitorou-se o tempo de deslocamento, a força de tração, o consumo horário de combustível e o deslizamento dos rodados do trator. Pelos resultados conclui-se que: aumentando a velocidade aumenta a força de tração e a capacidade de trabalho teórica. O escarificador é o implemento que requer maior força de tração. A potência na barra de tração comportou-se conforme a força de tração e a velocidade de deslocamento. O consumo horário de combustível é menor no PD, seguido pelo CM e PC, e aumenta com o aumento da velocidade. O consumo de combustível por área trabalhada é afetado pelos sistemas de preparo, menor para PD seguido do CM e PC, aumentando a velocidade reduz o consumo por área. O consumo de

combustível por volume de solo mobilizado segue o comportamento do consumo por área. A demanda energética é menor no PD nas 3 marchas avaliadas, no PC e CM na marcha A2, aumentando a velocidade a demanda energética aumenta. A sementeira é responsável pelo maior índice de deslizamento, no PC e PD, para CM o maior deslizamento é na escarificação. A maior profundidade de sementeira encontra-se no PC seguido do CM e PD. A produtividade de massa da matéria verde são maiores no PD e menores no PC, o CM fica com valores intermediários.

ABSTRACT

COELHO, Hêner, D. Sc. Universidade Federal de Viçosa, September, 2011. **Energy demands of mechanized sets operating on different systems of tillage**. Advisor: Haroldo Carlos Fernandes. Co-Advisors: Diogo Santos Campos, Mauro Martins Teixeira and Paulo Roberto Cecon.

Soil preparation for deployment of agricultural crops is one of the largest energy and work consuming activities. Therefore, the choice of an appropriate method of tillage includes assessment system for energy and environmental conservation. Reduction in tillage intensity reduces fuel consumption, increases the proportion of power, controls soil erosion, decreases the time and energy necessary for the preparation. This study aimed to evaluate the energy demands of mechanized sets in different tillage systems in corn in Bambuí-MG. The experiment was conducted in the field in the second crop of autumn 2011 at the Federal Institute Minas Gerais – Campus Bambuí Fazenda Varginha in Oxisols Ustox. A plot, subplot system, with the systems in the plots, in the subplots the gears and rotations in a randomized block design with 3 repetitions was used in a total of 81 experimental units. The treatments were: (PC) conventional tillage (CM) and minimum tillage (PD) no tillage, three gears in each treatment (A2, A3 and B1) in three rotations (1600, 1900 and 2200 rpm). During the treatments, time of displacement was monitored, the traction force, the hourly consumption of fuel and tractor slipping. The results concluded that: increasing the speed increases the tensile strength and in theory the work capacity. The Ripper is the implement that requires greater tensile strength. The power at the drawbar behaved according to the tensile strength and moving speed. The hourly consumption of fuel is lower in PD, followed by the CM and PC, and increases with increasing speed. The fuel consumption per area worked is affected by tillage systems, less for PD followed by CM and PC, increasing the speed reduces power consumption by area. Fuel consumption per volume of soil mobilized followed the pattern of consumption per area. Energy demand is lower in PD evaluated in three gears, PC and MC in the gear A2, increasing speed increases the energy demand. Sowing is responsible for the higher rate of skidding on the PC and PD, the

largest landslide for CM is in scarification. The greater depth of seeding is followed by the CM on the PC and PD. The productivity of green mass of matter are higher in PD and less on the PC, the CM is intermediate values.

1. INTRODUÇÃO

O milho é produzido na maior parte do território brasileiro, nas mais distintas regiões e com os mais diferentes sistemas de produção. É uma das culturas mais cultivadas no Brasil, desde a pequena propriedade aos grandes grupos empresariais, que buscam incessantemente altas tecnologias.

O volume de produção tenderá a crescer mais com a elevação da produtividade do que com o aumento da área plantada. Para melhor conhecimento desses sistemas de produção, não há como ignorar a profunda interação que existe entre o homem e o meio ambiente.

A semeadura e a condução de uma lavoura de milho visando obter alta produtividade, além de condições naturais favoráveis, como a melhor época de semeadura, condições de clima e solo propícios ao desenvolvimento da cultura, requer ainda muitas decisões que dependem do produtor. Em geral, essas decisões são baseadas nas recomendações técnicas oriundas das pesquisas. Cada operação tem seu momento apropriado de execução.

Algumas regiões têm adotado o cultivo do milho safrinha como uma atividade econômica ajustada ao sistema de produção, entretanto esse período de semeadura coincide com uma época de baixos índices pluviométricos que podem reduzir a produtividade, principalmente se o déficit hídrico coincidir com a época de florescimento. No entanto, pesquisas têm desenvolvido técnicas e materiais que aumentem a produtividade, colocando esta atividade num patamar rentável.

Na atividade agrícola, a instalação de culturas causa perturbações no equilíbrio natural do solo. O preparo inadequado dos solos induzido pelo uso impróprio de equipamentos tem causado desestruturação e empobrecimento dos mesmos, reduzindo a produtividade das culturas.

Para alcançar melhores resultados, principalmente a longo prazo, é necessário escolher técnicas e sistemas de preparo do solo que melhor se adaptem à área e à cultura a ser utilizada. Dentro das técnicas e sistemas de preparo tem se destacado a redução da mobilização do solo, tais como o cultivo mínimo e o plantio direto que diminuem o consumo de energia e conservam o solo.

Os sistemas conservacionistas caracterizam-se pelo revolvimento mínimo do solo e pela manutenção de cobertura vegetal, o que possibilita adequado teor de água no solo. O plantio direto está sendo promissor na recuperação das propriedades físicas do solo na sua camada superficial.

Além das características de preservação do solo e de oferecer condições para desenvolvimento das plantas, o preparo deve ser eficiente quanto ao requerimento de energia, já que esta operação tem elevada participação percentual nos custos de produção de uma cultura. Assim, os equipamentos utilizados no preparo devem exigir o mínimo de dispêndio energético e apresentar o máximo rendimento nas operações. Essas condições podem ser satisfeitas pela escolha do equipamento, forma de operação, velocidade, rotações do motor, profundidade e largura de trabalho, que otimizem as operações.

O preparo do solo é um processo cuja a demanda energética é afetada em relação a outros processos da atividade agrícola. Portanto, a escolha de um método de preparo adequado inclui avaliações do consumo de energia e da conservação do meio ambiente. Redução de intensidade no preparo do solo reduz o consumo de combustível, aumenta a proporção de energia, controla a erosão, diminui o tempo e a energia, necessários para o preparo do solo.

Parâmetros de energia são significativos indicadores para avaliar e comparar os impactos ambientais das práticas agrícolas e podem ser usados para avaliar a eficiência dos sistemas de produção e fazer comparações entre os sistemas.

Com base no exposto, infere-se que as operações realizadas durante o preparo do solo influenciam as suas propriedades mecânicas, bem como os rendimentos das culturas. O desempenho dos conjuntos mecanizados correspondentes ao sistema adotado varia de acordo com as propriedades e parâmetros operacionais, tais como marcha e rotações no motor, que determinam a velocidade do trator. A escolha da velocidade correta influencia no consumo de combustível, na durabilidade dos pneus, na durabilidade do sistema de transmissão, no rendimento operacional e na qualidade do preparo do solo e plantio. O problema abordado motivou o desenvolvimento deste trabalho que teve como objetivo geral avaliar a demanda energética de conjuntos mecanizados em diferentes sistemas de manejo do solo.

Este trabalho foi desenvolvido com os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar o desempenho dos conjuntos mecanizados, por meio da velocidade de deslocamento, da força de tração, da potência requerida e da capacidade de trabalho;
- Estimar os parâmetros energéticos das operações, determinando o consumo horário de combustível, o consumo de combustível por área trabalhada, o consumo de combustível por volume de solo mobilizado e a demanda energética;
- Determinar o índice de deslizamento dos rodados do trator; e
- Avaliar o plantio, verificando a partir da emergência das plântulas, a profundidade de semeadura e a produtividade de massa verde do milho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A Cultura do Milho

A importância econômica do milho é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vai desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Na realidade, o uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% no mundo. Nos Estados Unidos, cerca de 50% é destinado a esse fim, enquanto que no Brasil varia de 60 a 80%, dependendo da fonte da estimativa e de ano para ano.

Segundo Duarte (2003), a importância do milho não está apenas na produção de uma cultura anual, mas em todo o relacionamento que essa cultura tem na produção agropecuária brasileira, tanto no que diz respeito a fatores econômicos quanto a fatores sociais. Grande parte dos produtores não são altamente tecnificados, não possuem grandes extensões de terras, mas dependem dessa produção para viver. Pela sua versatilidade de uso, pelos desdobramentos de produção animal e pelo aspecto social, o milho é um dos mais importantes produtos do setor agrícola no Brasil.

A estimativa da safra brasileira 2010/11 é de 55,61 milhões de toneladas, 33,87 milhões de toneladas para a primeira safra e 21,84 milhões para a segunda safra ou safrinha. O atual levantamento também confirmou a expansão da área de milho de 13,29 milhões de hectares, apresentando crescimento de 2,3% em relação à safra anterior. Boa parte deste aumento está relacionada com a recuperação da área semeada na região Nordeste (CONAB, 2011).

O milho safrinha é cultivado, no período de outono/inverno, geralmente entre os meses de fevereiro a agosto. Esse cultivo iniciou-se com agricultores do estado do Paraná, no início da década de 1980. Nessa época, a produtividade de grãos era muito baixa e os investimentos em adubação desprezíveis (DUARTE, 2004).

Segundo Broch e Ceccon (2008), o milho safrinha é uma importante espécie para proteção do solo pela quantidade e durabilidade da sua palha, e quando cultivado em consórcio com uma espécie forrageira, juntos proporcionam maior

quantidade de massa e maior percentagem de solo coberto, além de contribuir para a formação de resíduos com diferentes nutrientes. Com a consorciação de culturas é possível produzir grãos de milho e aproveitar a forragem para fornecimento aos animais, durante o período de escassez de pasto.

A produção de grãos e palha e/ou pasto pode ser obtida no consórcio de milho safrinha com braquiárias, e principalmente com a *B. ruziziensis*, pelo seu crescimento inicial rápido, e disponibilidade de palha e/ou pasto após a colheita do milho, além da facilidade de manejo na dessecação para implantação da cultura subsequente (CECCON, 2007).

2.2. Preparo do Solo

Um dos maiores índices de utilização da mecanização agrícola é no preparo do solo, que tem como objetivo otimizar as condições para germinação das sementes e a instalação das culturas.

O preparo do solo pode ser entendido como o conjunto de operações realizadas com equipamentos mecânicos, desenvolvidos para conseguir melhor desenvolvimento das sementes e das plantas cultivadas no solo (SALVADOR, *et al.* 2008).

A escolha do método de preparo e do equipamento a ser utilizado pode auxiliar o controle das perdas de água e solo.

Llanillo *et al.* (2006) fizeram uma revisão que sintetiza os efeitos de três sistemas de manejo de solo (preparo convencional, cultivo mínimo e plantio direto). O plantio direto apresenta vantagens nos níveis de matéria orgânica, na estabilidade de agregados, na compressibilidade e na condutividade hidráulica, mas aumenta a densidade do solo e resistência à penetração. Ainda segundo os autores, o cultivo mínimo à base de escarificação apresenta-se especialmente eficiente na velocidade de infiltração, na condutividade hidráulica e na resistência à penetração, sendo intermediário entre preparo convencional e plantio direto nos demais aspectos. O preparo convencional apresentou os indicadores de qualidade física dos solos,

menos favoráveis, normalmente mais distantes das condições da cobertura vegetal original.

2.2.1. Preparo Convencional

O preparo convencional do solo consiste geralmente na realização de uma aração, seguida de duas gradagens para destorroamento e nivelamento (CARVALHO FILHO, *et al.* 2008).

Mello e Magalhães (1995) avaliaram o desempenho de um arado de três discos, os resultados indicaram que a resistência do solo à penetração não diferiu significativamente nem com a velocidade de deslocamento nem com o ângulo de ataque horizontal dos discos. O consumo de combustível variou com a velocidade, mas não em relação ao ângulo de ataque horizontal dos discos. Os valores médios da resistência específica variaram na faixa de 6,37 a 7,22 N cm⁻², enquanto o consumo médio de combustível por volume de solo mobilizado variou entre 6,17 e 9,05 mL m⁻³, trabalhando a uma profundidade média de 20 cm, e velocidades médias de deslocamento de 2,5 a 6,0 km h⁻¹.

Mello (2004) estudando as alterações físicas do solo em função da velocidade de aração (3,5 km h⁻¹; 4,9 km h⁻¹ e 6,55 km h⁻¹) e do ângulo horizontal dos discos (35°, 43° e 52°) verificou que o diâmetro médio geométrico dos torrões apresentou diferenças significativas em função da velocidade de deslocamento e do ângulo horizontal dos discos. O aumento na velocidade de deslocamento e do ângulo dos discos proporcionou menor diâmetro médio geométrico.

As grades agrícolas constituem uma classe de implementos dos mais utilizados para mobilização do solo em preparo para o plantio. Em cana-de-açúcar, estima-se no Brasil que um milhão de hectares por ano é mobilizado para a reforma de canaviais, com a utilização de grades. Na cultura do milho nove milhões foram plantados sob plantio convencional na safra 2004-2005 (FNP, 2006).

Rodrigues e Gamero (2006) avaliaram a capacidade de campo efetiva em diferentes sistemas manejo do solo, preparo convencional com duas gradagens pesadas e uma gradagem leve; preparo reduzido com escarificador e plantio direto,

obtiveram valores de capacidade de campo efetiva em média de 0,88; 1,71 e 2,44 ha h⁻¹, respectivamente.

Na Determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas convencionais de preparo do solo e semeadura, Silveira et al (2006) observaram valores médios de 66% para o conjunto trator arado de discos, com velocidade de deslocamento de 3,50 km h⁻¹ e largura de trabalho de 0,80m. Para o conjunto trator grade de discos o valor médio foi de 62,12 %, com velocidade variando de 3,80 a 6,50 km h⁻¹, em função do estado do solo (seco, duro e com torrões em grande quantidade) e largura de trabalho de 3,53 m. Para a semeadura, a média da eficiência de campo foi de 49,20 %, com grande variação de velocidade durante a coleta de dados, em decorrência das condições do solo durante a semeadura. Os autores concluíram que as eficiências médias ficaram aquém daquelas citadas na literatura.

2.2.2. Cultivo Mínimo

O cultivo mínimo do solo geralmente composto por uma escarificação, não ocasiona inversão de leiva e tem menor custo de preparo, elevando a rugosidade superficial do solo, tornado-o menos suscetível a erosão e às perdas de água e solo (CARVALHO FILHO, *et al.* 2008).

Machado *et al.* (2005), afirmam que a escarificação proporciona menor desagregação do solo, por não provocar sua inversão, mantendo os resíduos vegetais depositados na superfície do terreno, facilitando assim o controle da erosão, melhorando a infiltração, retenção de água, estrutura e a porosidade do solo.

Rosa (2007) concluiu que a escarificação teve influência direta na resistência ao cisalhamento, tensão de pré-consolidação, coeficiente de compressão e na demanda de esforços, sendo que seu efeito perdurou por mais de dois anos e, após 4 anos não se encontrou mais efeito. Neste experimento o autor avaliou o efeito da escarificação e da compactação nas propriedades mecânicas do solo sob semeadura direta.

Mahl *et al.* (2008) avaliaram a influência da operação de escarificação ao longo do tempo sobre a estrutura de um solo em plantio direto, assim como os seus efeitos sobre a produtividade do milho e a formação de cobertura vegetal. O trabalho foi conduzido em um Nitossolo Vermelho no município de Botucatu (SP).

Os resultados obtidos por estes autores indicaram que, após o período de quatro meses, a escarificação reduziu significativamente a resistência do solo à penetração, até a profundidade de atuação das hastes do escarificador (0,30 m), e, após o período de 18 meses, o efeito da escarificação sobre a resistência do solo à penetração ocorreu apenas na camada superficial do solo (0,05 e 0,10 m). Em área cultivada em sistema plantio direto, o efeito do preparo do solo com escarificador sobre a resistência à penetração tende a desaparecer no período de 1,5 anos. Devido à incorporação de resíduos, a operação de escarificação a 0,30 m de profundidade reduziu em 30% a quantidade de resíduos vegetais na superfície do solo, pelo período de quatro meses.

2.2.3. Plantio Direto

O sistema plantio direto, foi introduzido no Brasil no fim dos anos 60 como um simples método alternativo de preparo do solo. A partir da década de 1980, passou a ser conceituado como um complexo de tecnologias destinado à exploração de sistemas agrícolas produtivos, contemplando mobilização de solo apenas na linha ou cova de semeadura, manutenção permanente da cobertura do solo e diversificação de espécies, via rotação e/ou consorciação de culturas. No início dos anos 2000, foi incorporado a esse complexo tecnológico o processo colher-semear, de relevância para a promoção da estrutura do solo (Denardin *et al.*, 2008).

Na atividade agrícola, a instalação de qualquer cultura causa perturbações no equilíbrio natural do solo. O preparo inadequado dos solos, induzido pelo uso impróprio de equipamentos, tem causado desestruturação e empobrecimento dos mesmos, reduzindo a produtividade das culturas. Para alcançar melhores resultados, principalmente a longo prazo, é necessário escolher técnicas e sistemas de preparo do solo que melhor se adaptem à área e à cultura a ser utilizada. Dentro das

técnicas e sistemas de preparo tem se destacado a redução da mobilização do solo, tais como o preparo reduzido e o plantio direto que diminuem o consumo de energia e conservam o solo (GREGO, 1999).

Os sistemas conservacionistas caracterizam-se pelo revolvimento mínimo do solo e pela manutenção de cobertura morta, o que possibilita retenção de água no solo. De acordo com Alves e Susuki (2004), o plantio direto está sendo promissor na recuperação das propriedades físicas do solo na sua camada superficial. Contudo, a adoção destes sistemas requer a aplicação de agroquímicos para o controle de pragas e doenças, bem como a realização de trabalhos de pesquisa de longa duração para estabelecer critérios sobre as suas vantagens e desvantagens.

O sistema plantio direto é um manejo conservacionista por excelência, mas tem apresentado problemas de compactação, afetando o desenvolvimento e a produtividade das culturas. A escarificação esporádica do solo nessas áreas tem-se apresentado como uma alternativa para minimizar os efeitos negativos do aumento da sua densidade.

Klein *et al.* (2008), avaliaram o plantio direto há 6 anos e plantio direto escarificado em relação à densidade do solo, a porosidade total, a densidade máxima e a relativa do solo e o rendimento de grãos de trigo num Latossolo. Durante todo o ciclo da cultura do trigo, monitorou-se o potencial de água no solo por meio de sensores. A escarificação do solo sob sistema plantio direto diminuiu a densidade do solo, aumentou a porosidade total e alterou a dinâmica da água no solo, proporcionou maior volume de poros livres de água durante todo o ciclo da cultura do trigo e aumentou significativamente o rendimento de grãos em 682 kg ha^{-1} , comprovando o efeito positivo da escarificação do solo.

O plantio direto é o sistema mais usado no cultivo do milho, principalmente nas grandes áreas, e o plantio convencional é usado na abertura de novas áreas e em outras onde as pastagens estavam estabelecidas. Entre os pequenos produtores ainda predomina o sistema convencional, embora seja crescente a adoção do plantio direto (CONAB, 2011).

2.3. Semeadora-Adubadora

Basicamente as semeadoras-adubadoras que existem no mercado nacional possuem dois tipos de sistemas de abertura de sulco: sulcador de disco duplo e do tipo facão. O disco duplo é o mais utilizado pela sua menor mobilização de solo menor requerimento de força e menor embuchamento de palha. Pode-se citar como vantagens dos sulcadores do tipo haste, o rompimento da camada superficial compactada, podendo melhorar o desenvolvimento radicular e vegetativo das culturas; como desvantagem propicia maior demanda energética na operação de semeadura (GERMINO e BENEZ, 2006).

Em um trabalho conduzido por Furlani *et al.* (2007), foi avaliado o desempenho de uma semeadora-adubadora no sistema plantio direto. Os fatores estudados foram três manejos das culturas de cobertura selecionados em função do tamanho de fragmentos da vegetação, triturador de palhas, roçadora e rolos-facas, combinados com três velocidades do conjunto trator-semeadora-adubadora (4,0, 5,0 e 6,0 km h⁻¹). O desempenho da semeadora-adubadora não foi influenciado pelos três manejos na cultura de cobertura vegetal. O aumento da velocidade provocou diminuição da força de tração, sendo o inverso para a capacidade de campo operacional e a potência na barra. O consumo horário de combustível aumentou com a velocidade, enquanto o operacional diminuiu.

Rinaldi (2008) concluiu que a velocidade de operação da semeadora-adubadora e a profundidade de deposição do adubo são alguns dos fatores que interferem no estabelecimento do estande de plantas e, com freqüência, na produtividade da cultura. A distribuição de plântulas no solo, mantendo a uniformidade longitudinal delas, é uma importante característica que visa à otimização da produtividade das culturas.

O desempenho operacional de um conjunto trator-semeadora-adubadora em sistema de plantio direto em função de diferentes velocidades e de rotações no eixo do motor na semeadura do milho, influenciou nos parâmetros operacionais do conjunto mecanizado, a profundidade do sulco foi influenciada pelo aumento na velocidade de operação, a área mobilizada de solo aumentou em 41% com a elevação da velocidade de operação de 3,5 para 7,0 km h⁻¹ e o deslizamento do

rodado-motriz do trator ficou abaixo dos padrões estabelecidos pela norma ASAE (1996), de acordo com Silveira (2008).

Segundo o mesmo autor a elevação da velocidade de 3,5 para 7,0 km h⁻¹ aumentou a capacidade operacional teórica. O requerimento de potência na barra de tração aumentou com o incremento de velocidade. O consumo horário de combustível foi elevado com o aumento da velocidade e da rotação do motor, sendo menor na rotação de 1.500 rpm. O consumo de combustível por área trabalhada diminuiu com o aumento da velocidade e da capacidade operacional.

Em um trabalho conduzido por Cortez *et al.* (2008) foi avaliado o desempenho de um trator agrícola sob dois sistemas de preparo do solo (sistema plantio direto e convencional), juntamente com três velocidades na operação de semeadura da crotalaria, 4, 5 e 7 km h⁻¹.

Neste trabalho foram mensurados: força de tração, potência na barra, capacidade de campo efetiva, consumo de energia, consumo horário de combustível, consumo efetivo, consumo ponderal e consumo específico, como também o deslizamento nos rodados do trator. Os resultados indicaram que não há diferença entre os sistemas de preparo do solo quanto aos parâmetros de desempenho do trator. Quanto à escolha da marcha, as velocidades maiores incrementaram a potência, a capacidade de campo efetiva e o consumo horário, entretanto, diminuíram o tempo efetivo de trabalho por hectare, o consumo efetivo e o consumo específico.

2.4. Resistência do Solo à Penetração

A compactação do solo cultivados com culturas anuais é causada pela movimentação de máquinas, tratores e implementos agrícolas durante o preparo do solo, semeadura, tratamentos culturais, colheita e transporte, podendo ocasionar demora na emergência das plantas, plantas mais baixas que o normal, folhas com coloração não característica, sistema radicular superficial, raízes malformadas, aumento da resistência mecânica ao crescimento radicular, bem como redução na taxa de infiltração da água no solo, na macroporosidade, na aeração, na disponibilidade de

água e nutrientes e conseqüentemente decréscimo na produtividade agrícola (PIFFER e BENEZ, 2005).

Ralisch *et al.* (2008) realizaram um trabalho em Rio Verde, GO, em Latossolo Vermelho-Amarelo, nos seguintes sistemas: plantio direto há 14 anos; plantio direto há oito anos; plantio direto há dois anos; preparo convencional; pastagem e floresta. O plantio convencional apresentou menor resistência à penetração, na profundidade 0-0,10 m, enquanto o plantio direto há dois anos indicou maior resistência à penetração até 0,40 m de profundidade. Abaixo da profundidade de 0,15 m não houve diferença significativa entre os tratamentos preparo convencional, plantio direto há oito anos e plantio direto há 14 anos.

Silva *et al.* (2005a) relataram que os maiores valores da resistência à penetração na subsuperfície de um argissolo vermelho corresponderam ao sistema de semeadura direta, em relação ao preparo convencional. O aumento da taxa de infiltração e a diminuição da evaporação de água, decorrente da manutenção dos resíduos vegetais sobre o solo nos sistemas de preparo reduzido e semeadura direta, contribuem para maior disponibilidade hídrica na fase inicial do estabelecimento das culturas nesses sistemas conservacionistas de manejo em comparação ao preparo convencional.

Por três anos, um experimento foi conduzido por Borges *et al.* (2004), onde avaliaram a compactação de um Gleissolo Háplico submetido ao monocultivo do arroz irrigado em três preparos: convencional, cultivo mínimo e plantio direto. Os resultados indicaram que a maior resistência à penetração, na camada superficial do solo (0,00 a 0,20m) ocorreu no preparo convencional e cultivo mínimo. Nos tratamentos com plantio direto, os resultados de compactação foram semelhantes ao solo mantido sem cultivo. Todos os tratamentos apresentaram aumento da resistência à penetração a partir de 0,40 m de profundidade.

Medeiros *et al.* (2002) realizaram um experimento, em que se manteve uma camada compactada na profundidade de 0,10 a 0,20 m para avaliar o impacto da compactação do solo sobre a distribuição e desenvolvimento radicular da soja (*Glycine max*, L.). Os tratamentos corresponderam a uma faixa de variação de 1000 a 1400 kg m⁻³ na densidade do solo. A avaliação final foi baseada no peso da matéria seca das raízes e da parte aérea da planta, resistência do solo à penetração e interpretação visual. Os resultados mostraram que não houve crescimento radicular na camada do solo com densidade de 1400 kg m⁻³ e resistência do solo à

penetração de 2,4 MPa, porém não se verificou diferenças significativas na produção de matéria seca total de raízes e da parte aérea.

Blainski *et al.* (2008), com o objetivo de quantificar a curva de resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho Distrófico sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. Verificaram que com o uso mais intensivo do solo a resistência à penetração constitui-se numa limitação às plantas para densidade do solo superior a 1750 kg m^{-3} nos solos sob citros e a 1800 kg m^{-3} nos solos sob culturas anuais. A partir destes valores de densidade do solo, mesmo na capacidade de campo, o solo apresenta valores de resistência à penetração maior que 2 MPa, considerados restritivos para o crescimento das raízes das plantas.

2.5. Densidade do solo

A densidade do solo é um importante atributo físico dos solos, por fornecer indicações a respeito do estado de sua conservação, sobretudo em sua influência em propriedades como infiltração e retenção de água no solo, desenvolvimento de raízes, trocas gasosas e suscetibilidade desse solo aos processos erosivos, e também sendo largamente utilizada na avaliação da compactação e/ou adensamento dos solos. A densidade do solo é uma propriedade variável e depende da estrutura e compactação do solo (GUARIZ *et al.* 2009).

Dentre os métodos de determinação da densidade do solo, o de maior utilização e considerado padrão, é o do anel volumétrico, o qual consiste na amostragem de solo com estrutura indeformada num anel (cilindro metálico) de volume conhecido (PIRES *et al.* 2011).

Reinert *et al.* (2008) identificaram o limite crítico de densidade de um Argissolo Vermelho, puderam concluir que o crescimento normal das raízes das plantas de cobertura ocorreu até o limite de densidade de 1750 kg m^{-3} . Entre a faixa de 1750 e 1850 kg m^{-3} , ocorreu restrição, com deformações na morfologia das raízes em grau médio, e, acima de 185 kg m^{-3} , essas deformações foram significativas, com grande engrossamento, desvios no crescimento vertical e concentração na camada mais superficial. Todas as espécies avaliadas podem ser utilizadas em solos com algum grau de compactação, mas quando a densidade for superior a

1850 kg m⁻³, pode ser necessária a mobilização do solo com escarificador e, ou, subsolador para facilitar a penetração das raízes em profundidade.

Reis *et al.* (2006) avaliaram a densidade do solo na região da semente, em sistema plantio direto. Os resultados mostraram que os tratamentos estudados não interferiram significativamente nos valores de índice de velocidade de emergência e densidade mínima. O mecanismo tipo disco duplo proporcionou maiores valores de densidades (média e máxima), bem como menor percentagem de emergência e o uso do elemento compactador de borracha proporcionou menor pressão aplicada sobre a semente, em decorrência da maior área de contato com o solo.

Reichert *et al.* (2009) conduziram um experimento com os seguintes tratamentos estudados: plantio direto há 10 anos, preparo convencional, plantio em solo escarificado recentemente e plantio direto sobre área escarificada há 1 ano. A escarificação reduziu a densidade média do solo e aumentou a porosidade total durante o ciclo do feijoeiro. A maior densidade ocorreu na camada de 0,10 a 0,15 m dos sistemas plantio direto e escarificado há 1 ano, 1660 e 1710 kg m⁻³ respectivamente, mas foram maiores do que no preparo convencional 1550 kg m⁻³ e escarificado recente 1570 kg m⁻³, a menor densidade está associada à mobilização do solo. Os efeitos da escarificação sobre a densidade e a resistência à penetração desapareceram um ano após a escarificação, o que indica a reconsolidação do solo.

2.6. Teor de Água no Solo

A umidade influencia importantes processos no solo e na planta tais como: movimento de água, compactação do solo, aeração do solo e desenvolvimento radicular (TIMM *et al.* 2006).

Reis *et al.* (2006) ao avaliar a densidade do solo na região da semente, em sistema plantio direto, obteve resultados para o teor de água de 220, 280 e 340 g kg⁻¹, que correspondeu a uma resistência do solo à penetração de 2,47; 1,43 e 0,85 MPa, respectivamente.

Blainski *et al.* (2008) com o objetivo de quantificar a curva de resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho Distrófico sob diferentes sistemas de

uso e manejo do solo, concluíram que o conteúdo de água do solo apresentou maior influência sobre a resistência do solo à penetração, principalmente nos solos com estrutura degradada, sendo uma das estratégias para a manutenção da resistência do solo à penetração abaixo do limite restritivo ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

Fernandes e Gamero (2010) estudaram o desempenho das máquinas agrícolas no preparo convencional e reduzido na implantação da cultura do girassol. Encontraram resultados médios para o teor de água de 292 g kg^{-1} em um Nitossolo Vermelho Distroférico típico. Os autores comentam que os valores encontrados estão dentro da faixa de friabilidade que é apropriada para o preparo do solo. No entanto, com relação ao teor de água que permite máxima compactação verificou-se que os valores são comprometedores à estrutura física do solo quando o preparo é realizado nestas condições, pois o teor de água de máxima compactação encontrado para esse solo foi de 290 g kg^{-1} .

Seki (2010) com o objetivo de avaliar a demanda energética nas operações de descompactação do solo e a produtividade das culturas da soja e milho, percebeu em seus resultados que os tratamentos submetidos ao sistema de plantio direto nos dois experimentos avaliados apresentaram os maiores valores do conteúdo de água no solo, destacando-se na camada superficial 0 a 0,10 m. Estes valores podem estar relacionados com a percentagem da cobertura do solo, na qual os tratamentos de plantio direto apresentaram os maiores valores devido a sua mínima mobilização do solo.

2.7. Cobertura Vegetal

Segundo Andreotti *et al.* (2008) para a consolidação e sucesso do sistema plantio direto, é de fundamental importância o estabelecimento de culturas para a produção de palha, em quantidade adequada à cobertura do solo, o que se revela um problema em regiões mais quentes como o cerrado, por causa do acelerado processo de decomposição. Assim, deve-se conhecer a espécie vegetal a ser utilizada no programa de rotação de culturas, quanto à sua produção de matéria

seca e tempo de decomposição, que interferem diretamente na qualidade e quantidade de palha sobre o solo.

Em experimento realizado por Chioderoli (2010), com três espécies de braquiárias (*Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria ruzizienses*) e três modalidades de consórcio das braquiárias com o milho os resultados permitiram concluir que quando o objetivo principal da consorciação for produção de grãos de milho outonal e de soja como cultura de verão é recomendada a utilização da *Brachiaria ruzizienses* e a melhor modalidade de semeadura é na época de adubação de cobertura do milho. A consorciação e seqüência de culturas praticada proporcionaram aumento na macroporosidade do solo e a quantidade de palha produzida foi suficiente para manutenção da estabilidade do sistema plantio direto.

Gabriel Filho *et al.* (2010) avaliaram a capacidade de um trator em desenvolver força de tração ao tracionar uma carga de 25 kN em quatro velocidades de deslocamento e em três condições da superfície do solo: solo mobilizado, solo coberto com os restos da cultura do milho e braquiária e solo firme sem cobertura. Com os resultados obtidos concluíram que as condições da superfície do solo interferiram na capacidade do trator em desenvolver a tração. Na superfície com solo mobilizado, o desempenho do trator foi inferior ao obtido no solo firme e no solo coberto com palha de milho e braquiária. O melhor desempenho do trator foi obtido no solo firme e sem cobertura. Entre as quatro marchas estudadas, a marcha que forneceu velocidade de aproximadamente 6 km h⁻¹ foi a que apresentou o melhor desempenho operacional.

2.8. Índice de Velocidade de Emergência (IVE)

O nível de compressão no leito da semeadura e a profundidade podem interferir na velocidade de emergência das plântulas, conseqüentemente, no estabelecimento inicial de plantas de milho. Prado *et al.* (2001) analisaram a influência da compressão do solo associado com a profundidade de semeadura sobre o índice de velocidade de emergência e a sua relação com o crescimento inicial da cultura do milho.

Os autores observaram que à medida que aumentou o nível de compressão do solo, ocorreu incremento linear no índice de velocidade de emergência (IVE), de modo que uma carga de 15 kgf na roda compactadora refletiu em maior vigor da plântula e que a semeadura do milho, sem compressão do solo, representou o menor IVE. A baixa compressão do solo ao redor da semente interferiu na germinação e no desenvolvimento inicial do milho, que foram mais lentos isto deve ter ocorrido pela reduzida taxa de transmissão de água e nutrientes pela interface solo/semente/raiz.

Os resultados também mostraram que a profundidade de semeadura entre 0,03 e 0,07 m não apresenta restrições ao índice de velocidade de emergência do milho. Os resultados inferem que o índice de velocidade de emergência apresentou, em geral, uma relação positiva com a altura da planta. Esses resultados vêm confirmar o efeito linear da compressão do solo no IVE, que por sua vez levou ao maior crescimento da planta.

Gonçalves (2007) avaliou os efeitos da combinação entre as velocidades de deslocamento e cargas aplicadas pela roda compactadora de uma semeadora-adubadora sobre a emergência das plântulas e o desenvolvimento inicial da cultura do milho em sistema de plantio direto. Observou que a emergência média de plântulas foi de 56% e ocorreu entre seis e doze dias após semeadura. O autor concluiu que, as cargas aplicadas pelas rodas compactadoras e as velocidades de deslocamento utilizadas para a semeadura não influenciaram a emergência e o estabelecimento inicial da cultura do milho.

Estudando os efeitos da combinação entre teores de água do solo e cargas aplicadas pela roda compactadora da semeadora-adubadora sobre a emergência de plântulas de soja, em sistema plantio direto, Modolo *et al.* (2008) relataram que o maior índice de velocidade de emergência (IVE) ocorreu no teor de água igual a 0,33 kg kg⁻¹ e na carga de 86,21 N. A carga máxima de 140 N, aplicada pela roda compactadora sobre a semente, causou encrostamento superficial do solo, retardando a emergência das plântulas.

2.9. Parâmetros Operacionais

2.9.1. Consumo de Combustível

Serrano *et al.* (2007) avaliaram o desempenho de tratores agrícolas e implementos em trabalhos de tração. Analisando os resultados concluíram que há uma diminuição média de 10 a 15% no consumo de combustível pelo trator, na operação de mobilização do solo com grades de discos offset, pela seleção de um regime do motor de 70 a 80% do regime nominal. Os resultados levam os autores a afirmarem que em operações de mobilização do solo, podem ser esperados os seguintes valores para o consumo específico do motor: cerca de 265 g kWh⁻¹ em um regime de aproximadamente 80% do regime nominal e cerca de 300 g kWh⁻¹ em regime nominal.

Em seu experimento, Cortez *et al.* (2008), observaram que o consumo horário de combustível é afetado pela marcha de trabalho do trator, sendo a marcha M1 (menor velocidade) com o menor consumo de combustível devido a baixa potência exigida, assim, quando passou de 4 km h⁻¹ para 5 km h⁻¹ ocorreu aumento de 16% no consumo de combustível.

Segundo estes mesmos autores o consumo específico de combustível foi afetado pelas marchas, sendo a marcha M1 com o maior consumo de combustível, devido ao maior tempo para realizar a operação de semeadura em um hectare. O consumo específico é utilizado para comparação em função da potência consumida, por isso observa-se uma diminuição com a mudança de marcha, em virtude do aumento da potência exigida na barra de tração.

Salvador *et al.* (2009) avaliaram o consumo de combustível em diferentes sistemas de preparo periódico do solo, uma aração com arado de discos; uma aração com arado de discos seguido de gradagem com grade destorroadora-niveladora; uma gradagem com grade aradora; uma gradagem com grade aradora seguida de gradagem com grade destorroadora-niveladora; e uma escarificação com escarificador, todos realizados antes e depois da operação de subsolagem.

Os autores verificaram que o sistema de preparo baseado em escarificação teve menor consumo específico de combustível, quando realizado antes da subsolagem, apresentando valor de $415,1 \text{ g kW h}^{-1}$, e $641,3 \text{ g kW h}^{-1}$ depois da subsolagem. O preparo do solo baseado na aração e gradagem pesada obteve menor consumo de combustível quando realizado antes da subsolagem, apresentando valores de $369,9$ e $420,4 \text{ g kW h}^{-1}$, respectivamente.

2.9.2. Força de Tração

Avaliando a força de tração demandada e o volume de solo mobilizado pela haste sulcadora em uma semeadora-adubadora de plantio direto em diferentes estados de consistência de um Argissolo, Cepik *et al.* (2005) encontraram aumento na demanda de tração com o aumento da profundidade de atuação da haste, sendo que sua magnitude depende do estado de consistência do solo.

Tamayo e Rodríguez B. (2007) realizaram um experimento, com o objetivo de medir a área transversal do solo mobilizado, a profundidade de trabalho, a largura de trabalho, a força de tração e a resistência específica para diferentes implementos de preparo do solo. A partir dos resultados concluiu-se que o teor de água no solo afeta os requerimentos de força de tração, a área de solo mobilizada, a profundidade de trabalho, a largura de trabalho e a resistência específica para os implementos estudados.

2.9.3. Demanda Energética

Além das características de preservação do solo e de oferecer condições para desenvolvimento das plantas, o preparo deve ser eficiente quanto ao requerimento de energia, já que esta operação tem elevada participação percentual nos custos de produção de uma cultura. Assim, os equipamentos utilizados no preparo devem

exigir o mínimo de dispêndio energético e apresentar o máximo rendimento nas operações, condições que podem ser satisfeitas pela escolha do equipamento, operação, velocidade, rotações do motor, profundidade e largura de trabalho, que otimizem as operações (SIQUEIRA, 1999).

É importante conhecer a capacidade da máquina a fim de selecionar a potência e os equipamentos que desempenharão as operações agrícolas em tempo hábil, evitando, dessa forma, custos adicionais com máquinas superdimensionadas, comum nas propriedades agrícolas (GARCIA *et al.* 2005).

Trintin *et al.* (2005) avaliaram a demanda energética solicitada por uma semeadora-adubadora para plantio direto, submetida a três velocidades de deslocamento em Latossolo Vermelho Distrófico. Utilizaram como parâmetro de avaliação a rotação do motor, força de tração média e máxima, patinagem, consumo horário de combustível, potência média e máxima e capacidade operacional. Quando a velocidade de trabalho variou de 4,2 para 6,5 km h⁻¹, aumentou em 54% a capacidade operacional do conjunto trator-semeadora, houve um incremento de 35,9% no consumo de combustível e 52% na demanda de potência média na barra.

Fernandes *et al.* (2007) avaliaram o requerimento energético de um implemento conjugado de preparo do solo modelo RP 2000 (renovador de pastagens) da STARA para diferentes profundidades e velocidades de deslocamento do conjunto trator-implemento. A avaliação foi realizada num solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo. Os resultados mostraram que as variáveis energia requerida por área, área de solo mobilizado, volume de solo mobilizado, energia requerida por volume de solo mobilizado, consumo horário de combustível e consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado foram significativas para a interação entre três velocidades de deslocamento e quatro profundidades de trabalho diferentes.

Fernandes *et al.* (2008) determinaram o custo energético das principais operações agrícolas mecanizadas em quatro métodos de preparo e semeadura do milho. Quantificaram a possível redução utilizando os sistemas de preparo conservacionistas em relação ao sistema convencional, partindo da hipótese de que é possível a economia de energia usando o preparo conservacionista.

Analisando os resultados, os mesmos autores puderam concluir que o sistema que apresentou menor consumo horário de combustível foi o plantio direto, seguido pelo cultivo mínimo e preparo convencional. Os custos energéticos do

sistema de plantio direto foram menores que os do sistema convencional em 52,72%, e o cultivo mínimo foi de 77,52%, possibilitando economizar entre 1216,51 e 578,39 MJ ha⁻¹ respectivamente, o equivalente a 25,45 e 12,10 L de combustível para cada hectare trabalhado.

Avaliando o desempenho de conjuntos mecanizados em função do sistema de preparo do solo e da velocidade de operação, Borges (2008) chegou às seguintes conclusões:

A marcha influenciou a potência na barra de tração e o consumo de combustível por área trabalhada, independentemente do sistema de preparo, e teve efeito sobre o deslizamento nas rodas motrizes, somente nos sistemas cultivo mínimo e semeadura direta.

A rotação no motor influenciou o desempenho dos conjuntos utilizados no sistema convencional e na semeadura direta e com efeito sobre a potência na barra de tração, apenas no sistema cultivo mínimo.

Mentges *et al.* (2010) avaliaram o efeito da compactação nos atributos físico-hídricos do solo e na demanda energética da haste escarificadora, além de avaliar as propriedades físico-hídricas abaixo da profundidade de trabalho da haste. Os autores puderam concluir que a compactação elevou a densidade e a resistência mecânica à penetração do solo, reduziu a porosidade total e a macroporosidade, porém sem causar efeitos significativos na microporosidade. A compactação aumentou a demanda energética da haste escarificadora em 21,64%, o que elevou os valores médios de esforço de tração de 5,33 para 6,35 kN. A escarificação não elevou o estado de compactação do solo abaixo da profundidade de trabalho da haste escarificadora, em solo franco-arenoso.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Neste tópico são apresentados os procedimentos metodológicos que nortearam a realização do estudo: área experimental, delineamento experimental, caracterização da área experimental, máquinas e implementos agrícolas, insumos agrícolas, sistema de manejo do solo, avaliação do desempenho dos conjuntos mecanizados, avaliação do plantio e análise estatística.

3.1. Área Experimental

O experimento foi instalado e conduzido em uma área pertencente ao Instituto Federal de Minas Gerais – *campus* Bambuí, localizado às margens da rodovia Bambuí- Medeiros, km - 05, no município de Bambuí, região Centro-Oeste do Estado de Minas Gerais, no período de 01 de fevereiro a 20 de junho de 2011. Na Figura 1 é apresentada uma vista geral da área.



Figura 1 – Vista geral da área experimental, antes da aplicação dos tratamentos.

A área experimental foi localizada pelas coordenadas geográficas centrais: 20°02'34" S e 46°01'28" O, altitude média de 748 m e declividade média de 6,80%, a aplicação dos tratamentos foi realizada no mesmo sentido de deslocamento, empregando as mesmas condições de trabalho em todas as unidades experimentais.

A região se caracteriza por um clima tropical e temperatura média anual de 22,5°C. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico, textura argilosa, segundo Embrapa (2009).

A área experimental havia permanecido em pastoreio por cinco anos, com predomínio de braquiária (*Brachiaria ruziziensis* e *Brachiaria brizantha*).

Neste trabalho, utilizou-se a combinação de três velocidades de deslocamento do conjunto mecanizado com três diferentes rotações do motor, onde se avaliou os seguintes conjuntos tratorizados: arado de discos, grade destorroadora-niveladora, escarificador, pulverizador e semeadora-adubadora, em três sistemas de manejo do solo, preparo convencional, cultivo mínimo e plantio direto no estabelecimento da cultura do milho.

3.2. Delineamento Experimental

O experimento foi instalado em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os sistemas, nas subparcelas as marchas e nas subsubparcelas as rotações, no delineamento em blocos casualizados com três repetições.

As unidades experimentais foram constituídas com 20,0 m de comprimento e 5,0 m de largura, sendo a área útil de 100 m², demarcando-se 10,0 m entre as mesmas no sentido longitudinal para manobras, tráfego de implementos e estabilização dos conjuntos antes da aquisição dos dados. A área total utilizada para o experimento foi de 21.000 m² (2,1 ha). No Quadro 1 se encontra a descrição dos tratamentos.

Fatores e níveis			Tratamento	
Sistema de Preparo	Marcha de Trabalho	Rotação do Motor	Nº	Identificação
Preparo Convencional (PC)	2ª Reduzida A (A2)	n_{\min} (R1)	T1	$S_1 M_1 R_1$
		n_{int} (R2)	T2	$S_1 M_1 R_2$
		n_{nom} (R3)	T3	$S_1 M_1 R_3$
	3ª Reduzida A (A3)	n_{\min} (R1)	T4	$S_1 M_2 R_1$
		n_{int} (R2)	T5	$S_1 M_2 R_2$
		n_{nom} (R3)	T6	$S_1 M_2 R_3$
	1ª Intermediária B (B1)	n_{\min} (R1)	T7	$S_1 M_3 R_1$
		n_{int} (R2)	T8	$S_1 M_3 R_2$
		n_{nom} (R3)	T9	$S_1 M_3 R_3$
Cultivo Mínimo (CM)	2ª Reduzida A (A2)	n_{\min} (R1)	T10	$S_2 M_1 R_1$
		n_{int} (R2)	T11	$S_2 M_1 R_2$
		n_{nom} (R3)	T12	$S_2 M_1 R_3$
	3ª Reduzida A (A3)	n_{\min} (R1)	T13	$S_2 M_2 R_1$
		n_{int} (R2)	T14	$S_2 M_2 R_2$
		n_{nom} (R3)	T15	$S_2 M_2 R_3$
	1ª Intermediária B (B1)	n_{\min} (R1)	T16	$S_2 M_3 R_1$
		n_{int} (R2)	T17	$S_2 M_3 R_2$
		n_{nom} (R3)	T18	$S_2 M_3 R_3$
Plantio Direto (PD)	2ª Reduzida A (A2)	n_{\min} (R1)	T19	$S_3 M_1 R_1$
		n_{int} (R2)	T20	$S_3 M_1 R_2$
		n_{nom} (R3)	T21	$S_3 M_1 R_3$
	3ª Reduzida A (A3)	n_{\min} (R1)	T22	$S_3 M_2 R_1$
		n_{int} (R2)	T23	$S_3 M_2 R_2$
		n_{nom} (R3)	T24	$S_3 M_2 R_3$
	1ª Intermediária B (B1)	n_{\min} (R1)	T25	$S_3 M_3 R_1$
		n_{int} (R2)	T26	$S_3 M_3 R_2$
		n_{nom} (R3)	T27	$S_3 M_3 R_3$

Quadro 1 – Tratamentos definidos com base nos fatores e níveis avaliados

De acordo com os sistemas de manejo que foram avaliados e os conjuntos mecanizados necessários em cada um, foram definidos os seguintes fatores e

níveis: fator 1 (PC): Sistema com Preparo Convencional; fator 2 (CM): Sistema com Cultivo Mínimo e fator 3 (PD): Sistema com Plantio Direto.

Para verificar a influência da carga do motor no desempenho dos conjuntos mecanizados, em cada fator foram selecionadas três marchas (A2, A3 e B1), as quais foram operadas em três rotações diferentes do motor: rotação máxima próxima da nominal (n_{nom} : 2200 rpm = 230,38 rad s⁻¹), rotação mínima próxima do ponto de torque máximo (n_{min} : 1600 rpm = 167,55 rad s⁻¹) e rotação intermediária dada pela média das duas anteriores (n_{med} : 1900 rpm = 198,97 rad s⁻¹).

3.3. Croqui da Área Experimental

A Figura 2 indica a distribuição dos blocos e tratamentos, acrescentou-se 10,00 m de cada lado nas medidas externas, para efeito de bordadura. Cada parcela foi subdividida em sub-áreas para determinação dos parâmetros estudados.

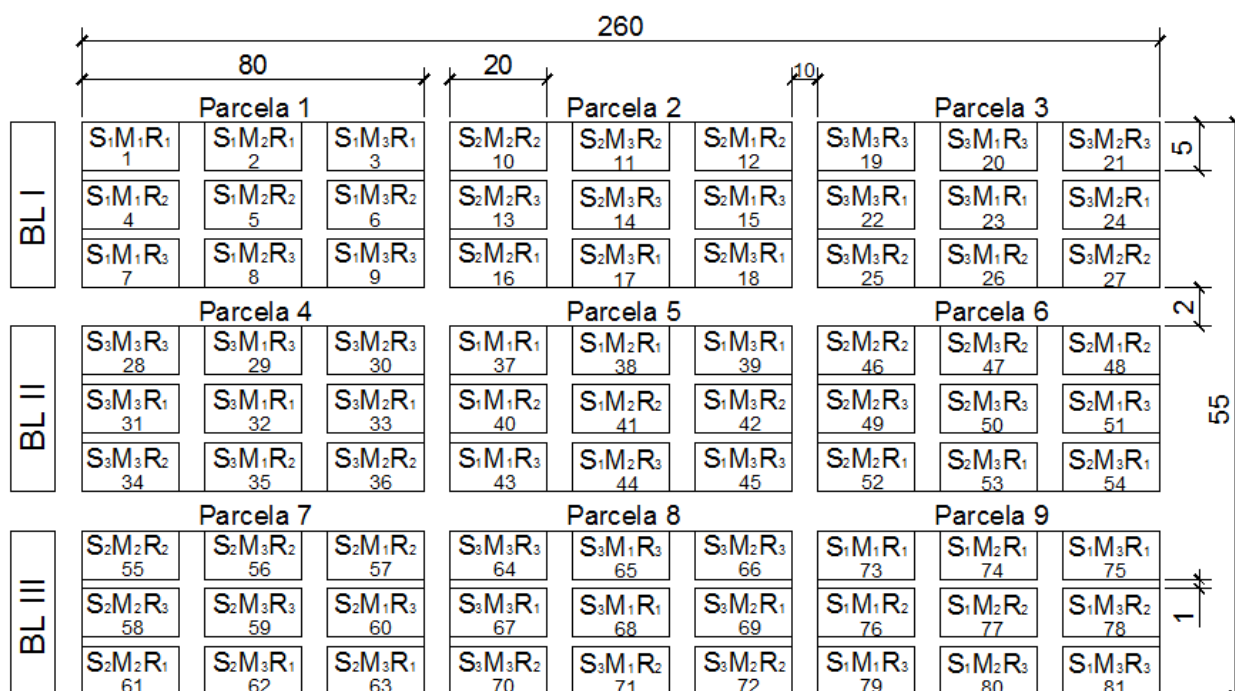


Figura 2 – Disposição dos blocos e tratamentos.

3.4. Caracterização da Área Experimental

3.4.1. Composição Química do Solo

Retirou-se doze amostras de solo da área experimental, na faixa de 0,00 a 0,20 m de profundidade, resultando em uma amostra composta. Utilizou-se o trado tipo holandês para coletas das amostras. As características químicas (análise básica) foram determinadas para caracterização do solo.

As análises da composição química do solo foram realizadas no Laboratório de Análise de Solos do Instituto Federal Minas Gerais – Campus Bambuí, segundo a metodologia descrita por Profert (2005).

3.4.2. Análise Granulométrica do Solo

Foram retiradas doze amostras de solo para determinação da granulometria sendo coletadas em pontos distintos da área do experimento na faixa de 0,00 a 0,30 m de profundidade. A análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Análise de Solos do Instituto Federal Minas Gerais – Campus Bambuí.

3.4.3. Massa da Matéria Seca da Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal na área experimental foi proveniente da palhada de braquiária, que existia para pastagem, dessecada quimicamente com glifosato, na dosagem de $2,5 \text{ L ha}^{-1}$, utilizando o pulverizador de barras, 20 dias antes da aplicação dos tratamentos.

Para a coleta do material, utilizou-se um quadrado de madeira de 0,25 m² (Figura 3), tesoura de poda, sacos de papel e balança de precisão (0,1g). Coletou-se dez amostras aleatórias em toda a área experimental, cortando todo o material existente na área do quadrado de madeira descrito anteriormente, em seguida foram levadas para estufa com circulação forçada de ar por 48 h à temperatura de 65° C, conforme metodologia descrita por Chaila (1986). Após secagem foi obtida a massa seca da cobertura vegetal, calculou-se a média das massas das amostras em (kg ha⁻¹).



Figura 3 – Quadrado de madeira utilizado para determinar a quantidade de massa seca da cobertura vegetal.

3.4.4. Teor de Água no Solo

Na fase inicial do experimento foram coletadas amostras de solo na área experimental, para determinar o teor de água, na faixa de 0,00 a 0,30 m de profundidade. Foram utilizados, enxadão, cápsulas de alumínio, fita adesiva, caixa de isopor, estufa elétrica e balança de precisão (0,01g).

As amostras foram coletadas durante a determinação da resistência do solo à penetração e antes do início da aplicação dos tratamentos. O solo coletado foi

acondicionado em cápsulas de alumínio, que foram vedadas e levadas ao laboratório para pesagem.

O método de determinação utilizado foi o gravimétrico padrão, colocando-se o solo para secagem, até massa constante, em estufa elétrica regulada à temperatura de 105°C, conforme Embrapa (1997) calculou-se a média dos valores encontrados.

3.4.5. Densidade do Solo

Para a coleta das amostras e determinação da densidade do solo, foram utilizados sacos plásticos, balança de precisão (0,01g), estufa elétrica, cilindro de Kopeck, extrator, faca, cápsulas de alumínio, marreta e estufa elétrica.

A densidade do solo foi determinada nas faixas de 0,00 a 0,10 m; 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,30 m de profundidade, em seis pontos por bloco, perfazendo um total de dezoito pontos na área experimental. O método utilizado foi o do anel volumétrico visto na Figura 4, descrito em Embrapa (1997). As amostras foram coletadas e acondicionadas em cápsulas de alumínio, vedadas e levadas ao laboratório. Realizou-se a coleta das amostras antes da aplicação dos tratamentos.



Figura 4 – Retirada da amostra para determinação da densidade do solo com anel volumétrico.

3.4.6. Resistência do Solo à Penetração

A resistência do solo à penetração foi obtida com o penetrômetro eletrônico marca DLG, modelo PNT-2000 (Figura 5), cujas características principais são descritas no Quadro 2.

A coleta dos dados para determinar a resistência do solo à penetração foi feita em vários pontos distintos da área experimental na faixa de 0,00 a 0,50 m de profundidade, com a retirada simultânea de amostras de solo para a determinação do teor de água no solo. O tipo de cone utilizado para coleta de dados foi o do tipo 3 (pequeno) com área da secção da ponteira de 71,25 mm².



Figura 5 – Vista superior do penetrômetro utilizado.

Tipo	Parâmetro
Alimentação	Bateria interna recarregável de 3,6 Vcc
Tipos de cone	De acordo com a norma ASAE S313.3:
	<ul style="list-style-type: none"> – Cone tipo 1 (grande): 323 mm² – Cone tipo 2 (médio): 129 mm² Não normalizado: <ul style="list-style-type: none"> – Cone tipo 3 (pequeno): 71,25 mm²
Prof. máxima de penetração	0,6 m
Medição de força	Célula de carga de cap. máxima de 1000 N
Medição de profundidade	Por meio de sensor ultra-sônico, com precisão de 0,001m
Capacidade de memória	768 ensaios

Quadro 2 – Especificações técnicas do penetrômetro PNT - 2000

3.5. Máquinas e Implementos Agrícolas

Neste trabalho utilizou-se dois tratores agrícolas de pneus, um arado de discos reversível, uma grade destorroadora-niveladora, um escarificador, um pulverizador de barras e uma semeadora-adubadora de plantio direto.

Os implementos de arrasto foram acoplados ao trator marca John Deere (Figura 6).

O segundo trator foi necessário para formar o comboio, que possibilitou a aquisição de dados dos implementos montados no sistema hidráulico de três pontos (arado de discos e pulverizador). Neste caso utilizou-se o trator marca URSUS (Figura 7).

Nesse sistema a célula de carga foi inserida entre os dois tratores, por meio de correntes e pinos ligados à barra de tração do trator de potência e o pára-choque do trator do conjunto mecanizado que foi avaliado.



Figura 6 – Trator John Deere 5603.



Figura 7 – Trator URSUS 4-75.

No Quadro 3 são apresentadas as especificações técnicas dos tratores fornecidas pelos seus fabricantes.

Especificação técnica		Trator e descrição	
		John Deere	URSUS ¹
Modelo		5603	4-75
Tração		4 x 2 (TDA)	4 x 2 (TDA)
Potência nominal (a 2200 rpm)	kW	55,22	55,22
	CV	75	75
Massa (kg)	Sem lastro	2580	2980
	Com lastro	4500	3575

Quadro 3 – Especificações técnicas dos tratores utilizados no experimento.

As aplicações de herbicidas foram realizadas com o pulverizador da marca K.O., modelo KO 600 IH 14x12, o qual possui tanque com capacidade para 600 L, massa de 460 kg e barra de 12 m com 26 bicos (Figura 8).

¹ A citação de marcas e modelos não significa recomendação de seu uso pelos autores e sim, a caracterização das máquinas, implementos e equipamentos utilizados nesta pesquisa.



Figura 8 – Pulverizador de barras.

Nas operações de preparo do solo foi empregado o arado, modelo AR com 3 discos de 0,66 m de diâmetro, com largura de corte de 0,80 a 0,90 m e massa de 506 kg, marca Tatu fabricado pela Marchesan S/A (Figura 9).



Figura 9 – Arado de discos.

A grade destorroadora-niveladora utilizada foi de dupla ação, tipo off-set, modelo GN, com 32 discos de 0,50 m de diâmetro, largura de trabalho de 2,92 m e massa de 895 kg, da marca Tatu fabricado pela Marchesan S.A. (Figura 10).



Figura 10 – Grade destorroadora-niveladora.

Para o cultivo mínimo utilizou-se o escarificador modelo ASA LASER CR-DCR, fabricado pela Stara, com 5 hastes espaçadas de 0,40 m, largura de trabalho de 2,00 m, profundidade máxima de operação de 0,45 m e massa de 1520 kg (Figura 11).



Figura 11 – Escarificador de arrasto.

Para o plantio foi utilizada uma semeadora-adubadora da marca Tatu Marchesan S/A modelo PST-3, de arrasto com 4 linhas espaçadas de 0,85 m e massa de 2260 kg. Os mecanismos distribuidores de sementes são a vácuo, do tipo disco perfurado vertical. A capacidade do depósito de adubo é de 1040 kg e capacidade do depósito de sementes de 160 kg, a máquina é dotada de discos duplos que abrem os sulcos para distribuição de sementes e adubos, com rodas controladoras de profundidade e rodas compactadoras em “V” (Figura 12).



Figura 12 – Semeadora-adubadora de arrasto.

3.6. Insumos Agrícolas

Foram utilizadas sementes de milho híbrido AG1051 com 98% de pureza e 85% de poder germinativo, conforme dados da Empresa Agroceres. A semeadora-adubadora foi regulada para distribuir aproximadamente 70.000 sementes por hectare. Utilizou-se o fertilizante NPK 4-30-10, na dosagem de 400 kg ha⁻¹. Antes da aplicação dos tratamentos foi aplicado o herbicida sistêmico glifosato, para dessecação da cobertura vegetal presente na área, na dosagem de 2,50 L ha⁻¹ e volume de calda de 250 L ha⁻¹.

Para adubação de cobertura foi utilizado o fertilizante NPK 20-0-20, na dosagem de 500 kg ha⁻¹.

Para controle de plantas invasoras, após a emergência das plantas, foi utilizado o herbicida seletivo Primestra Gold[®], na dosagem de 3,5 L ha⁻¹ e volume de calda de 280 L ha⁻¹.

Para controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), foi utilizado o inseticida Pirinex[®] na dosagem de 0,6 L ha⁻¹ e volume de calda de 300 L ha⁻¹ na primeira aplicação e 400 L ha⁻¹ na segunda aplicação.

3.7. Sistemas de Manejo do Solo

Os sistemas de preparo do solo avaliados neste trabalho, de forma geral, possuíram as seguintes características:

- a) Preparo convencional do solo: Mobilização do solo com o arado de discos e em seguida duas passagens com grade de discos destorroadora-niveladora, utilizando-se no plantio a semeadora-adubadora;
- b) Cultivo mínimo: Aplicação de herbicida com dosagem de 2,5 L ha⁻¹ de Glifosato e depois mobilização do solo com o escarificador, realizando-se o plantio com a semeadora-adubadora; e
- c) Plantio direto: Aplicação de herbicida com uma dosagem de 2,5 L ha⁻¹ de Glifosato e depois realização do plantio, utilizando-se a semeadora-adubadora.

3.8. Avaliação do Desempenho dos Conjuntos Mecanizados

Para avaliar o desempenho dos conjuntos mecanizados foram utilizadas as marchas, 1^a reduzida A, 2^a reduzida A e 1^a intermediária B, respectivamente 3,0; 4,2 e 5,0 km h⁻¹ com o motor a 2400 rpm, escalonamento de marchas fornecido pelo fabricante, cada marcha nas rotações de 1600 rpm, rotação de torque máximo, 1900

rpm rotação intermediária e 2200 rpm, rotação de potência máxima, no motor do trator utilizado no experimento, determinando-se as seguintes variáveis:

3.8.1. Velocidade de Deslocamento

A velocidade de deslocamento dos conjuntos mecanizados, na posição de transporte e em operação, foi estimada medindo-se o tempo necessário para percorrer a distância demarcada em cada parcela. Utilizou-se a equação 1 para calcular a velocidade de deslocamento do conjunto.

$$V = \frac{d}{t} \cdot 3,6 \quad (1)$$

em que

V = Velocidade do conjunto (km h^{-1});

d = Distância percorrida pelo conjunto na parcela (m);

t = Tempo necessário para percorrer a distância marcada (s).

3.8.2. Força Requerida pelos Implementos

Para estimar a força de tração requerida nas diferentes operações agrícolas foi utilizada a célula de carga marca SODMEX, modelo N400, com sensibilidade de $2,156 \text{ mV V}^{-1}$ e escala nominal de 0 a 50 kN, conforme visto na Figura 13. Os valores foram lidos em um visor da marca KRATOS. Foram realizadas três leituras durante o percurso de vinte metros.



Figura 13 – Célula de carga e suporte.

Para os implementos montados nos três pontos do sistema de levante hidráulico (arado e pulverizador) formou-se um comboio composto pelo conjunto mecanizado e o segundo trator. Nesse sistema a célula de carga foi inserida entre os dois tratores, por meio de uma corrente e pinos ligados à barra de tração do trator usado para tracionar e o pára-choque do trator do conjunto mecanizado que foi avaliado (Figura 14).

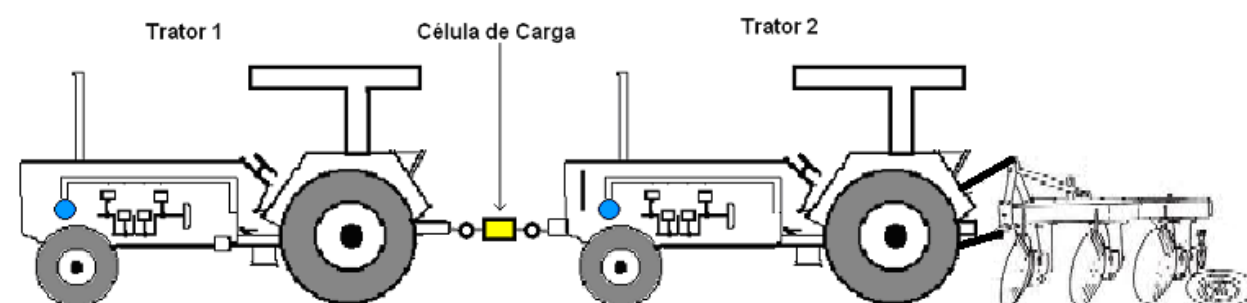


Figura 14 – Comboio a ser utilizado para a determinação da força demandada para tração dos implementos montados no sistema hidráulico de três pontos.

Para os demais implementos (grade, escarificador e semeadora-adubadora), a célula de carga foi inserida entre a barra de tração do trator e o implemento. Aplicou-se a equação 2 para cálculo desta variável.

$$F_T = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n} = 0,00980665 \quad (2)$$

em que

F_T = Força de tração média (kN);

F_i = Força de tração instantânea registrada na célula de carga (kgf); e

N = Número de observações registradas (adimensional).

3.8.3. Potência Requerida pelos Implementos

Conhecendo-se a força requerida para tracionar o implemento e a velocidade de deslocamento do conjunto durante a operação, calculou-se a potência média requerida na barra de tração, por meio da equação 3.

$$P = F V \quad (3)$$

em que

P = Potência requerida para tracionar o implemento (kW);

F = Força de tração média (kN); e

V = Velocidade de deslocamento do conjunto em operação ($m s^{-1}$).

3.8.4. Capacidade de Trabalho Teórica

A capacidade de trabalho teórica foi calculada a partir da velocidade de deslocamento e da largura útil de cada implemento utilizado, conforme equação 4.

$$C_{Tt} = \frac{V L}{10} \quad (4)$$

em que

C_{Tt} = Capacidade de trabalho teórica do conjunto ($ha h^{-1}$);

V = Velocidade de deslocamento do conjunto em operação ($km h^{-1}$); e

L = Largura de trabalho efetiva do implemento (m).

3.8.5. Consumo Horário de Combustível

Para determinar o consumo horário de combustível instalou-se um fluxômetro no sistema de alimentação do trator. Constituído basicamente por um suporte, uma bureta de acrílico graduada e mangueiras condutoras de combustível. Neste sistema foi possível o abastecimento da bureta de acrílico e a leitura do volume de combustível consumido pelos conjuntos em cada unidade experimental e foi registrado em uma planilha, durante o tempo de operação. O consumo de combustível foi calculado pela equação 5.

$$Ch = \frac{Q}{T} \cdot 3,6 \quad (5)$$

em que

Ch = Consumo horário de combustível horário ($L h^{-1}$);

Q = Volume de combustível consumido pelo conjunto na parcela (mL); e

T = Tempo gasto pelo conjunto na parcela durante a operação (s).

3.8.6. Consumo de Combustível por Área Trabalhada

O consumo de combustível por área trabalhada foi calculado utilizando-se a equação 6.

$$CCA = \frac{C_h}{CT_t} \quad (6)$$

em que

CCA = Consumo de combustível por área trabalhada ($L ha^{-1}$);

Ch = Consumo horário de combustível ($L h^{-1}$); e

CTt = Capacidade de trabalho teórica do conjunto ($ha h^{-1}$).

3.8.7. Consumo de Combustível por Volume de Solo Mobilizado

Para determinação da área mobilizada no solo, avaliou-se o perfil da superfície natural do solo e o perfil interno do solo mobilizado, utilizando-se o perfilômetro, constituído basicamente de um quadro de zinco e uma moldura de aço, onde se colocou uma folha de papel milimetrado. O perfilômetro contém régua verticais espaçadas de 0,05 m conforme é mostrado na Figura 15.

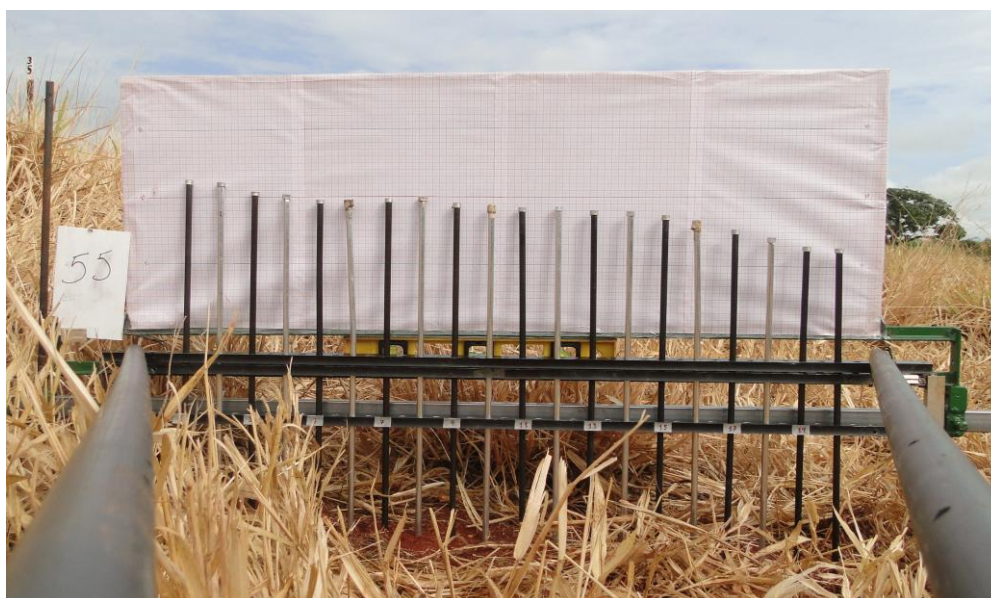


Figura 15 – Vista geral do perfilômetro.

O perfil da superfície natural do solo foi obtido com o perfilômetro colocado transversalmente à linha de preparo antes da operação. O perfil interno do solo mobilizado foi obtido com o perfilômetro após retirar-se o solo mobilizado pela operação de preparo, no mesmo local onde foi obtida a medida anterior, para isto, fixou-se dois piquetes, um em cada lado da parcela, que também serviu de apoio para a base do perfilômetro.

A área mobilizada do solo correspondeu à área compreendida entre o perfil da superfície natural do solo e o perfil interno do solo mobilizado, sendo calculada através da equação 7.

$$A_m = \sum_{i=1}^{i=20} (P_s - P_i) e \quad (7)$$

em que

A_m = Área de solo mobilizada pelo implemento ou máquina (m^2);

P_s = Altura do perfil da superfície natural do solo em cada ponto do perfilômetro (m);

P_i = Altura do perfil da superfície interna do solo em cada ponto do perfilômetro após a mobilização do solo (m); e

e = Espaçamento entre réguas verticais (m).

Conhecendo-se a área de solo mobilizado pode-se calcular o seu volume, por meio da equação 8.

$$V_m = A_m L_p \quad (8)$$

em que

V_m = Volume de solo mobilizado pelo implemento ou máquina (m^3);

A_m = Área de solo mobilizada pelo implemento ou máquina (m^2); e

L_p = Comprimento da unidade experimental (m).

De posse do volume de solo mobilizado na unidade experimental, dividiu-se o resultado pela largura útil do implemento, obtendo desta forma, o volume de solo mobilizado por um metro de largura útil do implemento.

Então, o consumo de combustível por volume de solo mobilizado foi calculado pela equação 9.

$$CCV = \frac{CCA}{V_m} \quad (9)$$

em que

CCV = Consumo de combustível por volume de solo mobilizado ($L\ ha^{-1}\ m^{-3}$);

CCA = Consumo de combustível por área trabalhada ($L\ ha^{-1}$); e

Vm = Volume de solo mobilizado pelo implemento ou máquina (m^3);

3.8.8. Demanda Energética

A demanda energética em operações agrícolas pode ser entendida como a quantidade de energia necessária para a realização das operações de preparo do solo, calculada pela equação 10.

$$DE = \frac{P}{CT_t} \cdot 3,6 \quad (10)$$

em que

DE = Energia requerida por área trabalhada da operação ($MJ\ ha^{-1}$);

P = Potência requerida pelo implemento na barra de tração (kW); e

CTt = Capacidade de trabalho teórica do conjunto ($ha\ h^{-1}$).

3.8.9. Deslizamento das Rodas Motrizes do Trator

Deslizamento das rodas motrizes do trator é a diferença entre a rotação das rodas motrizes com e sem carga. Todas as operações foram realizadas com a TDA (tração dianteira auxiliar) acionada.

O deslizamento das rodas motrizes do trator foi obtido contando-se o número de voltas de cada roda, com o implemento em operação e depois com o implemento sem carga, isto é, fora de operação. Os valores foram anotados em uma planilha.

Assim, o deslizamento foi estimado com base no número de voltas do rodado motriz do conjunto mecanizado na unidade experimental, de acordo com a equação 11.

$$D = \frac{N_1 - N_0}{N_1} \cdot 100 \quad (11)$$

em que

D = Deslizamento das rodas motrizes do trator (%);

N_0 = Número de voltas do rodado motriz do trator sem carga; e

N_1 = Número de voltas do rodado motriz do trator com carga.

3.9. Avaliação do Plantio

3.9.1. Emergência das Plântulas

O índice de velocidade de emergência e o percentual de emergência de plântulas foram determinados nas quatro linhas das unidades experimentais, através da contagem do número de plântulas emergidas em cada linha, numa área de 10,2 m², ou seja, nas quatro linhas de semeadura espaçadas de 0,85 m e comprimento de 3,0 m.

A contagem das plântulas iniciou-se no primeiro dia de emergência, cinco dias após a semeadura. Foi realizada diariamente até que o número de plântulas emergidas se apresentou constante, treze dias após a semeadura. Cada planta foi considerada emergida a partir do instante em que ela rompeu o solo, podendo ser vista de qualquer ângulo. A partir dessas contagens, expressou-se o índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE), utilizando-se a equação 12, adaptada de Maguire (1962).

$$IVE = \frac{E_1}{N_1} + \frac{E_2}{N_2} + \dots + \frac{E_n}{N_n} \quad (12)$$

em que

IVE = índice de velocidade de emergência

E1, E2, En = número de plântulas emergidas, da primeira, segunda até a última contagem; e

N1, N2, Nn = número de dias da semeadura à primeira, segunda até a última contagem.

O percentual de emergência de plântulas foi calculado pela razão entre o número de plântulas emergidas ao final de treze dias e o número de sementes depositadas na semeadura, de acordo com a equação 13.

$$PE = \frac{N_p}{N_s} 100 \quad (13)$$

em que

PE = Percentual de emergência;

Np = Número de plantas emergidas ao final de 13 dias; e

Ns = Número de sementes depositadas na semeadura.

3.9.2. Profundidade de Semeadura

Foi determinada medindo-se o comprimento do epicótilo à semente, em 6 plântulas por unidade experimental, permitindo desta forma que fosse encontrado a profundidade de plantio por sistema de tratamento.

Cortou-se a parte aérea da plântula rente ao solo e com o auxílio de uma espátula, retirou-se a parte na subsuperfície do solo. Com uma régua, mediu-se o comprimento do epicótilo até a semente, o que correspondeu à profundidade de deposição da semente (Figura 16).



Figura 16 – Profundidade de deposição da semente

3.9.3. Produtividade de Massa de Matéria Verde

Aos 117 dias após a emergência, as plantas de milho das duas fileiras centrais de cada parcela, em uma distância de 5 m, foram cortadas a 0,15 m do solo, amarradas em fardos e devidamente identificadas. Por ocasião da colheita, as plantas foram pesadas para a determinação da produtividade de matéria verde.

3.10. Análise Estatística

Os dados das variáveis: Consumo Horário (CH), Consumo de Combustível por Área (CCA), Consumo de Combustível por Volume de solo mobilizado (CCV) e Demanda Energética (DE) foram submetidos à análise de variância e regressão. Para os fatores qualitativos foi utilizado o teste de Tukey adotando-se o nível de 5% de probabilidade. Para o fator quantitativo (rotação) o modelo de regressão foi

escolhido por meio da significância dos coeficientes de regressão pelo teste de “ t ” de Student, no coeficiente de determinação e por meio da interpretação prática do modelo.

O deslizamento em cada roda do trator também foi estudado com os mesmos procedimentos estatísticos das variáveis anteriores, entretanto as análises de variância foram realizadas para cada sistema de preparo do solo separadamente, considerando-se o número e os tipos de operações de cada sistema. Assim, adotou-se o esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas as operações, nas subparcelas as marchas e nas subsubparcelas as rotações, no mesmo delineamento (DBC com 3 repetições).

As variáveis Capacidade de Trabalho teórica (CTt), Força de Tração, Velocidade e Potência foram avaliadas por estatística descritiva, por meio da média e desvio padrão em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor, em cada sistema de manejo do solo.

Avaliou-se ainda o índice de velocidade de emergência (IVE) e o percentual de emergência das plântulas (PE) em cada sistema, pela média e desvio padrão.

Para a realização das análises estatísticas utilizou-se o programa ASSISTAT (SILVA e AZEVEDO, 2002).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico são apresentados e discutidos os resultados obtidos durante a realização do experimento: caracterização química e física da área experimental, desempenho dos conjuntos mecanizados e avaliação do plantio.

4.1. Caracterização Química e Física da Área Experimental

4.1.1. Caracterização Química do Solo

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, não se verificou a necessidade de correção do pH do solo, pois o valor encontrado está na faixa de 5,5 a 6,0 considerado como bom, não prejudicando o desenvolvimento das plantas. A saturação por bases (V), a acidez potencial (H + Al), a soma de bases (SB), o cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}), capacidade de troca de cátions em pH 7 (T), capacidade efetiva de troca de cátions (t) e o fósforo remanescente (P-rem) encontraram-se numa faixa considerada como média. As disponibilidades de fósforo (P), a acidez trocável (Al^{3+}) e a saturação por alumínio (m) situaram-se numa faixa considerada como muito baixa. A disponibilidade de potássio (K) encontrou-se na faixa de muito bom conforme Alvarez *et al.* (1999).

Tabela 1 – Resultado da análise química do solo, na faixa de 0,00 a 0,20 m de profundidade, antes da instalação do experimento

pH	MO	P	H+Al	K	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	SB	(t)	(T)	P-rem	V	m
($\text{H}_2\text{O dag kg}^{-1}$)		(mg dm^{-3})			(cmol _c dm^{-3})						(mg L^{-1})	(%)	
5,80	-	3,2	3,74	134	2,08	0,75	0,00	3,17	3,17	6,91	8,2	45,88	0,00

pH – potencial hidrogeniônico; MO – matéria orgânica; P – fósforo; H + Al – acidez potencial; K – potássio; Ca^{2+} - cálcio trocável; Mg^{2+} - magnésio trocável; Al^{3+} - acidez trocável; SB – soma de bases; t - capacidade efetiva de troca de cátions; T- capacidade de troca de cátions a pH 7; P-rem – fósforo remanescente; V – saturação por bases; m – saturação por alumínio.

4.1.2. Granulometria do Solo

Na Tabela 2 são apresentadas as frações de argila, silte e areia presentes no solo da área experimental. O resultado da análise granulométrica na faixa de 0,00 a 0,30 m de profundidade indicou que o solo é de textura argilosa (EMBRAPA, 1997).

Tabela 2 – Resultado da análise granulométrica do solo da área experimental, na faixa de 0,00 a 0,30 m de profundidade

Partículas	Granulometria Kg kg ⁻¹
Argila	0,440
Silte	0,360
Areia	0,200

4.1.3. Massa da Matéria Seca da Cobertura Vegetal

O valor médio da massa da matéria seca da cobertura vegetal da área experimental foi de 8.340 kg ha⁻¹.

Valores próximos foram encontrados por Nunes *et al.* (2010) quando avaliaram a formação de cobertura vegetal por *Brachiaria brizantha* e *B. decumbens*, onde encontraram em média 8.700 kg ha⁻¹ e 11.200 kg ha⁻¹ respectivamente, de massa seca da cobertura vegetal.

4.1.4. Teor de Água no solo

A média do teor de água da área experimental no dia da aplicação dos tratamentos correspondeu a 26,6 % numa faixa de 0,00 a 0,30 m de profundidade.

4.1.5. Densidade do Solo

Os resultados da densidade média do solo, da área experimental encontrados para as faixas 0,00 a 0,10 m; 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,30 m de profundidade foram, respectivamente de 1120 kg m^{-3} ; 1090 kg m^{-3} e 1050 kg m^{-3} .

Resultados esses que foram próximos aos encontrados por Silveira (2008), com o objetivo de otimizar o desempenho operacional de um conjunto trator- semeadora-adubadora no sistema de plantio direto, em um Latossolo Vermelho Distroférico típico, encontrando valores médios de densidade do solo de 1110 kg m^{-3} , teor de água de 26,0 % e resistência do solo à penetração que variou de 0,00 a 1,50 MPa .

4.1.6. Resistência do Solo à Penetração

Os valores médios para determinação da resistência do solo à penetração, estão descritos na Figura 17, onde se observa que os resultados variaram de 0,0 a 1,49 MPa.

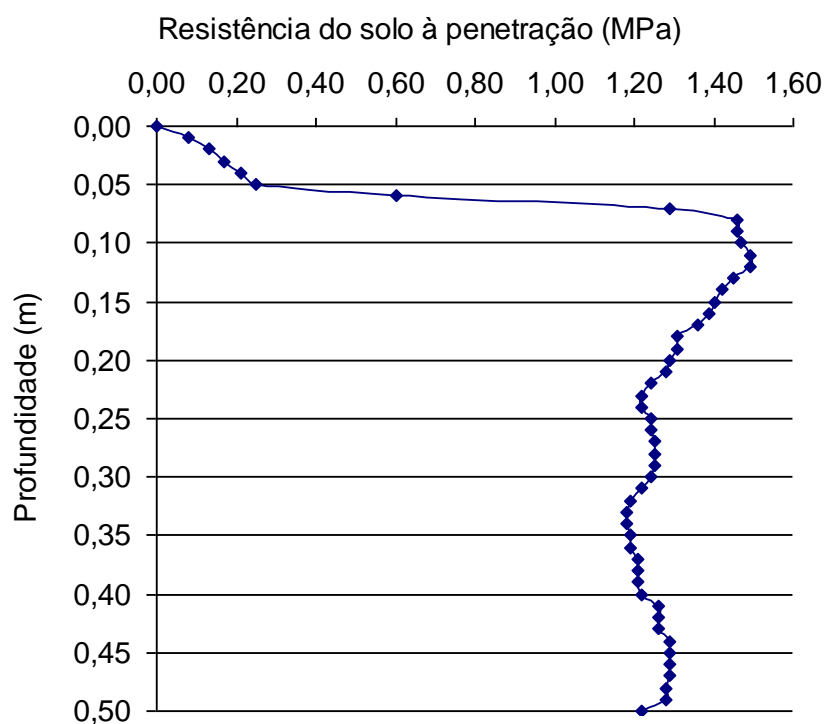


Figura 17– Resultado da resistência do solo à penetração para caracterização da área.

Usando um solo com textura parecida a do presente trabalho, Silva *et al.* (2005b) encontraram valores para resistência do solo à penetração da ordem de 1,5 e 1,6 MPa, na faixa de profundidade de 0,00 a 0,10 m. Os autores comentam que valores mais elevados nessa faixa, não oferecem resistência significativa ao desenvolvimento radicular com efeito restritivo para o aumento da produtividade.

Gonçalves (2007) ao avaliar os efeitos da combinação entre as velocidades de deslocamento e cargas aplicadas pela roda compactadora de uma semeadora-adubadora sobre a emergência das plântulas e o desenvolvimento inicial da cultura do milho em sistema plantio direto, encontrou resultados na camada de 0,00 a 0,16 m de profundidade variando de 0 a 0,67 MPa. Os maiores valores foram obtidos na camada de 0,35 a 0,40 m de profundidade, atingindo 1,67 MPa.

4.2. Desempenho dos Conjuntos Mecanizados

4.2.1. Velocidade de Deslocamento

As médias e os desvios padrão para velocidade estão apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5. Observa-se que os valores reais de velocidade estão abaixo dos valores do escalonamento de marchas informado pelo fabricante, para a marcha A2: 3 km h⁻¹, A3: 4,2 km h⁻¹ e B1: 5 km h⁻¹, porém à rotação de 2400 rpm e livre de tração.

Tabela 3 – Média e desvio padrão da variável Velocidade (km h⁻¹), em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no sistema convencional

Op.	Marcha	Rot.	Velocidade										
			Média	Desvio	Op.	Média	Desvio	Op.	Média	Desvio	Op.	Média	Desvio
Aração	A2	1600	1,96	0,08	1 ^a gradagem	1,98	0,02	2 ^a gradagem	2,05	0,02	Semeadura	1,92	0,01
		1900	2,38	0,01		2,24	0,01		2,44	0,04		2,24	0,02
		2200	2,64	0,09		2,65	0,07		2,70	0,01		2,48	0,01
	A3	1600	2,63	0,08		2,58	0,06		2,78	0,12		2,52	0,02
		1900	3,14	0,06		2,74	0,38		3,32	0,01		3,01	0,01
		2200	3,78	0,41		3,64	0,14		3,69	0,09		3,49	0,10
	B1	1600	3,11	0,04	3,08	0,06	3,16	0,05	2,96	0,02			
		1900	3,75	0,05	3,73	0,02	3,83	0,10	3,57	0,05			
		2200	4,28	0,15	4,28	0,02	4,60	0,11	3,74	0,06			

Tabela 4 – Média e desvio padrão das variáveis Velocidade (km h^{-1}), em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no sistema cultivo mínimo

Op.	Marcha	Rot.	Velocidade			Op.	Média	Desvio	Op.	Média	Desvio
			Média	Desvio	Op.						
Escarificação	A2	1600	1,73	0,07	Pulverização	2,22	0,02	Semeadura	1,94	0,09	
		1900	2,36	0,17		2,31	0,4		2,23	0,02	
		2200	2,43	0,22		2,57	0,4		2,53	0,03	
	A3	1600	2,50	0,30		2,44	0,02		2,60	0,23	
		1900	2,80	0,12		2,77	0,06		2,92	0,09	
		2200	3,18	0,53		4,13	0,41		3,41	0,19	
	B1	1600	2,58	0,14		3,53	0,04		3,02	0,16	
		1900	3,43	0,18		4,12	0,06		3,57	0,05	
		2200	3,44	0,59		4,42	0,52		3,99	0,13	

Tabela 5 – Média e desvio padrão das variáveis Velocidade (km h^{-1}), em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no plantio direto

Op.	Marcha	Rot.	Velocidade			Op.	Média	Desvio
			Média	Desvio	Op.			
Pulverização	A2	1600	2,09	0,02	Semeadura	2,00	0,17	
		1900	2,20	0,02		2,21	0,01	
		2200	2,80	0,03		2,49	0,02	
	A3	1600	2,42	0,02		2,72	0,33	
		1900	2,73	0,03		2,81	0,08	
		2200	3,85	0,05		3,37	0,12	
	B1	1600	3,51	0,05		3,11	0,11	
		1900	4,04	0,07		3,49	0,06	
		2200	4,68	0,12		3,58	0,33	

Assim como neste trabalho, Gabriel Filho et al. (2010) constataram uma redução dos valores médios de velocidade obtidos com o trator, tracionando uma carga de 25 kN em relação aos valores apresentados no painel do trator, ao avaliarem a capacidade do trator em desenvolver força de tração ao tracionar uma carga de 25 kN em quatro velocidades de deslocamento e em três condições de superfície do solo.

4.2.2. Força Requerida pelos Implementos

Os resultados para força de tração no sistema convencional estão apresentados na Tabela 6, onde se verificam maiores valores para a operação de semeadura. Isto pode ter ocorrido devido à massa da semeadora-adubadora que trabalhou com carga máxima, isto é, com depósito de adubo cheio, que equivale a 1040 kg, bem como os depósitos de sementes com 160 kg além de sua massa de 2260 kg.

Tabela 6 – Média e desvio padrão da Força de Tração (kN), em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no sistema convencional

Op.	Marcha	Rot.	Força Tração										
			Média	Desvio	Op.	Média	Desvio	Op.	Média	Desvio	Op.	Média	Desvio
Aração	A2	1600	10,75	1,17	1ª gradagem	6,77	0,08	2ª gradagem	6,22	0,36	Semeadura	15,82	0,07
		1900	10,88	0,66		7,03	0,26		6,42	0,17		15,80	0,40
		2200	13,24	0,74		7,40	0,49		6,92	0,28		15,68	0,60
	A3	1600	11,98	0,89	1ª gradagem	7,36	0,17	2ª gradagem	6,75	0,10	Semeadura	16,25	0,20
		1900	11,99	1,25		6,97	0,09		6,68	0,12		15,72	0,28
		2200	14,77	1,29		7,95	0,42		7,33	0,04		15,83	0,63
	B1	1600	13,49	0,80	1ª gradagem	8,32	0,55	2ª gradagem	7,96	1,19	Semeadura	16,45	0,20
		1900	13,39	2,30		7,49	0,34		7,24	0,10		15,92	0,32
		2200	14,93	1,46		8,33	0,11		7,80	0,28		16,27	0,19

Cortez *et al.* (2008) avaliaram o desempenho de um trator agrícola em diferentes sistemas de manejo do solo e obtiveram 16,2 kN de força de tração para a semeadura sobre preparo convencional, resultado esse semelhante ao observado neste experimento.

Observa-se também que a força de tração tem ligação direta com a velocidade, assim com o aumento desta, aumentou-se também a força de tração. Concordando com Mahl (2006), que analisando os dados de sua pesquisa, percebeu que o aumento da velocidade de deslocamento interferiu de forma significativa na variável de demanda de força de tração, quando avaliou os desempenhos operacional e energético de uma semeadora-adubadora de plantio direto em dois tipos de solo com distintas vegetações e com diferentes velocidades de semeadura, elementos de corte e sulcadores.

Os resultados para força de tração no sistema cultivo mínimo, estão apresentados na Tabela 7, onde se verificam maiores valores para a operação de escarificação, devido à profundidade de trabalho 0,30 m, considerada limite para a operação de escarificação, em um solo argiloso compactado e relativamente seco.

Tabela 7 – Média e desvio padrão das variáveis Força de Tração (kN), em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no cultivo mínimo

Op.	Marcha	Rot.	Força Tração							
			Média	Desvio	Op.	Média	Desvio	Op.	Média	Desvio
Escarificação	A2	1600	21,47	1,27	Pulverização	0,13	0,02	Semeadura	17,57	0,12
		1900	19,94	1,90		0,12	0,02		17,46	0,21
		2200	21,58	3,40		0,10	0,03		17,84	0,25
	A3	1600	22,36	2,24		0,15	0,04		18,18	0,05
		1900	22,41	0,78		0,09	0,01		18,21	0,10
		2200	22,79	2,89		0,13	0,01		18,08	0,13
	B1	1600	27,01	1,38		0,32	0,09		18,67	0,20
		1900	24,10	0,94		0,19	0,04		18,63	0,07
		2200	26,07	2,89		0,22	0,05		18,91	0,48

Concordando com este trabalho, Fernandes e Gamero (2010) concluíram que o escarificador foi o equipamento de preparo que exigiu do trator maior força média de tração, potência média de tração e patinagem, conseqüentemente, promoveu menor velocidade média de trabalho.

Corroborando com os resultados do presente trabalho, Mentges *et al.* (2010) avaliaram o efeito da compactação nos atributos físico-hídricos do solo, obtendo resultados de resistência à compactação de 1,5 MPa a 0,13 m de profundidade, no tratamento de compactação adicional e no plantio direto 1,4 MPa. O esforço de tração exigido pela haste escarificadora sofreu influência da compactação induzida e apresentou um incremento de 21,64%, em comparação à demanda no solo sob plantio direto. O valor da resistência à penetração é semelhante ao do presente trabalho que alcançou 1,49 MPa a 0,12 m de profundidade.

Valores próximos destes resultados também foram encontrados por Santos (2010), ao avaliar o comportamento da cultura da melancia sob o ponto de vista de produção em diferentes sistemas de preparo do solo em um Argissolo Vermelho Distrófico arênico. O autor obteve um resultado da ordem de 23,30 kN na barra de tração do trator, para um escarificador de três hastes e 25,73 kN para um escarificador de cinco hastes, a uma profundidade média de trabalho de 0,25 m.

Os resultados para força de tração no sistema plantio direto estão apresentados na Tabela 8, onde se verifica maiores valores para a operação de semeadura. A operação de pulverização foi feita com pulverizador montado nos três pontos do sistema hidráulico, o que provocou uma força de tração baixa.

Tabela 8 – Média e desvio padrão das variáveis Força de Tração (kN), em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no plantio direto

Op.	Marcha	Rot.	Força Tração					
			Média	Desvio	Op.	Média	Desvio	
Pulverização	A2	1600	0,28	0,07	Semeadura	18,74	1,08	
		1900	0,13	0,06		19,98	0,67	
		2200	0,18	0,02		19,26	0,61	
		A3	1600	0,11		0,01	18,36	0,93
			1900	0,15		0,06	18,71	1,24
			2200	0,11		0,03	18,38	1,41
	B1	1600	0,08	0,03		19,46	1,08	
		1900	0,26	0,10		20,14	0,44	
		2200	0,11	0,05		19,56	0,86	

Pavan Júnior (2006) também encontrou valores semelhantes, da ordem de 19,60 kN, quando avaliou o desempenho de uma semeadora-adubadora para sistema plantio direto. Furlani *et al.* (2007) também encontraram valores similares.

Cortez *et al.* (2008) obtiveram resultado de força na barra de tração de 17,4 kN para a semeadura sobre plantio direto, ao avaliar o desempenho de um trator agrícola sob dois sistemas de preparo do solo (plantio direto e convencional), resultado semelhante aos encontrados neste trabalho.

Chioderoli *et al.* (2010) encontraram valores médios para força de tração um pouco mais baixos dos encontrados neste trabalho, em torno de 16 kN, ao analisarem o desempenho operacional de uma semeadora-adubadora equipada com quatro fileiras de plantio.

4.2.3. Potência Requerida pelos Implementos

A média dos resultados para potência na barra de tração do trator, estão expostos nas Tabelas 9, 10 e 11. Como a potência é função direta da força de tração e da velocidade de deslocamento, percebe-se pelos resultados que a potência teve comportamento diretamente proporcional a essas variáveis.

Tabela 9 – Média e desvio padrão da variável Potência (kW) em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no sistema convencional

Op.	Marcha	Rot.	Potência										
			Média	Desvio	Op.	Média	Desvio	Op.	Média	Desvio	Op.	Média	Desvio
Aração	A2	1600	5,84	0,47	1ª gradagem	3,72	0,04	2ª gradagem	3,54	0,18	Semeadura	8,43	0,02
		1900	7,17	0,45		4,37	0,15		4,36	0,05		9,81	0,33
		2200	9,69	0,35		5,46	0,49		5,19	0,21		10,80	0,41
	A3	1600	8,75	0,43		5,27	0,23		5,21	0,30		11,39	0,12
		1900	10,46	1,26		5,30	0,66		6,16	0,11		13,16	0,23
		2200	15,61	3,01		8,02	0,20		7,51	0,20		15,35	0,85
	B1	1600	11,65	0,53		7,10	0,37		6,99	0,95		13,54	0,15
		1900	13,95	2,42		7,75	0,32		7,72	0,11		15,78	0,51
		2200	17,71	1,09		9,91	0,10		9,97	0,56		16,89	0,33

Tabela 10 – Média e desvio padrão da variável Potência (kW), em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no sistema cultivo mínimo

Op.	Marcha	Rot.	Potência								
			Média	Desvio	Op.	Média	Desvio	Op.	Média	Desvio	
Escarificação	A2	1600	10,32	0,96	Pulverização	0,08	0,01	Semeadura	9,48	0,37	
		1900	13,03	0,84		0,08	0,03		10,81	0,06	
		2200	14,41	0,90		0,07	0,03		12,53	0,24	
	A3	1600	15,40	0,47		0,10	0,03		13,11	1,11	
		1900	17,44	0,92		0,07	0,01		14,75	0,55	
		2200	19,89	1,47		0,14	0,01		17,15	0,81	
	B1	1600	19,35	0,78		0,31	0,09		15,66	0,67	
		1900	22,93	1,16		0,22	0,05		18,45	0,23	
		2200	24,66	2,95		0,29	0,06		20,96	0,36	

Tabela 11 – Média e desvio padrão das variáveis Potência (kW), em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no sistema plantio direto

Op.	Marcha	Rot.	Potência				
			Média	Desvio	Op.	Média	Desvio
Pulverização	A2	1600	0,16	0,04	Semeadura	10,43	1,46
		1900	0,08	0,04		12,27	0,40
		2200	0,14	0,01		13,29	0,41
	A3	1600	0,07	0,01		13,93	2,45
		1900	0,11	0,04		14,60	0,76
		2200	0,12	0,03		17,17	0,81
	B1	1600	0,08	0,03		16,84	1,49
		1900	0,29	0,12		19,54	0,25
		2200	0,15	0,06		19,39	1,36

Os valores estão de acordo com os encontrados por Santos (2010), onde constatou em seu experimento que a exigência da demanda de potência na barra de tração foi maior com o aumento da força de tração, mesmo com menor velocidade, encontrando valores de 20,97 kW para escarificador com três hastes e 21,10 kW para escarificador com cinco hastes.

Furlani *et al.* (2005) avaliaram uma semeadora-adubadora de precisão com quatro linhas, na cultura do milho. Os autores obtiveram como resultado para o preparo convencional 26,7 kW, para o plantio direto 27,9 kW e para o cultivo mínimo 26,6 kW, trabalhando a uma velocidade de deslocamento de 7,3 km h⁻¹.

Resultados semelhantes foram encontrados por Chioderoli *et al.* (2010) ao analisar o desempenho operacional de uma semeadora-adubadora, em função de três tipos de preparo do solo. Foram encontrados os seguintes valores para a potência na barra de tração: para a semeadura sobre o preparo convencional 27,7 kW, sobre o cultivo mínimo 21,7 kW e sobre o plantio direto 25,7 kW, a uma velocidade média de 5,6 km h⁻¹. No presente trabalho encontrou-se para a potência na barra de tração da semeadora-adubadora sobre o preparo convencional 16,79 kW; sobre o cultivo mínimo 20,96 kW e sobre o plantio direto 10,39 kW, trabalhando a uma velocidade média de 3,77 km h⁻¹.

4.2.4. Capacidade de Trabalho Teórica

As médias dos resultados para capacidade de trabalho teórica estão expostas nas Tabelas 12, 13 e 14. A capacidade de trabalho teórica é função direta da velocidade, portanto as duas variáveis apresentaram comportamentos semelhantes, isto é, com o aumento da velocidade, aumentou-se também a capacidade de trabalho teórica.

A capacidade de trabalho teórica é parâmetro que fornece o ritmo teórico de trabalho executado durante a operação, não levando em consideração a área de solo mobilizada pelo equipamento no ato do preparo (RODRIGUES, 2009).

Tabela 12 – Média e desvio padrão da variável Capacidade de Trabalho Teórica em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no sistema convencional

Op.	Marcha	Rot.	CTt(ha h ⁻¹)										
			Média	Desvio	Op.	Média	Desvio	Op.	Média	Desvio	Op.	Média	Desvio
Aração	A2	1600	0,18	0,01	1 ^a gradagem	0,53	0,01	2 ^a gradagem	0,56	0,01	Semeadura	0,65	0,01
		1900	0,21	0,01		0,60	0,01		0,66	0,01		0,76	0,01
		2200	0,24	0,01		0,72	0,02		0,73	0,01		0,84	0,01
	A3	1600	0,24	0,01	0,69	0,02	0,75	0,03	0,86	0,01			
		1900	0,28	0,01	0,74	0,11	0,9	0,01	1,02	0,01			
		2200	0,34	0,04	0,98	0,04	1,00	0,03	1,18	0,04			
	B1	1600	0,28	0,01	0,83	0,02	0,85	0,02	1,01	0,01			
		1900	0,34	0,01	1,01	0,01	1,03	0,03	1,21	0,02			
		2200	0,38	0,01	1,16	0,01	1,24	0,03	1,27	0,02			

Tabela 13 – Média e desvio padrão da variável Capacidade de Trabalho Teórica, em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no sistema cultivo mínimo

Op.	Marcha	Rot.	CTt (ha h ⁻¹)							
			Média	Desvio	Op.	Média	Desvio	Op.	Média	Desvio
Escarificação	A2	1600	0,21	0,01	Pulverização	2,78	0,02	Semeadura	0,66	0,03
		1900	0,28	0,02		2,89	0,49		0,76	0,01
		2200	0,29	0,03		3,21	0,50		0,86	0,01
	A3	1600	0,30	0,04	3,05	0,03	0,88	0,08		
		1900	0,33	0,01	3,46	0,08	0,99	0,03		
		2200	0,38	0,06	4,83	0,07	1,16	0,06		
	B1	1600	0,31	0,02	4,41	0,06	1,02	0,06		
		1900	0,41	0,02	5,15	0,08	1,21	0,02		
		2200	0,41	0,07	5,85	0,10	1,36	0,04		

Tabela 14 – Média e desvio padrão da variável Capacidade de Trabalho Teórica, em cada combinação de operação, marcha e rotação do motor no sistema plantio direto

Op.	Marcha	Rot.	CTt(ha h ⁻¹)				
			Média	Desvio	Op.	Média	Desvio
Pulverização	A2	1600	2,62	0,02	Semeadura	0,68	0,06
		1900	2,75	0,02		0,75	0,01
		2200	3,50	0,04		0,85	0,01
	A3	1600	3,03	0,03	0,93	0,12	
		1900	3,42	0,04	0,96	0,03	
		2200	4,81	0,07	1,15	0,04	
	B1	1600	4,39	0,05	1,06	0,04	
		1900	5,05	0,09	1,19	0,02	
		2200	5,84	0,15	1,22	0,11	

Esses resultados se assemelham aos de Cortez *et al.* (2008), quando os autores afirmaram que a capacidade de campo efetiva aumenta com o incremento da velocidade, quando a mesma passou de 4,0 km h⁻¹, para 5,6 km h⁻¹ e depois para 6,4 km h⁻¹ a capacidade de campo progrediu de 1,4; 1,7 e 2,0 ha h⁻¹ respectivamente.

Resultados semelhantes também foram encontrados por Almeida *et al.* (2010), quando avaliaram o desempenho energético de um conjunto trator-semeadora de precisão, sob diferentes marchas e rotações do motor.

Rodrigues (2009) analisando os resultados de sua pesquisa percebeu que, os sistemas de manejo influenciaram significativamente nos valores das médias da capacidade de campo teórica, sendo que o menor valor foi encontrado no sistema plantio direto, que não diferiu do convencional. Neste caso, não houve diferenças estatísticas para a capacidade de campo teórica entre os sistemas de manejo nas velocidades de 3 e 5 km h⁻¹. Nas velocidades de 6 e 9 km h⁻¹, ocorreram efeitos estatisticamente significativos entre os sistemas de manejo.

4.2.5. Consumo de Combustível e Demanda Energética

Na Tabela 15 são apresentadas as análises de variância das seguintes variáveis: consumo horário de combustível, consumo de combustível por área trabalhada, consumo de combustível por volume de solo mobilizado e demanda energética.

Com o resultado da análise de variância é possível verificar que pela análise do consumo horário (CH) e da demanda energética (DE) foi constatada interação entre rotação x sistema e marcha x sistema, no entanto não houve dependência entre rotação x marcha, nem se verificou a associação entre os três fatores. Também se verificou interação entre rotação x sistema e marcha x sistema no consumo de combustível por volume de solo mobilizado (CCV). O consumo de combustível por área trabalhada (CCA) apresentou significância para os fatores sistema e marcha de forma isolada.

Tabela 15 – Resumo da análise de variância para as variáveis, Consumo Horário (CH), Consumo de Combustível por Área trabalhada (CCA), Consumo de Combustível por Volume de solo mobilizado (CCV), Demanda Energética (DE), em função do sistema de manejo, da marcha e da rotação

FV	GL	Quadrados Médios			
		CH	CCA	CCV	DE
Blocos	2	0,281	15,017	2,928	755,736
Sistema (S)	2	510,808**	4426,368**	2488,937**	318500,01**
Erro a	4	1,229	40,031	7,386	218,671
Marcha (M)	2	130,373**	46,324**	2,916	4748,269**
M x S	4	11,467**	11,865 ^{NS}	57,242**	1137,688**
Erro b	12	0,999	4,936	5,335	40,753
Rotação (R)	2	96,903	26,939	27,876**	1241,512
R x S	4	7,503**	9,030 ^{NS}	29,732**	827,973**
R x M	4	0,879 ^{NS}	8,540 ^{NS}	9,721 ^{NS}	84,231 ^{NS}
R x M x S	8	1,447 ^{NS}	5,785 ^{NS}	8,426 ^{NS}	67,609 ^{NS}
Erro c	36	0,957	6,210	5,247	190,033
Média		12,85	19,40	24,25	181,93
CV-a (%)		8,62	32,61	11,21	8,13
CV-b (%)		7,78	11,45	9,53	3,51
CV-c (%)		7,61	12,84	9,45	7,58

^{NS}, * e **: não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Observa-se que as variáveis apresentaram coeficiente de variação inferior a 33% nas parcelas (sistema de preparo). O mesmo ocorreu nas subparcelas e subsubparcelas, com CV menor que 13%. Valores semelhantes de CV para consumo horário foram encontrados por Cortez *et al.* (2008) da ordem de 6,4%, Almeida *et al.* (2010) obtiveram 8,02 % e Fernandes e Gamero (2010) conseguiram 7,45 %; para consumo de combustível por área trabalhada, menores valores foram encontrados por, Fernandes e Gamero (2010) com 16,31 %, Cortez *et al.* (2008) 6,4 % e Piffer e Benez (2009) 5,45 %; para demanda energética foram encontrados valores de CV da ordem de, 14,66 %; 10,00 % e 7,01 %, Silva (2004), Cortez *et al.* (2008) e Piffer e Benez (2009), respectivamente.

4.2.5.1. Consumo Horário de Combustível

Pela Tabela 16, nota-se que a marcha A2 foi a que promoveu menores médias de consumo horário (CH), nos três sistemas de preparo do solo, sendo que, à medida que se elevou a marcha, implicando em aumento de velocidade, o consumo de combustível também se elevou.

Tabela 16 – Valores médios de consumo horário ($L h^{-1}$) para as combinações de sistema de manejo e marcha utilizada

Sistema	Marcha		
	A2	A3	B1
PC	14,07 aC	17,43 aB	18,87 aA
CM	10,75 bC	13,08 bB	16,93 bA
PD	7,15 cB	8,03 cB	9,36 cA

DMS colunas = 1,27

DMS linhas = 1,25

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, respectivamente.

Concordando com os resultados de Lopes *et al.* (2003), onde compararam o consumo de combustível de um trator agrícola operando com diferentes tipos de pneus em duas condições de lastragem e quatro velocidades de deslocamento.

Valores equivalentes também foram encontrados por Gabriel Filho *et al.* (2010) em que avaliaram a capacidade de um trator em desenvolver força de tração, ao tracionar uma carga de 25 kN em quatro velocidades de deslocamento e em três condições da superfície do solo, obtendo os resultados: 13,88; 14,45; 16,92; 18,79 $L h^{-1}$.

Pavan Júnior (2006) comenta que o aumento do consumo horário com o aumento da velocidade é explicado pela maior exigência do trator na maior velocidade para um mesmo tempo de operação. Em seu trabalho, onde avaliou o desempenho de uma semeadora-adubadora para sistema plantio direto, também encontrou valores diretamente proporcionais entre velocidade e consumo horário de combustível.

Comparando-se os sistemas, verifica-se que no plantio direto obteve-se as menores médias de CH, em quaisquer das marchas, o que já era esperado, tendo

em vista o número de operações neste sistema em comparação com o convencional e cultivo mínimo. Nagaoka *et al.* (2002) também observaram maior consumo de combustível do trator em solo preparado com sistema convencional (aração e gradagem) em comparação com o solo sob o sistema de plantio direto.

Fernandes *et al.* (2008) com o objetivo de estudar o custo energético das principais operações agrícolas mecanizadas no sistema convencional (aração e gradagem), cultivo mínimo com escarificação, cultivo mínimo com grade leve e plantio direto verificaram que o menor consumo horário de combustível foi no sistema de plantio direto, seguido do cultivo mínimo (grade leve e escarificador, respectivamente) e preparo convencional. Resultados foram condizentes com os encontrados neste trabalho.

Nas três rotações em teste, observou-se que o plantio direto promoveu menores médias de CH (Tabela 17), o que pode ser explicado, pois este sistema reduz significativamente o número de operações, seguido pelo cultivo mínimo, comparado ao preparo convencional.

Tabela 17 – Valores médios de Consumo Horário ($L h^{-1}$) em cada sistema de manejo por rotação utilizada

Sistema	Rotação (RPM)		
	1600	1900	2200
PC	13,85 a	17,65 a	18,86 a
CM	11,46 b	14,72 b	14,58 b
PD	6,93 c	7,79 c	9,83 c

DMS colunas = 1,21

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com o objetivo de otimizar o desempenho operacional de um conjunto trator-semeadora-adubadora sob sistema de plantio direto, em função de diferentes velocidades e rotações do motor (1500, 1900 e 2100 rpm), Silveira (2008) observou que, dentro de uma mesma velocidade de operação e variando a rotação do motor, têm-se aumentos significativos no consumo horário de combustível, os quais variaram de 7 a 44%, da menor para a maior rotação.

Em relação ao consumo horário não se verificou significância do modelo de regressão linear, em função da rotação do motor do trator. Pelo fato de a rotação não ter influenciado o CH, a equação da reta é representada pela média dos valores observados da variável, dada pelas equações: $\hat{Y}_{PC} = 16,79$; $\hat{Y}_{CM} = 13,59$; $\hat{Y}_{PD} = 8,18$.

4.2.5.2. Consumo de Combustível por Área Trabalhada

Verificou-se diferenças significativas para as médias da variável consumo de combustível por área trabalhada (CCA) nos três sistemas de preparo, sendo a menor média para o plantio direto (Tabela 18).

Tabela 18 – Valores médios de Consumo de Combustível por Área Trabalhada ($L ha^{-1}$), em cada sistema de preparo, PC: Preparo Convencional, CM: Cultivo Mínimo, PD: Plantio Direto

Sistema	CCA
PC	30,18 a
CM	22,77 b
PD	5,25 c
DMS	6,08

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Concordando com os resultados encontrados por Rodrigues (2009), para o sistema convencional obteve $30,70 L ha^{-1}$ e para o cultivo mínimo obteve $21,75 L ha^{-1}$, quando analisou o desempenho operacional e energético em sistemas de preparo do solo e velocidades de semeadura da cultura do sorgo.

Valores semelhantes foram encontrados por Fernandes e Gamero (2010), para o preparo convencional $30,75 L ha^{-1}$ e para o cultivo mínimo $21,75 L ha^{-1}$, quando estudaram o desempenho das máquinas agrícolas no preparo convencional e cultivo mínimo na implantação da cultura do girassol.

Cortez (2008) avaliando o desempenho de um trator agrícola em sistemas de preparo (convencional e plantio direto), juntamente com três marchas na operação de semeadura da crotalaria, constatou que o consumo de combustível por área foi da ordem de $6,9 L ha^{-1}$, iguais para os dois sistemas de preparo.

Observa-se pela Tabela 19, que o CCA em função da marcha, diferiu estatisticamente entre as marchas A2 e B1, sendo o maior CCA para a marcha A2 que corresponde à menor velocidade.

Tabela 19 – Valores médios de Consumo de Combustível por Área Trabalhada ($L\ ha^{-1}$), em função da marcha

Marcha	CCA
A2	20,64 a
A3	19,52 ab
B1	18,03 b
DMS	1,61

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados encontrados por Cortez *et al.* (2008) com relação ao consumo de combustível por área trabalhada foram afetados pelas marchas, sendo a menor marcha com o maior consumo. Os autores justificam que foi devido ao maior tempo para realizar a operação de semeadura em um hectare. Neste trabalho avaliaram o desempenho de um trator agrícola sob dois sistemas de preparo do solo (plantio direto e convencional), juntamente com três marchas na operação de semeadura da crotalária.

Comportamento semelhante também foi encontrado por Mahl *et al.* (2004) onde avaliaram a demanda energética e a eficiência da distribuição de sementes de uma semeadora-adubadora para semeadura direta, submetida à variação de velocidade e condições de solo, na semeadura da cultura do milho. Analisando os resultados perceberam que a variação de velocidade de deslocamento surtiu efeito sobre o consumo de combustível. À medida que se aumentou a velocidade, houve redução significativa do consumo de combustível em função da área, por meio do Aumento da velocidade de 4,4 para 8,1 $km\ h^{-1}$, conseguiu-se uma redução de 26% no consumo de combustível por área trabalhada.

Concordando com este resultado Silveira (2008) com o objetivo de otimizar o desempenho operacional de um conjunto trator-semeadora-adubadora em sistema de plantio direto em função de diferentes velocidades, chegou a um modelo ajustado de forma linear decrescente onde, à medida que aumenta a velocidade de operação, o consumo de combustível por área trabalhada diminui em 25,66% da maior para a menor velocidade de operação.

Em relação ao consumo de combustível por área trabalhada em função da rotação do motor, não se verificou significância do modelo de regressão linear. Devido a rotação não ter influenciado o CCA, a equação é representada pela média dos valores observados da variável, dada pela equação: $\hat{Y} = 19,40$.

4.2.5.3. Consumo de Combustível por Volume de Solo Mobilizado

Observa-se no Quadro 4 os resultados do volume de solo mobilizado por um metro de largura dos equipamentos utilizados nas operações em cada sistema de manejo.

Sistema de Preparo	Operação	Volume Solo Mobilizado (m ³ m ⁻¹)
PC	Aração	1,615
	Gradagem	0,807
	Semeadura	0,368
CM	Escarificação	2,973
	Semeadura	0,347
PD	Semeadura	0,281

Quadro 4 – Valores médios de volume de solo mobilizado.

No preparo convencional do solo, verificou-se que ao utilizar a marcha B1 obteve-se a menor média de consumo de combustível por volume de solo mobilizado (CCV), conforme Tabela 20. Nota-se que aumentando a marcha, que implica em aumento de velocidade, diminui o CCV, seguindo o mesmo comportamento do CCA.

No cultivo mínimo a menor média de CCV ocorreu na marcha A2, de menor velocidade e a maior média na marcha B1, de maior velocidade. No plantio direto as médias foram iguais nas três marchas utilizadas. Com a redução do número de operações, características de cada sistema de manejo, as médias das marchas tendem a ser iguais.

Assim como com a variável CH, utilizando-se o preparo convencional (PC) obteve-se as maiores médias de CCV em quaisquer das marchas, devido ao maior número de operações no preparo convencional.

Tabela 20 – Valores médios de Consumo de Combustível por Volume de Solo Mobilizado ($L ha^{-1} m^{-3}$) em cada combinação de sistema de preparo e marcha utilizada

Sistema	Marcha		
	A2	A3	B1
PC	38,46 aA	35,39 aB	32,11 aC
CM	17,92 bB	18,78 bAB	20,91 bA
PD	17,33 bA	18,61 bA	18,72 bA
DMS colunas = 3,03		DMS linhas = 2,90	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, respectivamente.

Nas três rotações em teste no PC obteve-se as maiores médias de CCV (Tabela 21), adotando o mesmo raciocínio anterior o número de operações do PC é significativamente maior que no CM e PD. Observou também que as médias de CM e PD não diferiram estatisticamente nas rotações em teste.

Tabela 21 – Valores médios de consumo de combustível por volume de solo mobilizado ($L ha^{-1} m^{-3}$) em cada combinação de sistema de preparo e rotação utilizada

Sistema	Rotação (rpm)		
	1600	1900	2200
PC	34,55a	37,04a	34,37a
CM	20,67b	18,47b	18,46b
PD	20,93b	16,28b	17,45b
DMS colunas = 2,92			

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A regressão do CCV em função da rotação do motor foi significativa apenas no sistema plantio direto (Tabela 22).

Tabela 22 – Análise de variância de regressão da variável consumo de combustível por volume de solo mobilizado ($L\ ha^{-1}\ m^{-3}$) em função da rotação em cada sistema de manejo do solo

Sistema	Quadrados médios		Equação ajustada
	Regressão	Desvios	
PC	20,0295 ^{NS}	5,5465	CCV = 35,31
CM	14,6010 ^{NS}	5,4340	CCV = 19,20
PD	51,7100 ^{**}	5,5835	CCV = 144 – 0,129 R + 0,000032 R ²
GL	2	8	

^{NS}, ^{**}: não significativo, significativo a 1% de probabilidade pelo teste “t”, respectivamente.

A Figura 18 mostra a curva de regressão do CCV em função da rotação no sistema plantio direto. Para a rotação de 1600 rpm o CCV atingiu um valor estimado de $19,52\ L\ ha^{-1}\ m^{-3}$; a mínima resposta de CCV, que foi de $14,00\ L\ ha^{-1}\ m^{-3}$, foi obtida com a rotação de 2015 rpm; e na rotação de 2200 rpm o CCV foi de $15,08\ L\ ha^{-1}\ m^{-3}$.

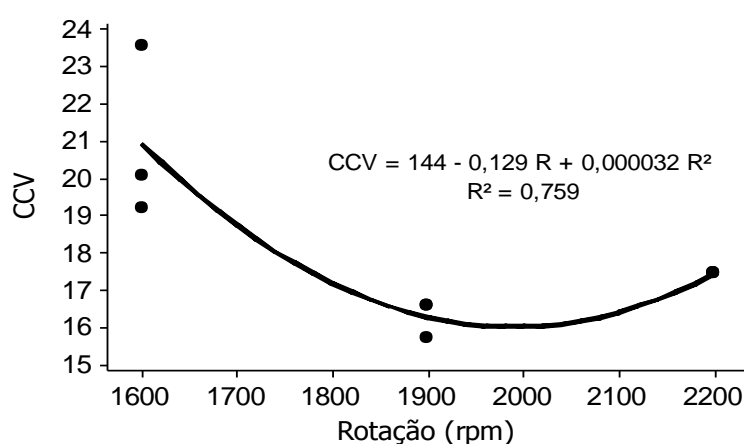


Figura 18 – Regressão do consumo de combustível por volume de solo mobilizado ($L\ ha^{-1}\ m^{-3}$) em função da rotação do motor.

4.2.5.4. Demanda Energética

No preparo convencional do solo, e cultivo mínimo verificou-se que ao utilizar a marcha A2, obteve as menores médias de demanda energética (DE), como se

observa na Tabela 21, devido aos menores valores de potência (Tabelas 9 e 10) e capacidade de trabalho teórica (Tabelas 12 e 13).

Tabela 23 – Valores médios de Demanda Energética (MJ ha^{-1}) em cada combinação de sistema de preparo e marcha utilizada

Sistema	Marcha		
	A2	A3	B1
PC	225,84 aC	243,46 aB	260,76 aA
CM	226,92 aC	241,20 aB	269,60 aA
PD	57,00 bA	54,45 bA	58,12 bA

DMS colunas = 13,87

DMS linhas = 8,02

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, respectivamente.

Piffer e Benez (2009) avaliaram a demanda energética requerida por uma semeadora de fluxo contínuo em diferentes sistemas de manejo do solo na operação de semeadura das culturas de nabo forrageiro e nabiça. Os autores encontraram resultados de demanda energética empregando o preparo convencional e cultivo mínimo estatisticamente maiores que a semeadura direta durante as operações de semeadura de nabo forrageiro e nabiça. Os autores ainda explicam que os resultados encontrados estão relacionados com os parâmetros de potência média na barra de tração e capacidade de campo efetiva.

No sistema plantio direto, as três marchas forneceram médias iguais de DE. Assim como com a variável CCV, utilizando-se o plantio direto obteve-se as menores médias de DE em quaisquer das marchas. Concordando com os resultados encontrados por Cortez *et al.* (2008), para o sistema plantio direto de $55,44 \text{ MJ ha}^{-1}$, onde avaliou o desempenho de um trator agrícola sob dois sistemas de preparo do solo. Bortolotto *et al.* (2006) também encontraram resultados semelhantes ao avaliar a demanda energética requerida por uma semeadora-adubadora para plantio direto, submetida a quatro velocidades de deslocamento e três condições de cobertura do solo na implantação da cultura da soja.

Tabatabaeefar *et al.* (2009) compararam os índices de energia e parâmetros de rendimento de trigo para diferentes sistemas de preparo do solo. Analisando os resultados perceberam que o preparo convencional apresentou o maior consumo de

energia (11,78 MJ kg⁻¹), o cultivo mínimo (10,17 MJ kg⁻¹) e o plantio direto com o menor consumo (8,81 MJ kg⁻¹).

Com o objetivo de comparar a capacidade de trabalho, o consumo de combustível e insumos energéticos para o plantio de culturas em rotação de quatro anos, em função do sistema de preparo, Kordas (2005) encontrou redução de demanda energética de 54% para o plantio direto e 50% para o cultivo mínimo em comparação com o preparo convencional.

Percebe-se também que em cada marcha utilizada, para o sistema de preparo convencional e cultivo mínimo não houve diferenças significativas para a demanda energética. E, ao passar da marcha A2 para B1, o que implica em aumento de velocidade, houve aumento significativo da DE, obtendo-se maiores valores, pois, com aumento da velocidade a potência foi maior, refletindo em maior uso de energia por área trabalhada.

Nas três rotações em teste, percebeu-se que o plantio direto promoveu menores médias de DE (Tabela 22), adotando o mesmo raciocínio do CH, o número de operações no PD é significativamente menor comparado ao PC e CM. Observou-se também que as médias do PC e CM não diferiram estatisticamente nas rotações em teste, considerando que o CM tem menor número de operações que o PC, todavia o escarificador utilizado no CM, foi o implemento que demandou maior força de tração, bem como maior potência na barra de tração, culminando em uma grande DE, o que compensou o menor número de operações comparado ao PC.

Tabela 24 – Valores médios de Demanda Energética (MJ ha⁻¹) em cada sistema de preparo por rotação utilizada

Sistema	Rotação (RPM)		
	1600	1900	2200
PC	235,27 a	232,43 a	262,35 a
CM	250,27 a	237,93 a	249,52 a
PD	55,59 b	57,80 b	56,18 b

DMS colunas = 16,73

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação à demanda energética não se verificou significância do modelo de regressão. Pelo fato de a rotação não ter influenciado a DE, a equação da reta é constituída pela média dos valores observados da variável, dada pelas equações: $\hat{Y}_{PC} = 243,35$; $\hat{Y}_{CM} = 245,90$ e $\hat{Y}_{PD} = 56,52$.

4.2.6. Deslizamento das Rodas Motrizes do Trator

Nos tratores agrícolas o deslizamento dos rodados ocorre devido a diversos fatores, entre eles o esforço de tração necessário para deslocar determinado implemento e o tipo de superfície que está em contato com a banda de rodagem dos pneus.

4.2.6.1. Deslizamento das Rodas Motrizes do Trator no Preparo Convencional

Na análise de variância para deslizamento em cada roda do trator no preparo convencional não foi observada significância da interação tripla entre os fatores operação de preparo do solo x marcha x rotação do motor, em nenhuma das rodas. Para o deslizamento da roda dianteira esquerda (DRDE) não se verificou efeito de nenhum fator estudado; para o deslizamento da roda dianteira direita (DRDD) apenas os efeitos isolados de operação e marcha foram detectados; o deslizamento da roda traseira esquerda (DRTE) apresentou efeito significativo da rotação do motor com os outros fatores estudados (rotação x marcha e rotação x operação); no deslizamento da roda traseira direita (DRTD) apenas foi verificado efeito isolado da operação de trabalho do trator (Tabela 23).

Na Tabela 23 pode-se verificar que o DRTE apresentou coeficiente de variação nas parcelas (operação) relativamente menor (15,82%) que os deslizamentos nas demais rodas, os quais variaram de 46% a 62%. Os CVs das subparcelas (marcha) e subsubparcelas (rotação) dos deslizamentos das quatro rodas foram semelhantes, variando de 20% a 32%. Corroborando com esses

valores, Chioderoli *et al.* (2010) encontraram CV's de ordens semelhantes, para roda dianteira esquerda, 42,04 %; para roda dianteira direita, 45,54 %; para a roda traseira esquerda, 39,40 % e para roda traseira direita, 38,05 %. Almeida *et al.* (2010) encontraram CV's para os rodados traseiros de 94,70 % e para os rodados dianteiros de 69,32 %, valores um pouco acima dos encontrados neste trabalho.

Tabela 25 – Análise de variância para deslizamento de cada roda do trator em função da operação, da marcha e rotação de trabalho no preparo convencional

FV	GL	Quadrados Médios			
		DRDE(%)	DRDD(%)	DRTE(%)	DRTD(%)
Blocos	2	4,4566	3,8134	15,6754	19,6595
Operação (O)	3	36,0988 ^{NS}	129,6558 ^{**}	1101,6808 ^{**}	203,4977 ^{**}
Erro a	6	11,5890	8,4114	1,6004	11,2169
Marcha (M)	2	6,0546 ^{NS}	6,6909 [*]	7,2438 ^{NS}	6,8824 ^{NS}
O x M	6	0,7710 ^{NS}	0,5763 ^{NS}	6,4167 ^{NS}	1,3265 ^{NS}
Erro b	16	1,7163	1,8186	6,5013	2,9451
Rotação (R)	2	12,6186	19,2194	119,8036	4,6692
R x O	6	2,2449 ^{NS}	5,2851 ^{NS}	53,1549 ^{**}	2,2887 ^{NS}
R x M	4	2,3734 ^{NS}	0,9983 ^{NS}	8,8865 [*]	1,1930 ^{NS}
R x M x O	12	1,3915 ^{NS}	2,1857 ^{NS}	2,9449 ^{NS}	1,7778 ^{NS}
Erro c	48	2,7576	3,0916	2,4517	2,2135
Média		5,47	5,47	7,99	7,18
CV-a (%)		62,20	52,97	15,82	46,64
CV-b (%)		23,94	24,63	31,89	23,90
CV-c (%)		30,34	32,11	19,58	20,72

^{NS}, * e **: não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Na variável DRTE, observou-se que as maiores médias foram obtidas na operação de semeadura, em quaisquer das rotações utilizadas (Tabela 24). Isto devido à maior força de tração requerida pela semeadora-adubadora, conforme exposto na Tabela 6, trabalhando em solo mobilizado, o que promove maior deslizamento, aliando-se a isto, o terreno é ligeiramente inclinado, que promove

transferência de peso para o lado direito do trator, o lado esquerdo mais leve causa menos aderência, permitindo maior deslizamento da roda traseira esquerda.

Tabela 26 – Valores médios de deslizamento da roda traseira esquerda DRTE (%) em cada operação do preparo convencional, por rotação de trabalho do motor

Operação	Rotação (rpm)		
	1600	1900	2200
Aração	4,93 b	3,34 b	6,20 b
1ª Gradagem	4,75 b	4,58 b	5,11 b
2ª Gradagem	4,58 b	4,59 b	5,10 b
Semeadura	13,37 a	11,89 a	15,78 a
DMS = 1,85			

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Gabriel Filho *et al.* (2010) avaliaram a capacidade de um trator em desenvolver força de tração ao tracionar uma carga de 25 kN em quatro velocidades de deslocamento e em três condições da superfície do solo: solo mobilizado, solo coberto com os restos da cultura do milho e braquiária e solo firme sem cobertura. Para uma solicitação de 25 kN no solo com a superfície mobilizada o trator manteve a patinação próxima de 15%.

Já Chioderoli *et al.* (2010), no preparo convencional, encontraram 12% de deslizamento para a roda traseira esquerda, quando analisou o desempenho operacional de uma semeadora-adubadora, em função de três tipos de preparo do solo: convencional, mínimo e plantio direto. Resultado semelhante ao presente trabalho, quando se utilizou a rotação de 1900 rpm (11,898%).

Toledo *et al.* (2010) também encontraram valores para deslizamento dos rodados motrizes que variaram entre 10,5 e 13,5%, onde estudaram a variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração, da demanda energética e do desempenho operacional do conjunto trator-semeadora-adubadora em semeadura de amendoim.

As três primeiras operações de preparo do solo (aração, 1ª gradagem e 2ª gradagem, respectivamente) apresentaram médias de DRTE estatisticamente iguais nas três rotações do motor, ficando próximo de 5%, valor abaixo do recomendado pela ASABE (2006), para solo mobilizado que é de 11 a 13%. Explica-se este valor pela baixa força de tração requerida pelos implementos utilizados no preparo convencional.

O DRTE não variou em função da rotação do motor em nenhuma das operações do preparo convencional, ou seja, os modelos de regressão linear foram não significativos. Neste caso representados pelas equações da reta constituída pela média dos valores observados da variável: $\hat{Y}_{\text{Aração}} = 4,827 \%$; $\hat{Y}_{1^{\text{a}} \text{ Grad}} = 4,819 \%$; $\hat{Y}_{2^{\text{a}} \text{ Grad}} = 4,761 \%$ e $\hat{Y}_{\text{Semead}} = 17,58 \%$

Na Tabela 25 observa-se que o teste de Tukey detectou diferenças entre médias de marchas para o DRTE apenas na rotação de 1600 rpm, tendo a marcha A2 promovido a menor média de patinagem dessa roda, nessa rotação. Nota-se ainda que nas duas rotações mais elevadas as médias das marchas foram estatisticamente iguais, permanecendo abaixo do deslizamento recomendado pela ASABE (2006), como já mencionado, pelo baixo requerimento de força dos implementos utilizados, podendo mencionar também o bom lastreamento do trator.

Tabela 27 – Valores médios de deslizamento da roda traseira esquerda DRTE (%) em cada marcha utilizada no preparo convencional, por rotação de trabalho do trator

Marcha	Rotação (rpm)		
	1600	1900	2200
A2	7,30 b	6,60 a	9,46 a
A3	7,76 ab	5,09 a	10,21 a
B1	9,34 a	6,62 a	9,56 a
DMS = 1,93			

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Assim como em cada operação do preparo convencional, em cada marcha utilizada não foi detectada regressão significativa do DRTE em função da rotação do motor. Pelo fato de a rotação não ter influenciado o DRTE, a equação da reta é

constituída pela média dos valores observados da variável, dada pelas equações:

$$\hat{Y}_{A2} = 7,79 \% ; \hat{Y}_{A3} = 7,69 \% \text{ e } \hat{Y}_{B1} = 8,51 \%$$

Fato este confirmado por Silveira (2008) que não constatou influência da velocidade de operação e da rotação do motor. Saliendo que tal resultado evidencia, pela análise de regressão, que o deslizamento dos rodados do trator se comportou como uma variável independente da velocidade de operação e da rotação do motor, quando teve o objetivo de otimizar o desempenho operacional de um conjunto trator-semeadora-adubadora em sistema de plantio direto em função de diferentes velocidades.

Tanto em relação ao DRDD quanto ao DRTD, observa-se na Tabela 26 que o teste de Tukey identificou a operação de 2ª gradagem como sendo a que promoveu menores médias de deslizamento, sendo que para o DRTD esta média não diferiu das médias obtidas com as duas primeiras operações.

Tabela 28 – Valores médios do deslizamento da roda dianteira direita (DRDD: %) e deslizamento da roda traseira direita (DRTD: %) em cada operação do preparo convencional

Operação	DRDD	DRTD
Aração	6,20 ab	5,50 b
1ª Gradagem	4,82 bc	6,62 b
2ª Gradagem	2,84 c	5,38 b
Semeadura	8,02 a	11,21 a
DMS	2,73	3,15

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados semelhantes foram encontrados por Santos (2010), onde verificou que os valores para o deslizamento dos rodados para as operações de aração e gradagem foram 6,60%, 7,50% e 5,80% para aração, primeira e segunda gradagem, respectivamente, ao avaliar o comportamento da cultura da melancia sob o ponto de vista de produção em diferentes sistemas de preparo do solo.

Não foram verificadas diferenças entre as médias de deslizamento da roda dianteira direita DRDD entre as marchas A2, A3 e B1 (respectivas médias: 5,28 a; 5,17 a; 5,96 a; DMS = 0,82), pelo teste de Tukey.

Como antes mencionado, para DRDE, DRDD e DRTD, não se detectou interação da rotação com os outros fatores em estudo, no entanto verificou-se que a regressão destas variáveis em função da rotação do motor não foi significativa, isto é, independe da operação e marcha. Neste caso representados pelas equações da reta constituída pela média dos valores observados da variável : $\hat{Y}_{DRDE} = 5,47 \%$; $\hat{Y}_{DRDD} = 5,47 \%$ e $\hat{Y}_{DRTD} = 7,18 \%$.

4.2.6.2. Deslizamento das Rodas Motrizes do Trator no Cultivo Mínimo

Na análise de variância para deslizamento em cada roda do trator no cultivo mínimo não foi observada significância da interação tripla entre os fatores operação de preparo do solo x marcha x rotação do motor em nenhuma das rodas. Para o DRDE verificou-se o efeito significativo da operação, da marcha e da interação (rotação x operação); para o DRDD foram observados os efeitos isolados de operação e marcha, bem como o efeito da interação (operação x marcha); o DRTE apresentou efeito significativo da operação e da interação (rotação x operação); no DRTD apresentou efeito significativo da operação de trabalho, da marcha e das interações (rotação x operação e rotação x marcha), como se observa na Tabela 27.

Para DRDD e DRTD observa-se maiores valores de CV nas parcelas (operação), este fato pode ter ocorrido devido à inclinação do terreno e à grande quantidade de cobertura vegetal, presente na área, fazendo com que o rodado perca aderência ao solo, proporcionando maiores variações de deslizamento nas rodas do lado direito do trator. Pode-se verificar também que o DRTD apresentou coeficiente de variação de 23,61% nas subparcelas (marcha), relativamente menor que os deslizamentos nas demais rodas, os quais variaram de 29% a 49%. Os CVs das subsubparcelas variaram de 28 a 39%.

Tabela 29 – Análise de variância para deslizamento de cada roda do trator em função da operação, da marcha e da rotação de trabalho no cultivo mínimo

FV	GL	Quadrados Médios			
		DRDE(%)	DRDD(%)	DRTE(%)	DRTD(%)
Blocos	2	19,2465	114,3727	30,6689	2,7935
Operação (O)	2	1592,972**	1306,040**	1660,861**	702,0515*
Erro a	4	28,0347	70,5489	31,8086	96,3559
Marcha (M)	2	47,5534*	34,5219*	50,9726 ^{NS}	27,4293*
O x M	4	22,5018 ^{NS}	28,6479*	17,9957 ^{NS}	1,7795 ^{NS}
Erro b	12	7,4154	8,3386	31,3120	4,0987
Rotação (R)	2	56,9965	25,4988	106,8361	120,1444
R x O	4	78,1085**	30,7190 ^{NS}	130,7812**	40,2016**
R x M	4	10,5789 ^{NS}	7,9092 ^{NS}	23,4119 ^{NS}	22,7986*
R x M x O	8	4,5609 ^{NS}	15,4145 ^{NS}	18,7263 ^{NS}	10,4702 ^{NS}
Erro c	36	8,1216	12,7308	11,8467	6,1018
Média		9,18	9,22	11,47	8,57
CV-a (%)		57,66	91,06	49,14	114,49
CV-b (%)		29,65	31,31	48,75	23,61
CV-c (%)		31,01	38,68	29,99	28,81

^{NS}, * e **: não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Santos *et al.* (2010) encontraram valores de coeficiente de variação de 33,11%, para escarificadores com diferentes números de hastes, ao avaliar o comportamento do trator em diferentes sistemas de preparo do solo.

Nas variáveis DRDE, DRTE e DRTD, observou-se que as maiores médias foram obtidas na operação de escarificação, em quaisquer das rotações utilizadas (Tabela 28). Como foi explicado anteriormente, isso ocorreu devido ao maior requerimento de força de tração para a operação de escarificação conforme apresentado na Tabela 7.

Resultado semelhante foi encontrado por Rodrigues (2009), para a operação de escarificação obteve valor médio de 19,63% de deslizamento dos rodados, ao avaliar a resposta da cultura do sorgo em quatro velocidades de deslocamento (3, 5, 6 e 9 km h⁻¹) e quatro sistemas de manejo de solo: plantio direto; gradagem pesada

e semeadura; gradagem pesada, duas gradagens leves mais semeadura e escarificação e semeadura.

Tabela 30 – Valores médios de deslizamento da roda dianteira esquerda (DRDE), deslizamento da roda traseira esquerda (DRTE) e deslizamento da roda traseira direita (DRTD) em cada operação do cultivo mínimo, por rotação de trabalho do motor do trator

Operação	DRDE(%)			DRTE(%)			DRTD(%)		
	Rotação (rpm)								
	1600	1900	2200	1600	1900	2200	1600	1900	2200
Escarificação	23,45 a	15,28 a	14,93 a	14,97 a	22,52 a	18,34 a	9,11 a	13,39 a	14,26 a
Pulverização	3,56 b	3,41 b	3,13 b	3,11 b	3,82 c	2,30 b	2,57 a	2,83 b	2,85 b
Semeadura	5,53 b	6,64 b	6,65 b	9,68 a	9,90 b	18,63 a	7,83 a	9,23 ab	15,05 a
DMS	4,96			5,47			9,10		

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As menores médias foram observadas na operação de pulverização nas três rotações do motor. Esperava-se por este resultado, haja vista que a força de tração requerida pelo pulverizador é mínima, como se pode observar na Tabela 7, o que provocou índices baixos de deslizamento.

As variáveis DRDE, DRTE e DRTD não variaram em função da rotação em cada operação de trabalho. Pelo fato de a rotação não ter influenciado o DRDE, DRTE e DRTD as equações das retas são constituídas pelas médias dos valores observados das variáveis, dada pelas equações

Para a variável DRDE: $\hat{Y}_{Esc} = 17,89 \%$; $\hat{Y}_{Pulv} = 3,37 \%$; $\hat{Y}_{Semead} = 6,27 \%$

Para a variável DRTE: $\hat{Y}_{Esc} = 18,61 \%$; $\hat{Y}_{Pulv} = 3,08 \%$; $\hat{Y}_{Semead} = 12,74 \%$

Para a variável DRTD: $\hat{Y}_{Esc} = 12,25 \%$; $\hat{Y}_{Pulv} = 2,75 \%$; $\hat{Y}_{Semead} = 10,70 \%$

Como discutido anteriormente, isto foi confirmado por Silveira (2008) que não constatou influência da velocidade de operação e da rotação do motor. Salientando que tal resultado evidencia, pela análise de regressão, que o deslizamento dos rodados do trator se comportou como uma variável independente da velocidade de operação e da rotação do motor, quando teve o objetivo de otimizar o desempenho operacional de um conjunto trator-semeadora-adubadora em sistema de plantio direto em função de diferentes velocidades.

Observou-se diferença estatística entre médias de marchas para DRTD quando trabalhou com a menor rotação, sendo a menor média observada com a marcha B1 (Tabela 29).

Tabela 31 – Valores médios de deslizamento da roda traseira direita (DRTD: %) em cada marcha utilizada no cultivo mínimo, por rotação de trabalho do motor do trator

Marcha	Rotação (rpm)		
	1600	1900	2200
A2	6,80 a	7,74 a	10,11 a
A3	9,00 a	8,56 a	11,55 a
B1	3,71 b	9,14 a	10,50 a

DMS = 2,65

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Furlani *et al.* (2007) observaram diminuição da patinagem com o aumento da velocidade, quando avaliou o desempenho de uma semeadora-adubadora no sistema plantio direto.

Porém, estes resultados são opostos aos encontrados por Mahl (2006), com o aumento da velocidade de 5,5 para 10,1 km h⁻¹ houve aumento no índice de patinagem de 16,6% ao avaliar os desempenhos operacional e energético de uma semeadora-adubadora de plantio direto em dois tipos de solo com distintas vegetações e com diferentes velocidades de semeadura, elementos de corte e sulcadores.

Como em cada operação do cultivo mínimo, em cada marcha utilizada não foi detectada regressão significativa do DRTD em função da rotação do motor. Devido a isto a equação da reta é constituída pela média dos valores observados da variável, dada pelas equações: $\hat{Y}_{A2} = 8,22 \%$; $\hat{Y}_{A3} = 9,71$ e $\hat{Y}_{B1} = 7,79 \%$

Em qualquer marcha utilizada as maiores médias de DRDD foram observadas na operação de escarificação no cultivo mínimo (Tabela 30), por ser a operação que proporcionou maior requerimento de força de tração, conforme Tabela 7.

Apenas na operação de escarificação observou-se diferenças entre as médias de marchas para DRDD, sendo a menor média conseguida trabalhando na marcha A2.

Tabela 32 – Valores médios de deslizamento da roda dianteira direita (DRDD: %) em cada combinação de operação e marcha no cultivo mínimo

Operação	Marcha		
	A2	A3	B1
Escarificação	13,53 aB	19,57 aA	17,68 aA
Pulverização	3,38 bA	3,95 bA	2,88 bA
Semeadura	7,62 abA	7,75 bA	6,61 bA
DMS Colunas = 7,80		DMS Linhas = 3,62	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.2.6.3. Deslizamento das Rodas Motrizes do Trator no Plantio Direto

Na análise de variância para deslizamento em cada roda do trator no plantio direto não foi observada significância da interação tripla entre os fatores operação de preparo do solo x marcha x rotação do motor em nenhuma das rodas. Para o (DRDE, DRTE e DRTD) verificou-se o efeito significativo somente da operação; para o (DRDD) foram observados os efeitos isolados de operação, bem como o efeito da interação (rotação x operação), como se observa na Tabela 31.

Para DRTD observa-se maiores valores de CV nas parcelas (operação), este fato foi notado no cultivo mínimo e repetiu no plantio direto, pode ter ocorrido devido à inclinação do terreno, e à grande quantidade de cobertura vegetal presente na área, fazendo com que o rodado do trator perca aderência ao solo, proporcionando maiores variações de deslizamento nas rodas do lado direito do trator. Verificou-se também que o DRDE apresentou o menor coeficiente de variação nas subparcelas (marcha) (27,53%) comparando com os deslizamentos nas demais rodas, os quais variaram de 34% a 41%. Os CVs das subsubparcelas variaram de 27 a 60%.

Tabela 33 – Análise de variância para deslizamento de cada roda do trator em função da operação, da marcha e da rotação de trabalho no sistema plantio direto

FV	GL	Quadrados Médios			
		DRDE(%)	DRDD(%)	DRTE(%)	DRTD(%)
Blocos	2	21,3312	10,0546	13,0104	8,3540
Operação (O)	1	128,5288*	258,9018*	750,8490*	708,2893*
Erro a	2	1,8580	2,6694	8,1252	38,1798
Marcha (M)	2	5,2496 ^{NS}	0,5470 ^{NS}	32,2063 ^{NS}	3,1395 ^{NS}
O x M	2	0,9000 ^{NS}	0,2115 ^{NS}	6,9254 ^{NS}	0,5251 ^{NS}
Erro b	8	1,7169	4,7893	7,7999	4,8569
Rotação (R)	2	0,1707	39,6629	2,6046	29,7311
R x O	2	0,8987 ^{NS}	10,1577*	11,3045 ^{NS}	9,6041 ^{NS}
R x M	4	2,4170 ^{NS}	2,7435 ^{NS}	19,5469 ^{NS}	5,1220 ^{NS}
R x M x O	4	0,4167 ^{NS}	1,3609 ^{NS}	34,6605 ^{NS}	4,7637 ^{NS}
Erro c	24	1,7921	2,2815	18,1031	4,8326
Média		4,76	5,46	7,08	6,37
CV-a (%)		28,64	29,93	40,27	97,01
CV-b (%)		27,53	40,09	39,45	34,60
CV-c (%)		28,12	27,67	60,11	34,51

^{NS}, * e **: não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Observa-se pela Tabela 32 que houve diferenças significativas entre as médias do DRDD para as operações de trabalho em todas as rotações avaliadas, isto pode ter acontecido porque a força requerida para a operação de pulverização foi muito pequena e a força requerida para a semeadura foi bem maior, como está exposto na Tabela 8, o que provocou maior índice de deslizamento do rodado do trator; um outro fator que deve ser levado em consideração é o grande volume de cobertura vegetal de braquiária, que induz à maior dificuldade de aderência do rodado.

A regressão da variável DRDD em função da rotação do motor em cada operação, independente da marcha, não foi significativa. Adota-se aqui a mesma justificativa feita para o preparo convencional e cultivo mínimo, sendo então representada pelas médias dos valores da variáveis, dadas pelas equações, $\hat{Y} = 3,27\%$ e $\hat{Y} = 7,65\%$.

Tabela 34 – Valores médios do deslizamento da roda dianteira direita (DRDD: %) em cada operação do sistema plantio direto, por rotação de trabalho do trator

Operação	Rotação (rpm)		
	1600	1900	2200
Pulverização	4,321 b	2,313 b	3,174 b
Semeadura	8,672 a	5,204 a	9,070 a
DMS = 1,594			

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve diferenças significativas entre as médias de operação de trabalho, para as variáveis DRDE, DRTE e DRTD no plantio direto (Tabela 33) sendo as maiores médias verificadas na operação de semeadura devido à maior força requerida para movimentação da semeadora-adubadora conforme mostrado na Tabela 8, o que provocou maiores índices de deslizamento.

Tabela 35 – Valores médios de operação para as variáveis deslizamento da roda dianteira esquerda (DRDE: %), deslizamento da roda traseira esquerda (DRTE: %) e deslizamento da roda traseira direita (DRTD: %) no sistema plantio direto

Operação	DRDE	DRTE	DRTD
Pulverização	3,217 b	3,350 b	2,747 b
Semeadura	6,302 a	10,807 a	9,991 a
DMS	1,597	3,340	7,242

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Cortez *et al.* (2008) com o objetivo de avaliar o desempenho de um trator agrícola sob dois sistemas de preparo do solo (plantio direto e convencional), juntamente com três marchas na operação de semeadura da crotalária, encontrou o valor de 8,5 % de deslizamento no rodado do trator durante a semeadura sobre o plantio direto. Valor este próximo do encontrado neste trabalho.

Observou-se que as variáveis DRDE, DRTE e DRTD, não variaram em função da rotação do motor, apresentando regressão não significativa. Pelo fato de a rotação não ter influenciado o DRDE, DRTE e DRTD as equações das retas são

constituídas pelas médias dos valores observados das variáveis, dada pelas equações: $\hat{Y}_{DRDE} = 4,76 \%$; $\hat{Y}_{DRTE} = 7,08 \%$ e $\hat{Y}_{DRTD} = 6,37 \%$.

4.3. Avaliação do Plantio

4.3.1. Profundidade de Semeadura

Os valores encontrados para profundidade de semeadura estão expostos na Tabela 34. Percebe-se pelos resultados que houve um gradiente de valores de profundidade em razão do tipo de preparo, como era esperado, quanto maior a mobilização do solo mais profunda é a deposição de sementes.

Tabela 36 – Média e desvio padrão da profundidade de semeadura (m) em cada combinação de marcha e rotação do motor nos três sistemas de manejo do solo

Marcha	Rot.	PC		CM		PD	
		Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
A2	1600	0,0714	0,000153	0,0634	0,000306	0,0499	0,000100
	1900	0,0721	0,000153	0,0590	0,003490	0,0509	0,000814
	2200	0,0650	0,000153	0,0570	0,000115	0,0508	0,001050
A3	1600	0,0702	0,000153	0,0613	0,003780	0,0536	0,000252
	1900	0,0715	0,000153	0,0568	0,000153	0,0512	0,000321
	2200	0,0640	0,000153	0,0567	0,000173	0,0498	0,001069
B1	1600	0,0687	0,000153	0,0632	0,000100	0,0518	0,000100
	1900	0,0691	0,000153	0,0587	0,003980	0,0507	0,001168
	2200	0,0630	0,000153	0,0587	0,003810	0,0497	0,001102

Resultados de ordem semelhantes foram encontrados por Silva (2004), quando avaliou o efeito de diferentes sistemas de manejo do solo e espaçamentos entre linhas sobre cultivares de milho, onde obteve para o preparo convencional 0,0633 m; para o cultivo mínimo 0,0521 m e para o plantio direto 0,0380 m.

Mahl (2006) encontrou valores da ordem de 0,055 m de profundidade de deposição das sementes de milho em plantio direto, quando avaliou os

desempenhos operacional e energético de uma semeadora-adubadora de plantio direto.

Piffer (2008) ao comparar dois tipos de cobertura vegetal de inverno, através de três sistemas de manejo do solo, avaliando seus efeitos no crescimento e desenvolvimento da cultura do milho. Conseguiu os seguintes valores de profundidade de deposição das sementes: para o plantio convencional, 0,0645 m; para o cultivo mínimo, 0,0642 m e para o plantio direto 0,0605 m.

Seki (2010) avaliando a demanda energética nas operações de descompactação do solo e a produtividade das culturas da soja e milho, obteve para o cultivo mínimo 0,0541 m e para o plantio direto 0,042 m de profundidade de deposição das sementes de milho.

4.3.2. Emergência das Plântulas

Pode-se verificar pela Figura 18 que a variabilidade dos dados em relação à média do índice de velocidade de emergência (IVE) e percentual de emergência (PE) foi menor no PD em comparação com o PC e CM.

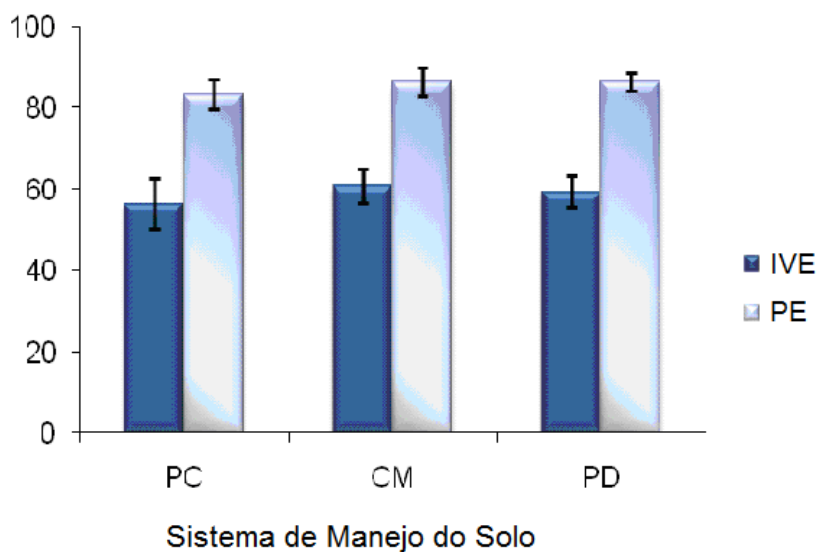


Figura 19 – Média e desvio padrão (barras verticais) das variáveis: Índice de Velocidade de Emergência (IVE) e percentual de Emergência (PE) em cada sistema de preparo do solo (PC: preparo convencional; CM: cultivo mínimo; PD: plantio direto).

Menores resultados de índice de velocidade de emergência foram encontrados por Rezende *et al.* (2005), em média encontraram 16 plântulas por dia, quando verificaram os efeitos da interação entre a inoculação com o fungo *Trichoderma harzianum* e o tratamento com fungicidas sobre a qualidade de sementes de milho.

Viganó *et al.* (2008) avaliaram o na cultura do milho e obtiveram resultados em média de 13,93 plântulas por dia. Reis *et al.* (2006), conseguiram um índice de velocidade de emergência, apresentando valor médio de 9,4 plântulas por dia. Esses valores são inferiores aos observados neste trabalho, no qual foram obtidas aproximadamente 59,00 plântulas por dia.

Reis *et al.* (2006) avaliaram a densidade do solo na região da semente, em sistema plantio direto, utilizando a tomografia computadorizada, encontraram valores médios de percentual de emergência que variaram de 77 a 87%, semelhantes aos valores encontrados neste trabalho, que foram em média de 85,38 %.

4.3.3. Produtividade de Massa de Matéria Verde

Pode-se observar na Tabela 35 as médias de produtividade de massa verde das plantas de milho, em função do sistema de preparo do solo.

Tabela 37 – Média e desvio padrão da produtividade de massa verde do milho (kg ha⁻¹) em cada combinação de marcha e rotação do motor nos três sistemas de manejo do solo

Marcha	Rot.	PC		CM		PD	
		Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
A2	1600	25.353	1.533	24.078	5.581	28.176	1.640
	1900	25.490	3.365	27.627	2.079	30.196	2.285
	2200	22.922	6.485	24.255	3.883	25.647	4.102
A3	1600	27.725	1.053	27.451	6.835	27.216	1.620
	1900	22.863	2.592	27.882	2.889	29.078	4.386
	2200	23.137	4,747	25.686	3.482	28.333	1.990
B1	1600	30.275	1.342	26.529	3.210	25.961	1.452
	1900	28.471	2.143	27.176	2.346	28.235	3.416
	2200	27.294	1.426	25.373	1.374	25.824	4.458

Custódio *et al.* (2000) observaram o comportamento de quatro cultivares de milho em três sistemas de cultivo, onde obtiveram os resultados de maior produtividade de massa verde, para o sistema convencional, 23.830 kg ha⁻¹, no sistema cultivo mínimo, 21.420 kg ha⁻¹ e para o sistema plantio direto, 27.060 kg ha⁻¹.

Resultados semelhantes foram encontrados por Mello *et al.* (2005), quando avaliaram o potencial produtivo e qualitativo de híbridos de milho para a produção de silagem, obtiveram valores de produtividade que variaram de 20.990 a 25.320 kg ha⁻¹.

Borghini (2007) com o objetivo de estudar o comportamento do milho em diferentes populações, sob diferentes sistemas de manejo do solo, encontrou resultados para produtividade de massa verde no preparo convencional de 14.470 kg ha⁻¹, no cultivo mínimo de 14.407 kg ha⁻¹ e no plantio direto 15.446 kg ha⁻¹, confirmando maior produtividade de massa verde para o sistema plantio direto, corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho.

5. CONCLUSÕES

- O aumento da velocidade proporciona aumento da força de tração e da capacidade de trabalho teórica. Entre os implementos avaliados o que requer maior força de tração é o escarificador;
- O consumo horário de combustível sofre influência do sistema de manejo, o menor consumo horário médio ocorre no plantio direto, seguido pelo cultivo mínimo e preparo convencional. A menor velocidade promove o menor consumo horário que aumenta à medida que a velocidade também aumenta;
- Com o aumento do número de operações, há aumento no consumo horário em quaisquer das rotações do motor, de forma que o plantio direto promove menores médias que o cultivo mínimo e este, por sua vez, apresenta menores médias que o sistema convencional;
- O consumo de combustível por área trabalhada é afetado pelos sistemas de preparo, sendo menor no plantio direto comparado com o preparo convencional seguido do cultivo mínimo. Também é afetado pela velocidade de deslocamento, à medida que aumenta a velocidade reduz o consumo de combustível por área trabalhada;
- O consumo de combustível por volume de solo mobilizado é afetado pelo sistema de preparo do solo e segue o mesmo comportamento do consumo de combustível por área trabalhada;
- No preparo convencional e cultivo mínimo utilizando a marcha A2 de menor velocidade obtém-se a menor demanda energética, no plantio direto as três marchas avaliadas fornecem médias iguais de demanda energética e é onde se obtém as menores médias. Em cada marcha utilizada para o preparo convencional e cultivo mínimo, não se encontra diferença para demanda energética e ao passar da marcha A2 para B1, o que implica em aumento de velocidade, há aumento da demanda energética;
- Em quaisquer das rotações utilizadas as menores médias de demanda energética foram obtidas com o plantio direto; o cultivo mínimo e o sistema convencional não diferem neste aspecto;

- Em nenhuma das variáveis foi verificado relação de causa e efeito com o fator rotação;
- No preparo convencional o maior índice de deslizamento ocorre na operação de semeadura, no cultivo mínimo o maior índice de deslizamento ocorre na operação de escarificação e no plantio direto o maior índice de deslizamento ocorre na operação de semeadura;
- A maior profundidade de semeadura encontra-se no preparo convencional seguido do cultivo mínimo e planto direto.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. A. S.; SILVA, C. A. T.; SILVA, S. L. Desempenho energético de um conjunto trator-semeadora em função do escalonamento de marchas e rotações do motor. **Revista Agrarian**. Dourados, RS, v.3, n.7, p.63-70, 2010.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª Aproximação. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. 359 p.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. E. A. S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. 2004. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 26, n.1, p. 27-34, 2004.

American Society of Agricultural Engineers. Agricultural machinery management data. In:____. **ASAE Standards 1996**. St. Joseph, Michigan, 1996. p. 332-339. (ASAE S313.2).

ASABE. American Society of Agricultural and Biological Engineers. ASAE EP496.3 Agricultural Machinery Management. In: **ASABE Standards 2006**. St. Joseph, 2006. p. 385-390.

ANDREOTTI, M.; ARALDI, M.; GUIMARÃES, V. F.; FURLANI JÚNIOR, E.; BUZZETTI, S. Produtividade do milho safrinha e modificações químicas de um latossolo em sistema plantio direto em função de espécies de cobertura após calagem superficial. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 109-115, 2008.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32: p. 975-983, 2008.

BORGES, J. R.; PAULETTO, E. A.; SOUSA, R. O.; PINTO, L. F. S.; LEITZKE, VOLNEI, W. Resistência à penetração de um gleissolo submetido a sistemas de cultivo e culturas. **Revista brasileira de Agrociência**, v. 10, n. 1, p. 83-86, jan-mar. 2004.

BORGES, P. H. M. **Desempenho de conjuntos mecanizados em função do sistema de preparo do solo e da velocidade de trabalho**. 2008. 101 f. Relatório (Pós-Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BORGHI, E.; MELLO, L. M. M.; BERGAMASCHINE, A. F.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade e qualidade de forragem de milho em função da população de plantas, do sistema de preparo do solo e da adubação. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.13, n.4, p.465-471, out-dez. 2007.

BORTOLOTTI, V. C.; PINHEIRO NETO, R.; BORTOLOTTI, M. C. Demanda energética de uma semeadora-adubadora para soja sob diferentes velocidades de deslocamento e coberturas do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.122-130, jan./abr. 2006.

BROCH, D. L.; CECCON, G. Produção de milho safrinha com integração lavoura e pecuária. 2008. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_2/safrinha/index.htm>. Acesso em: 13/4/2011.

CARVALHO FILHO, A.; BONACIM, J. L. G.; CORTEZ, J. W.; CARVALHO, L. C. C. Mobilização de um latossolo vermelho acriférico em função de sistemas de preparo do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 3, p. 1-7, July/Sept. 2008.

CECCON, G. **Estado da arte em produção de palha no centro-oeste brasileiro**: relatório do Projeto Agrisus n. 362/07. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007. 10 p.

CEPIK, C. T. C.; TREIN, C. T.; LEVIEN, R. Força de tração e volume de solo mobilizado por haste sulcadora em semeadura direta sobre campo nativo, em função do teor de água no solo, profundidade e velocidade de operação. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n. 2, p. 447-457, 2005.

CHAILA, S. Métodos de evaluación de malezas para estudios de poblacion y control. **Malezas**, v. 14, n.2, p. 1-78, 1986.

CHIODEROLI, C. A. **Consortiação de braquiárias com milho outonal em sistema plantio direto como cultura antecessora da soja de verão na integração agricultura-pecuária**. 2010. 82f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira (SP).

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, sétimo levantamento, Abr 2011**. Brasília, 2011. Disponível em: <www.conab.com.br>.

CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; GROTTA, D. C. Efeito residual do preparo do solo e velocidade de deslocamento na operação de semeadura da *Crotalaria juncea*. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.9, n.3, p.357-362, 2008.

CUSTÓDIO, D. P.; PASQUALETTO, A.; OLIVEIRA, I. P. Comportamento de cultivares de milho (*zea mays*) e sistemas de cultivo. **Revista Ciências Agrotécnicas**, p. 24 -32, 2000.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; BACALTCHUK, B.; SATTLER, A.; DENARDIN, N. D.; FAGANELLO, A.; WIETHÖLTER, S. Sistema plantio direto: fator de potencialidade da agricultura tropical brasileira. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da (Ed.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 1., part. 15, cap. 1, p. 1251-1273.

DUARTE, J. O. **EMBRAPA milho e sorgo**. 2003.

<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho/importancia.htm>> Acesso em 03 mai. 2011.

DUARTE, A. P. Milho safrinha: característica e sistemas de produção. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Eds.). **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa: UFV, 2004. p. 109-138.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Manual e métodos de análise do solo**. 2 ed. rev. Atual. Rio de Janeiro. 1997. 212p.:il. (Embrapa/CNPS. Documentos; 1).

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Solos, 2009. 366 p.

FERNANDES, H. C.; MION, R. L.; SILVEIRA, J. C. M.; RINALDI, P. C. N.; MODOLO, A. J. Avaliação da demanda energética numa operação conjugada de preparo do solo. **Revista Ceres**, p. 132-138, 2007.

FERNANDES, H. C.; SILVEIRA, J. C. M.; RINALDI, P. C. N. Avaliação do custo energético de diferentes operações agrícolas mecanizadas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1582-1587, set./out. 2008.

FERNANDES, J. C.; GAMERO, C. A. Avaliação do desempenho das máquinas agrícolas na implantação da cultura do girassol. **Revista Energia na Agricultura**. Botucatu, vol. 25, n.2, p.74-87, 2010.

FNP. **Anuário da pecuária brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, 2006. 370 p.

FURLANI, C. E. A.; LOPES, A.; SILVA, R. P.; REIS, G. N. Exigências de uma semeadora-adubadora de precisão variando a velocidade e a condição da superfície do solo. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v.35, n.4, p. 920-923, jul-ago. 2005.

FURLANI, C. E. A.; PAVAN JÚNIOR, A.; LOPES, A.; SILVA, R. P.; GROTTA, D. C. C.; CORTEZ, J. W. Desempenho operacional de semeadora-adubadora em diferentes manejos da cobertura e da velocidade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p. 456-462, maio/ago. 2007.

GABRIEL FILHO, A.; LANÇAS, K. P.; LEITE, F.; ACOSTA, J. J. B.; JESUINO, P. R. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, n.3, p.333–339, 2010.

GARCIA, R. F. Desempenho operacional de conjunto trator – colhedora de feijão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 199-206, 2005. (CD-ROM).

GERMINO, R.; BENEZ, H. S. Ensaio comparativo em dois modelos de hastes sulcadoras para semeadoras-adubadoras de plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 21, n. 3, p. 85-92, 2006.

GONÇALVES, W. S. **Influência da velocidade operacional e da carga aplicada pelas rodas compactadoras sobre o estabelecimento inicial da cultura do milho em sistema de plantio direto**. 2007. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (MG)

GREGO, R. G. **Avaliação de sistemas de preparo do solo e manejo da cobertura vegetal espontânea na cultura do feijão**. 1999. 112 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, Botucatu, SP.

GUARIZ, H. R.; CAMPANHARO, W. A.; PICOLI, M. H. S.; CECÍLIO, R. A.; HOLLANDA, M. P. Variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes coberturas vegetais. In. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIV, 2009, Natal. **Anais...** 25-30 abril, INPE, p. 7709-7716.

KLEIN, V. A.; VIEIRA, M. L.; DURIGON, F. F.; MASSING, J. P.; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.2, p.365-371, mar-abr, 2008.

KORDAS, L. Energy and economic effects of reduced tillage in crop rotation. **Acta Scientiarum Polonorum**, Agricultura v.4, p. 51-59, 2005.

LLANILLO, R. F. ; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Ciências Agrárias**, Londrina, v.27, n.2, p. 205-220, abr/jun. 2006.

LOPES, A.; LANÇAS, K. P.; FURLANI, C. E. F.; NAGAOKA, A. K.; CASTRO NETO, P.; GROTTA, D. C. C. Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. Campina Grande, PB, DEAg/UFCCG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.382-386, 2003.

MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V.; MORAES, M. L. B.; ALONÇO, A. S. **Máquinas de preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais**. Pelotas: 2ed. Editora e Gráfica Universitária-UFPel. 2005. 253p.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

MAHL, D.; GAMERO, C. A.; BENEZ, S. H., FURLANI, C. E. A.; SILVA, A. R. B. Demanda energética e eficiência da distribuição de sementes de milho sob variação de velocidade e condição de solo. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 24, n.1, p.150-157, jan./abr. 2004.

MAHL, D. **Desempenho operacional de semeadora em função de mecanismos de corte, velocidade e solos, no sistema plantio direto do milho.** 2006. 143 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, Botucatu, SP.

MAHL, D.; SILVA, R. B.; GAMERO, C. A.; SILVA, P. R. A. Resistência do solo à penetração, cobertura vegetal e produtividade do milho em plantio direto escarificado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, PR, v. 30, n. 5, p. 741-747, 2008.

MEDEIROS, G. A.; PERINI, M.; J. R. F. LUCARELLI; J. C. FERREIRA; DANIEL, L. A. Desenvolvimento radicular da soja (*Glycine Max*, L.) em Latossolo Vermelho submetido à compactação. **Revista Ecosystema**. Vol. 27, n. 1,2 jan. – dez. 2002.

MELLO, R. C.; MAGALHÃES, P. S. G. Desempenho operacional de um arado de discos. **Bragantia**, Campinas, 54(2): 447-454, 1995.

MELLO, R. C. Alterações físicas em um Latossolo Roxo em função da velocidade de aração e do ângulo horizontal dos discos. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 26, no. 1, p. 35-40, 2004.

MELLO, R.; NÖRNBERG, J. L.; ROCHA, M. G.; DAVID, D. B. Características produtivas e qualitativas de híbridos de milho para produção de silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.1, p.79-94, 2005.

MENTGES, M. I.; REICHERT, J. M.; ROSA, D. P.; VIEIRA, D. A.; ROSA, V. T.; REINERT, D. J. Propriedades físico-hídricas do solo e demanda energética de haste escarificadora em Argissolo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.3, p.315-321, mar. 2010.

MODOLO, A. J.; FERNANDES, H. C.; SCHAEFER, C. E. G.; SILVEIRA, J. C. M. Efeito da compactação do solo sobre a emergência de plântulas de soja de sistema plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 32, n. 4, p. 1259-1265, jul./ago. 2008.

NAGAOKA, A. K.; NOMURA, R. H. C.; BRÖRING, N.; KITANO, N.; JASPER, S. P. Avaliação do consumo de combustível, patinagem e capacidade de campo operacional na operação de semeadura da cultura de aveia preta (*Avena strigosa*) em três sistemas de manejo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31, 2002. Salvador. **Anais...** Salvador: UFB, 2002.

NUNES, A. S.; TIMOSSI, P. C.; PAVANI, M. C. MO. D.; ALVES, A. P. L. C. Formação de cobertura vegetal e manejo de plantas daninhas Na cultura da soja em sistema plantio direto. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 4, p. 727-733, 2010.

PAVAN JÚNIOR, A. **Sistema plantio direto: avaliação de semeadora em função do manejo da palhada e velocidade de trabalho na cultura da soja.** 2006. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e veterinárias da UNESP - Campus de Jaboticabal, Jaboticabal, SP.

PIFFER, C. R.; BENEZ, S. H. Desenvolvimento do sistema radicular de amaranto, milho e pé de galinha em diferentes níveis de compactação. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 20, n. 3, p. 50-62, 2005.

PIFFER, C. R. **Viabilidade da nabiça (*raphanus raphanistrum* L.) como planta de cobertura para a cultura do milho em diferentes sistemas de manejo do solo**. 2008. 174 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Programa Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, Botucatu, SP.

PIFFER, C. R.; BENEZ, S. H. Demanda energética de uma semeadora de fluxo contínuo em três sistemas de manejo do solo. **Revista Energia na Agricultura**. Botucatu, vol. 24, n.4, p.21-32, 2009.

PIRES, L. F.; ROSA, J.A.; TIMM, L. C. Comparação de métodos de medida da densidade do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 33, n. 1, p. 161-170, 2011.

PRADO, R. M.; TORRES, J. L.; ROQUE, C. G.; COAN, O. Semente de milho sob compressão do solo e profundidade de semeadura: influência no índice de velocidade de emergência. **Scientia Agrária**, v.2, n.1/2, p.45-49. 2001.

PROFERT MG - **Programa Interlaboratorial de Controle de Qualidade de Análise de Solo**: Manual do laboratorista. Minas Gerais, 2005. 33 p.

RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p.381–384, 2008.

REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.44, n.3, p.310-319, mar. 2009.

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

REIS, E. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES, H. C.; NAIME, J. M.; ARAÚJO, E. F. Densidade do solo no ambiente solo-semente e velocidade de emergência em sistema de semeadura de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:777-786, 2006.

RESENDE, M. L.; PEREIRA, C. E.; OLIVEIRA, J. A.; GUIMARÃES, R. M. Qualidade de sementes de milho (*Zea mays*) tratadas com fungicida e inoculadas com *Trichoderma harzianum*. **Revista Ciência Agronômica**, Vol. 36, n.1, jan.-abr., p. 60 – 66. 2005.

RINALDI, P. C. N. **Influência da profundidade de adubação e da velocidade de uma semeadora de plantio direto na cultura do feijão.** 2008. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RODRIGUES, L. G. L.; GAMERO, C. A. Demanda energética e capacidade de campo efetiva em diferentes sistemas de manejo do solo. **Energia na agricultura**, Botucatu, v.21, n.4, p.55-62. 2006,

RODRIGUES, J. G. L. **Desempenho operacional de máquinas agrícolas na implantação da cultura do sorgo forrageiro.** 2009. 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, Botucatu, SP.

ROSA, D. P. **Comportamento dinâmico e mecânico do solo sob níveis Diferenciados de escarificação e compactação.** 2007. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (RS).

SALVADOR, N.; BENEZ, S. H.; MION, R. L.; VILIOTTI, C. A. Demanda energética em diferentes sistemas de preparo periódico do solo antes e depois da subsolagem. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 39, n. 3, p. 378-383, jul-set, 2008.

SALVADOR, N.; MION, R. L.; BENEZ, S. H. Consumo de combustível em diferentes sistemas de preparo periódico realizados antes e depois da operação de subsolagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 870-874, maio/jun. 2009.

SANTOS, M. S. **Parâmetros mecânicos de tração em sistemas de cultivo de melancia.** 2010. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS.

SEKI, A. S. **Demanda energética e produtividade da soja e do milho em áreas de plantio direto e cultivo mínimo.** 2010. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Programa Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, Botucatu, SP.

SERRANO, J. M. P. R. Desempenho de tratores agrícolas em tração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.7, p.1021-1027, jul. 2007.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p.71-78, 2002.

SILVA, A. R. B. **Diferentes sistemas de manejo do solo e espaçamentos na cultura do milho (*Zea mays L.*).** 2004. 147 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Programa Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, Botucatu, SP.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um

argissolo vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.544-552, mai-jun. 2005a.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; FERREIRA, M. M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na bacia do alto do Rio Grande MG. **Ciência Agrotécnica**. Lavras, v. 29, n. 4, p. 719-730, jul./ago. 2005b.

SILVEIRA, G. M.; YANAI, K.; KURACHI, S. A. H. Determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas convencionais de preparo do solo, semeadura e cultivo. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. v.10, n.1, p.220-224, 2006.

SILVEIRA, J. C. M. **Desempenho operacional de um conjunto trator-semeadora em função da velocidade e rotação no eixo do motor**. 2008. 145 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SIQUEIRA, R. **Sistemas de preparo em diferentes tipos de coberturas vegetais do solo**. 1999. 191 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP – Campus de Botucatu, Botucatu, SP.

TABATABAEFFAR, A.; EMAMZADEH, H.; VARNAMKHASTI, M.G.; RAHIMIZADEH R.; KARIMI, M. Comparison of energy of tillage systems in wheat production. **Energy**, v. 34, p.41–45, 2009.

TAMAYO, J. H. C.; RODRÍGUEZ B., G. A. R. Evaluation of tillage tools at different working speeds and soil water contents. **Agricultura Técnica (chile)** 67(1):60-67, jan-mar, 2007.

TIMM, L. C.; PIRES, L. F.; ROVERATTI, R.; ARTHUR, R. C. J.; REICHARDT, K.; OLIVEIRA, J. C. M.; BACCHI, O. O. S. Field spatial and temporal patterns of soil water content and bulk density changes. **Scientia Agrícola**. 2006, vol. 63, no. 1, pp. 55-64.

TRINTIN, C. G.; PINHEIRO NETO, R.; BORTOLOTTI, V. C. Demanda energética solicitada por uma semeadora-adubadora para plantio direto, submetida a três velocidades de operação. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 27, no. 1, p. 127-131, Jan./Mar, 2005.

TOLEDO, A.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; LOPES, A.; DABDOUB, M. J. Comportamento espacial da demanda energética em semeadura de amendoim em Latossolo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.3, p.459-467, maio/jun. 2010.

VIGANÓ, J. P.; TAVARES, C. A.; FORALOSSO, A. A.; BITENCOURT, R.; DUARTH, M. D.; SONCELA, R.; SILVA, T. R. B.; SILVA, S. L.; PRIMO, M. A. Velocidade de emergência na cultura do milho em função da velocidade de deslocamento e mecanismos sulcadores. **Cultivando o Saber**. Cascavel, v.1, n.1, p.7-16, 2008.