

WAGNER SANTOS GONÇALVES

DEMANDA ENERGÉTICA PARA O PLANTIO DO MILHO EM
SISTEMAS CONVENCIONAL E DIRETO

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

WAGNER SANTOS GONÇALVES

DEMANDA ENERGÉTICA PARA O PLANTIO DO MILHO EM
SISTEMAS CONVENCIONAL E DIRETO

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: 28 de fevereiro de 2011.

Prof. Renato Adriane Alves Ruas

Prof. Fábio Lúcio Santos

Prof. Adílio Flauzino de Lacerda Filho

Pesq. Roberto Fontes Araújo

Prof. Haroldo Carlos Fernandes

(Orientador)

***Aos meus pais, Clementino e Nilda,
E a Giselle.***

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Obrigado DEUS por essa vitória, pela saúde, por tudo.

Aos meus pais, Clementino Gonçalves Ferreira e Nilda Barbosa Santos Gonçalves pela vida, apoio, educação, carinho e presença nessa caminhada.

Aos meus irmãos, Luciana e Eduardo.

À Giselle pela grande força, paciência, carinho, compreensão que me possibilitou concluir essa etapa.

À Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade oferecida para a realização do doutorado.

Ao Professor Haroldo Carlos Fernandes, pela orientação, pela amizade e pelo apoio sempre presente. Sem dúvida é um exemplo de pessoa do qual devemos seguir.

Aos Professores Luciano Baião Viera e João Carlos Cardoso Galvão pelo apoio técnico dado para a realização do trabalho como co-orientadores.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Gílson, diretor do Instituto Federal Goiano, *Campus* Urutaí pelo apoio e incentivo.

Ao Instituto Federal Goiano, *Campus* Urutaí que forneceu condições técnicas para realização do experimento.

Aos colegas de trabalho Paulo Cesar, Ana Paula, José Ricardo, Reginaldo, Altamir e demais colaboradores pela contribuição para a realização do experimento.

Ao Professor Ernane Ronie Martins pela da amizade e ensinamentos dos princípios sobre pesquisa, ensino e extensão enquanto graduando em engenharia agrônoma.

Aos amigos de pós-graduação que sempre contribuíram: João Cleber, Ronaldo, Paula, Renato e Gerson (*in memoriam*), Fabiane, Gilton, Geice, Fábio, Amanda, Alisson, Walter, Alcir, Sebastião, Diogo, Leonardo, Gislaine, Mario,

Selma, Murilo, Renato, Samuel, Elder, Enrique, William, Danilo, Eduardo, Lorena, Daniel, Antônio, Flávio, Wagner, Wevergton, Raphael, André, Clayton, Frederico, Ariston, Marcus, Marcelo e a quem mais compartilhou comigo os mesmos objetivos nesse programa de pós-graduação.

Aos funcionários da UFV Danilo, Geraldo, Marcelo e Vantuil pelo apoio na operação, adaptação e reparo das máquinas utilizadas.

Aos funcionários da secretária de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e aos demais professores.

BIOGRAFIA

WAGNER SANTOS GONÇALVES, filho de Clementino Gonçalves Ferreira e Nilda Barbosa Santos Gonçalves, nasceu em 14 de outubro de 1981, em Montes Claros, MG.

Em dezembro de 1999, concluiu o ensino médio no Colégio Biotécnico, em Montes Claros, MG.

Em 2000, iniciou o curso de graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Minas Gerais, onde desenvolveu diversas atividades no Programa de Aprimoramento Discente, Programa de Bolsas de Iniciação Científica-PROBIC e no Programa Educação tutorial, colando grau em janeiro de 2005.

Ingressou-se no curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, área de concentração em Mecanização Agrícola, em fevereiro de 2005, obtendo o título de *Magister Scientiae* em março de 2007.

Em março de 2007 ingressou-se no curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, área de concentração Mecanização Agrícola, submetendo-se à defesa de tese para obtenção do título de *Doctor Scientiae* em fevereiro de 2011.

Atua como Professor de Máquinas e Mecanização Agrícola no Instituto Federal Goiano, *Campus* Urutaí, no qual foi nomeado por meio de concurso público em novembro de 2009.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE QUADROS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xii
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT.....	xviii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo geral.....	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
4.1. Descrição da área experimental	13
4.2. Descrição dos equipamentos utilizados	14
4.3. Sementes e insumos	15
4.4. Descrição dos tratamentos	16
4.5. Delineamento experimental	19
4.6. Medições realizadas	20
4.6.1. Determinação do consumo de combustível	20
4.6.2. Determinação da força média necessária para tracionar a semeadora-adubadora.....	22
4.6.3. Determinação da resistência do solo à penetração	25
4.6.4. Determinação do teor de água do solo	25
4.7. Demanda energética para tracionar a semeadora.....	26
4.7.1. Estimativa da força demandada para tracionar a semeadora- adubadora.....	26

4.7.2.	Velocidade média operacional	26
4.7.3.	Determinação da patinagem	27
4.7.4.	Potência demandada para tracionar da semeadora-adubadora ...	27
4.7.5.	Capacidade operacional efetiva	28
4.7.6.	Custo do combustível por unidade de área trabalhada.....	28
4.7.7.	Consumo horário de combustível	29
4.7.8.	Consumo específico de combustível.....	29
4.7.9.	Energia demandada por área	30
4.8.	Estabelecimento inicial da cultura.....	30
4.8.1.	Uniformidade de distribuição de sementes	30
4.8.2.	Porcentagem e índice de velocidade de emergência de plântulas	31
4.9.	Estimativa de custo da irrigação	32
4.10.	Análise estatística dos dados.....	33
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1.	Resistência do solo à penetração	34
5.2.	Teor de água do solo	36
5.3.	Demanda energética para tracionar a semeadora-adubadora.....	37
5.3.1.	Força demandada para tracionar a semeadora-adubadora.....	37
5.3.2.	Velocidade média operacional e patinagem das rodas motrizes ..	41
5.3.3.	Potência demandada para tracionar a semeadora-adubadora	41
5.3.4.	Consumo horário de combustível	43
5.3.5.	Capacidade operacional	45
5.3.6.	Custo do combustível por área trabalhada	46
5.3.7.	Consumo específico de combustível.....	46
5.3.8.	Energia demandada por área	47

5.4. Estabelecimento inicial da cultura.....	48
5.4.1. Uniformidade de distribuição longitudinal de plântulas	48
5.4.1.1. Espaçamentos Falhos.....	48
5.4.1.2. Espaçamentos Múltiplos	49
5.4.1.3. Espaçamentos Aceitáveis	51
5.4.2. Porcentagem e velocidade de emergência de plântulas.....	52
5.4.2.1. Porcentagem de emergência	52
5.4.2.2. Índice de velocidade de emergência.....	53
5.5. Uso de irrigação	54
6. CONCLUSÕES.....	55
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
APÊNDICE	61

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.	Vista posterior da semeadora-adubadora.....	14
FIGURA 2.	Vista lateral da semeadora-adubadora.....	14
FIGURA 3.	Parcelas experimentais submetidas sistema de plantio convencional	17
FIGURA 4.	Arado fixo utilizado para o preparo convencional do solo.....	17
FIGURA 5.	Grade “off-set” utilizada para o preparo convencional do solo..	18
FIGURA 6.	Parcelas com palhada predominante de braquiária (<i>Brachiaria decumbens</i>).....	19
FIGURA 7.	Disposição das parcelas experimentais e blocos	20
FIGURA 8.	Área experimental.....	20
FIGURA 9.	Representação esquemática do medidor do consumo de combustível no trator operando em modo de alimentação do motor	21
FIGURA 10.	Representação esquemática do medidor do consumo de combustível no trator operando em modo de reabastecimento da proveta	22
FIGURA 11.	Partes da estrutura de adaptação desenvolvida para instalação da célula de carga entre o trator e a semeadora-adubadora	23
FIGURA 12.	Estrutura de adaptação desenvolvida para instalação da célula de carga entre o trator e a semeadora-adubadora	23
FIGURA 13.	Estrutura de adaptação desenvolvida para instalação da célula de carga entre o trator e a semeadora-adubadora em cor amarela, instalada no trator utilizado no experimento	24
FIGURA 14.	Penetrômetro utilizado para determinar a resistência do solo à penetração	25
FIGURA 15.	Resistência do solo à penetração em função da profundidade em cada bloco do experimento	35

FIGURA 16. Resistência do solo à penetração em função da profundidade para os tratamentos	35
--	----

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1.	Características agronômicas do cultivar AG1051	16
QUADRO 2.	Limites de tolerância para as variações dos espaçamentos (Xi) entre sementes e o tipo de espaçamento considerado.	31

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Análise de variância do teor de água do solo em função do sistema de plantio e adição de água no solo	62
TABELA 2 - Análise de variância do teor de água do solo para o desdobramento do tipo de sistema de plantio dentro de nível de aplicação de água no solo	62
TABELA 3 - Valores médios obtidos para teor de água no solo (porcentagem) no momento da semeadura em função dos tipos de sistema de plantio dentro do nível com adição de água no solo	62
TABELA 4 - Valores médios obtidos para teor de água no solo (porcentagem) no momento da semeadura em função dos tipos de sistema de plantio dentro do nível sem adição de água no solo	63
TABELA 5 - Análise de variância do teor de água do solo para o desdobramento do fator adição de água dentro de cada tipo de sistema de plantio	63
TABELA 6 - Valores médios obtidos para teor de água no solo (porcentagem) no momento da semeadura nas parcelas sobre sistema de plantio convencional	63
TABELA 7 - Valores médios obtidos para teor de água no solo (porcentagem) no momento da semeadura nas parcelas em função do sistema de plantio	63
TABELA 8 - Análise de variância da força de tração demandada (kN) pela semeadora-adubadora em função do tipo de sistema de plantio e adição de água no solo	64
TABELA 9 - Análise de variância do desdobramento do fator sistema de plantio dentro de cada nível de adição de água no solo para força de tração demandada (kN) pela semeadora-adubadora	64

TABELA 10 - Valores médios obtidos para força média de tração demandada (KN) pela semeadora-adubadora em função do tipo de sistema de plantio nas parcelas com adição de água no solo	64
TABELA 11 - Valores médios obtidos para força média de tração demandada (KN) pela semeadora-adubadora em função do tipo de sistema de plantio nas parcelas sem adição de água no solo	65
TABELA 12 - Análise de variância do desdobramento do fator adição de água no solo dentro de cada tipo de sistema de plantio para força de tração demandada (kN) pela semeadora-adubadora	65
TABELA 13 - Valores médios obtidos para força média de tração demandada (KN) pela semeadora-adubadora em função do fator adição de água no solo nas parcelas sobre sistema de plantio convencional.....	65
TABELA 14 - Valores médios obtidos para força média de tração demandada (KN) pela semeadora-adubadora em função do fator adição de água no solo nas parcelas sobre sistema de plantio direto	65
TABELA 15 - Análise de variância da velocidade média operacional de uma semeadora-adubadora em função do sistema de plantio e adição de água no solo	66
TABELA 16 - Análise de variância da patinagem durante a operação de uma semeadora-adubadora em função do sistema de plantio e adição de água no solo	66
TABELA 17 - Análise de variância para potência demandada (kW) pela semeadora-adubadora em função do sistema de plantio e adição de água no solo	67
TABELA 18 - Valores médios obtidos para potência (kW) demandada para tracionar a semeadora-adubadora em função do sistema de plantio	67
TABELA 19 - Análise de variância do consumo de combustível de uma semeadora-adubadora em função do sistema de plantio e adição de água no solo	67

TABELA 20 - Análise de variância do consumo em uma hora (kg h^{-1}) por um conjunto de trator e uma semeadora-adubadora em função do sistema de plantio e adição de água no solo	68
TABELA 21 - Análise de variância da capacidade operacional de uma semeadora-adubadora em função do sistema de plantio e adição de água no solo	68
TABELA 22 - Análise de variância do custo do combustível em um hectare trabalhado ($\text{R\$ ha}^{-1}$) por uma semeadora-adubadora em função do sistema de plantio e adição de água no solo	68
TABELA 23 - Análise de variância do consumo de combustível por unidade de potência por hora ($\text{g kW}^{-1}\text{h}^{-1}$) de trabalho de um conjunto trator e semeadora-adubadora em função do sistema de plantio e adição de água no solo	69
TABELA 24 - Análise de variância da energia demandada (kW ha^{-1}) por uma semeadora-adubadora em um hectare trabalhado em função do sistema de plantio e adição de água no solo	69
TABELA 25 - Valores médios obtidos para energia demandada (kW ha^{-1}) pela semeadora-adubadora em função do sistema de plantio	69
TABELA 26 - Análise de variância dos valores de espaçamentos falhos entre plântulas de milho em função do sistema de plantio e adição de água no solo	70
TABELA 27 - Análise de variância dos valores de espaçamentos múltiplos entre plântulas de milho em função do sistema de plantio e da adição de água no solo	70
TABELA 28 - Porcentagem médias obtidas para espaçamentos múltiplos de plântulas de milhos semeadas com um conjunto trator semeadora-adubadora em função do sistema de plantio e adição de água no solo	70
TABELA 29 - Análise de variância dos valores de espaçamentos aceitáveis entre plântulas de milho em função do sistema de plantio e adição de água no solo	71

TABELA 30 - Análise de variância dos espaçamentos aceitáveis para o desdobramento do sistema de plantio dentro de cada nível de adição de água no solo	71
TABELA 31 - Porcentagens médias obtidas para espaçamentos aceitáveis entre plântulas em função dos tipos de sistema de plantio nas parcelas em que houve adição de água no solo.....	71
TABELA 32 - Porcentagens médias obtidas para espaçamentos aceitáveis entre plântulas em função dos tipos de sistema de plantio nas parcelas em que não houve adição de água no solo.....	72
TABELA 33 - Análise de variância dos espaçamentos aceitáveis para o desdobramento fator adição de água no solo dentro de cada tipo de sistema de plantio	72
TABELA 34 - Porcentagens médias obtidas para espaçamentos aceitáveis entre plântulas em função da adição de água no solo nas parcelas sobre sistema de plantio convencional.....	72
TABELA 35 - Porcentagens médias obtidas para espaçamentos aceitáveis entre plântulas em função do fator adição de água no solo nas parcelas sobre sistema de plantio direto.....	72
TABELA 36 - Análise de variância da porcentagem de emergência de plântulas de milho em função do tipo de sistema de plantio e adição de água no solo	73
TABELA 37 - Análise de variância para o índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de milho em função do tipo de sistema de plantio e adição de água no solo	73

RESUMO

GONÇALVES, Wagner Santos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2011. **Demanda energética para o plantio do milho em sistemas convencional e direto.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Coorientadores: Luciano Baião Viera e João Carlos Cardoso Galvão.

Objetivou-se avaliar a demanda energética para tracionar uma semeadora-adubadora de precisão durante a semeadura do milho e desenvolvimento inicial das plântulas em função do sistema de plantio e adição de água no solo. Os ensaios foram conduzidos no Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, na cidade de Urutaí-GO, entre 26 de maio a 9 de junho de 2009. Utilizaram-se quatro tratamentos em delineamento de blocos casualizados no esquema fatorial 2x2 com cinco repetições. Combinaram-se os tipos de sistema de plantio (convencional e direto) à adição de água no solo (com adição ou sem adição de água) antes da semeadura-adubação. Foi utilizado um trator marca Ford, modelo 8430DT com motor de ciclo Diesel, quatro tempos e uma semeadora-adubadora de arrasto, Jumil Exacta Air – 2900, modelo EX8 com sistema dosador de adubo por rosca sem fim, dosador de semente do tipo pneumático (pressão negativa) e mecanismo sulcador de adubo/semente por disco duplo defasado. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho com textura média. Foram avaliados a demanda de força, de energia e de potência para tracionar a semeadora-adubadora, a velocidade média operacional, a patinagem, o consumo horário e específico de combustível, a capacidade operacional, o custo do combustível por área, a distribuição longitudinal de plântulas, a porcentagem de emergência de plântulas e o índice de velocidade de emergência de plântulas. Conclui-se que os fatores sistema de plantio e adição de água no solo não afetaram a velocidade operacional, o consumo horário de combustível, a capacidade operacional, o custo de combustível por área trabalhada, o consumo específico de combustível, a porcentagem e índice de velocidade de emergência de plântulas e a porcentagem de espaçamentos falhos. No entanto, a força média

demandada para tracionar a semeadora-adubadora foi menor em sistema de plantio direto sem adição de água e em sistema de plantio convencional com adição de água. A potência e a energia demandada para tracionar a semeadora-adubadora foram maiores em sistema de plantio convencional. A porcentagem de espaçamentos múltiplos foi menor com adição de água antes da semeadura. Sem adição de água não houve diferenças entre os sistemas de plantio para o número de espaçamentos aceitáveis. Com adição de água o sistema de plantio convencional teve maior número de espaçamentos aceitáveis em relação ao sistema de plantio direto.

ABSTRACT

GONÇALVES, Wagner Santos, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2011. **Energetic demand to corn planting in conventional and direct systems.** Adviser: Haroldo Carlos Fernandes. Co-Advisers: Luciano Baião Vieira and João Carlos Cardoso Galvão.

It was objectified to evaluate the energetic demand to pull a precision sower-fertilizer during the corn sowing and initial development of seedlings in function of planting system and water adding in the soil. The essays were conducted at Goiás Federal Institute (Instituto Federal Goiano), Campus Urutaí, in the city of Urutaí-GO, from May 26 to June 9, 2009. It was utilized four treatments in randomized blocks lineation in the factorial scheme 2x2 with five repetitions. It was combined the types of planting system (conventional and direct) to water adding in the soil (with adding or without water adding) before the sowing-fertilizing. It was utilized a Ford-branded tractor, model 8430DT with cycle Diesel engine, four-stroke and a drag sower-fertilizer, Jumil Exacta Air – 2900, model EX8 with endless screw dosing fertilizer system, pneumatic seed dosing (negative pressure) and fertilizer/seed plow mechanism by lagged double disc. The soil in the experimental area was classified as Red Latosol with medium texture. It was evaluated the demand of power, energy and potency to pull the sower-fertilizer, the operational average speed, the skating, the clock worth and specific fuel consuming, the operational capacity, the fuel cost per area, the longitudinal seedling distribution, the emergency percentage of seedling and the index of seedling emergency. It was concluded that the factors planting system and water adding in the soil did not affect operational speed, the clock worth fuel consuming, the operational capacity, the fuel cost per worked area, the specific fuel consuming, the percentage and index of seedling emergency speed and the percentage of spacing flawed. However, the average force demanded to pull the sower-fertilizer was smaller in direct planting system with no water adding and in conventional planting system with water adding. The potency and energy demanded to pull the sower-fertilizer were larger in conventional planting system. The percentage of

multiple spacing was smaller with water adding before the sowing. With no water adding, there were no differences between the planting systems to the acceptable spacing number. With water adding, the conventional planting system had the largest number of acceptable spacing related to the direct planting system.

1. INTRODUÇÃO

A energia torna-se um bem de consumo cada vez mais precioso para o ser humano e qualquer atividade por ele desempenhada. No entanto, juntamente com o consumo de energia, há produção de resíduos indesejáveis como a de gases poluentes originados da queima de combustíveis. Mesmo fontes de energia consideradas “limpas” causam danos à natureza como é o caso das hidrelétricas, alternativa adotada no Brasil com sucesso, mas que não contemplam a manutenção das reservas naturais com toda sua biodiversidade. Com o aumento populacional há a necessidade de mais energia e isso requer a otimização do seu uso sob pena de elevação de custos de produção e comprometimento da sustentabilidade do meio onde o ser humano está inserido.

O desenvolvimento da agricultura sofreu primorosa evolução desde tempos antigos, possibilitando a fixação do homem e independência de alimentos extraídos da natureza. Nesse percurso, as máquinas foram incorporadas ao processo de produção agrícola, muitas vezes por meio de adaptações que deram lugar a engenharia cada vez mais especializada e com propósito de atender uma ou mais operações agrícolas. Nesse contexto destaca-se o papel das semeadoras-adubadoras, que são máquinas agrícolas combinadas, dotadas de mecanismos responsáveis por dosar e distribuir sementes e adubos para a implantação da cultura. Essas máquinas ainda incorporaram, com a adoção do sistema de semeadura direta ou plantio direto, ferramentas responsáveis pelo corte da palhada e mínimo do solo, no sulco de plantio.

A técnica de semeadura direta tem sido utilizada como alternativa para minimizar os efeitos indesejáveis do preparo do solo que até então, eram realizados de forma repetitiva e inadequada. Entretanto, não se pode esperar que o efeito do cultivo intenso por diversos anos seja resolvido de imediato com a adoção de tal prática, uma vez que fatores como adequação à cultura, ao solo e às condições climáticas regionais devem ser levados em consideração. Dessa forma, há uma demanda por estudos que permitam o domínio da técnica de semeadura direta em variados aspectos como, por exemplo, o conhecimento e desenvolvimento das máquinas envolvidas. O preparo

convencional, caracterizado pela aração seguida de gradagem, é uma prática ainda presente, e às vezes necessária, como por exemplo, para a incorporação de corretivos de algumas características químicas do solo.

Dentre várias culturas, o milho se destaca por ser um cereal com alto conteúdo de carboidratos, além de conter outros componentes como proteínas, óleo e vitaminas que o transformam em produto atrativo para a comercialização. Além das características de sabor, a energia, fator nutricional de fundamental importância, faz com que o milho seja largamente empregado na alimentação humana e animal. A cultura do milho, assim como as demais, vem passando por modificações tecnológicas em busca da conciliação do manejo conservacionista do solo e redução dos custos de produção. Dessa forma, o sistema de semeadura direta da cultura passou a ser utilizado com grande intensidade no Brasil.

Do ponto de vista do consumo de energia, a semeadura direta é vantajosa, pois não se faz aração e gradagem. No entanto, há necessidade de ferramentas sulcadoras adicionadas às semeadoras-adubadoras para o preparo localizado do solo. Essas ferramentas, caracterizadas por discos ou hastes sulcadoras, inevitavelmente demandam acréscimo de potência para execução da operação agrícola.

A interação entre máquina-solo-planta influencia a execução da semeadura de modo satisfatório. A presença e o tipo de palhada no sistema de plantio direto, o tipo de preparo do solo, o solo e o seu teor de água, além de características morfofisiológicas das sementes, constituem alguns dos fatores que devem ser considerados na operação de semeadura. Os fabricantes de máquinas agrícolas, conhecedores dessas características, desenvolvem soluções que visam atender essas diferentes exigências.

A umidade do solo influencia a interface solo e máquina. Pneus e ferramentas estão em contato direto com o solo que, sob variação do teor de água, poderá reduzir o atrito bem como também atuar como elemento de adesão entre solo e máquina. Assim, estudos sobre influência da água no solo e na palhada, quando presente, são imprescindíveis para a otimização das operações agrícolas e uso racional da energia.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Objetivou-se avaliar a demanda energética para tracionar uma semeadora-adubadora de precisão durante a semeadura do milho e desenvolvimento inicial das plântulas em função do sistema de plantio e adição de água no solo.

2.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram avaliar as seguintes variáveis durante a semeadura do milho em função dos fatores sistema de plantio e adição de água:

- Consumo de combustível;
- Força média para tração;
- Demanda de potência para tração;
- Patinagem;
- Consumo horário de combustível;
- Capacidade operacional efetiva;
- Custo do combustível por unidade de área trabalhada;
- Consumo específico de combustível;
- Energia demandada por área;
- Uniformidade de distribuição de sementes;
- Porcentagem e velocidade de emergência de plântulas e
- Viabilidade do uso da irrigação.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O uso racional das máquinas agrícolas é fundamental para a rentabilidade da atividade agrícola mecanizada, tanto em plantio convencional quanto em plantio direto; para isso, deve-se possuir informações precisas a respeito do custo operacional das máquinas. O consumo de combustível, reflexo da demanda energética, é um importante componente desse custo, devendo ser otimizado para assegurar a geração de lucros.

Para melhorar a eficiência do uso de combustível, existe grande empenho da engenharia de máquinas, como foi comprovado por Grisso *et al.* (2004) ao avaliar os testes realizados durante o período de 1984 a 2004 com tratores. A partir dos resultados fornecidos pelo *Nebraska Tractor Test Laboratory* (NTTL), o autor observou diminuição de 4,8% por ano no consumo volumétrico específico de combustível, que representa o volume de combustível consumido por cada unidade de potência produzida. Isso evidencia a evolução das máquinas. No entanto, o uso da engenharia isoladamente não é o ideal para melhorar a eficiência do uso do combustível, pois se deve esperar que o usuário também se empenhe para ajustar corretamente as máquinas, selecionar implementos, e assegurar condições necessárias para a realização das tarefas obtendo conseqüentemente o melhor rendimento.

Para avaliar o desempenho de semeadoras ou do conjunto trator-semeadora torna-se necessário mensurar o consumo de combustível. Entretanto, segundo Mialhe (1974), é difícil avaliar com precisão o consumo de combustível dos tratores devido às condições variáveis de carga a que são submetidos durante os trabalhos de campo.

Avaliando uma semeadora-adubadora, em três condições de cobertura do solo e quatro velocidades de deslocamento, Bortolotto *et al.* (2006) concluíram que o consumo horário de combustível foi maior na condição de cobertura com vegetação espontânea.

As semeadoras-adubadoras podem ser avaliadas em função do esforço para tração em diferentes mecanismos sulcadores, cobertura vegetal, teor de água do solo, velocidade de deslocamento, entre outros fatores que podem

influenciar na demanda energética e potência necessária na operação de semeadura.

A compactação do solo causada por máquinas e/ou pisoteio de animais influencia a força requerida para tração de implementos, como foi comprovado por Conte *et al.* (2007). Os autores avaliaram o esforço para tração de hastes sulcadoras de adubo utilizadas em semeadura direta, em um Latossolo Vermelho distroférico. Os autores verificaram correlação significativa e positiva entre os valores de resistência do solo à penetração e o esforço de tração demandado pelas hastes sulcadoras.

O plantio direto tem se mostrado vantajoso para a sustentabilidade da atividade econômica rural e, portanto, as operações agrícolas nesse sistema têm sido alvo de trabalhos como o desenvolvido por Silveira *et al.* (2005a), que avaliaram a demanda de potência e a força de tração de uma semeadora-adubadora, na implantação da cultura do milho safrinha sob plantio direto. O experimento foi conduzido em um Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa. Os tratamentos aplicados foram três velocidades de deslocamento por duas profundidades de deposição de sementes. A força de tração média e a força de tração por linha de semeadura não foram afetadas pelo aumento na profundidade de deposição das sementes. Entretanto, a força de tração específica (razão da força pela profundidade do sulco) foi afetada pela profundidade de deposição de sementes, sendo maior na profundidade de 0,08 m. A demanda de potência média, potência por linha de semeadura e potência específica por profundidade aumentaram com o aumento na velocidade de deslocamento de 2,28 km h⁻¹ para 7,08 km h⁻¹ e na profundidade de deposição de sementes de 0,05m para 0,08 m.

Em semeadura direta da cultura da soja, em solo sob campo natural com pastejo intensivo, os valores da força de tração medida na haste sulcadora aumentaram significativamente em função do aumento da profundidade de trabalho de 0,06 m para 0,12 m conforme observado por Cepik *et al.* (2005). Os autores observaram ainda que, em solo seco, esse aumento foi da ordem de 84%. A força de tração média de 428 N, obtida para a profundidade de atuação de 0,06 m, passou a ser de 786 N, quando a profundidade foi de 0,12 m. Já com o solo friável, esse aumento foi sensivelmente maior, da ordem de 130%. A demanda de tração do sulcador, que era em torno de 614 N, passou para cerca de 1.409 N. Pode-se depreender desse fato que o aumento da

quantidade de água no solo (de 0,10 para 0,14 kg kg⁻¹) resultou em aumento das forças de adesão solo-metal, tendo isso sido observado visualmente durante a execução do teste. A 0,12 m de profundidade a força de tração demandada foi menor na condição úmida podendo ser devido ao efeito de lubrificação pela água ou da influência da mesma na diminuição das tensões entre as partículas sólidas do solo.

A cobertura do solo apresenta-se de variadas formas que vão desde restos culturais àquela formada naturalmente pelo banco de sementes do solo e por sementes trazidas pelos animais e pelo homem. No entanto, há casos em que a manutenção da cobertura vegetal deve ser feita de forma artificial, utilizando-se culturas apropriadas como, por exemplo, a aveia preta (*Avena strigosa* L.). Silveira *et al.* (2005b) avaliaram o requerimento de força de tração de uma semeadora de fluxo contínuo com 14 linhas, na semeadura da aveia preta em experimento conduzido em um Latossolo Vermelho distroférico. O delineamento experimental foi constituído de quatro tratamentos (duas profundidades de deposição de sementes e duas velocidades de deslocamento) em sistema de plantio direto sob resteva de milho. Com o aumento da profundidade de deposição de sementes de 0,0197 m para 0,0268 m, o requerimento de força de tração aumentou de 3,78 kN para 5,51 kN. O aumento da velocidade de deslocamento de 1,45 m s⁻¹ para 1,97 m s⁻¹, provocou acréscimo de 6,90% no requerimento de força de tração na barra.

Quando a operação agrícola mecanizada requer a mobilização do solo, pressupõe-se que a umidade altera a interação entre máquina e implemento, bem como a velocidade de trabalho. Casão Junior *et al.* (1998) avaliaram o desempenho no campo da semeadora-adubadora para plantio direto modelo Magnum 2850 PD, da marca Jumil. Aspectos de demanda energética, de desempenho operacional e morfológicos foram avaliados. Os autores concluíram que: a demanda energética aumentou com o aumento da velocidade de trabalho, pelo aumento da força média de tração; com a consistência plástica do solo (37,7% de umidade volumétrica), a exigência específica de força e potência foi superior à friável (36,9% de umidade volumétrica); com o aumento da velocidade aumenta-se a potência e força requerida para tração; a distribuição longitudinal de plantas foi melhor quando feita a 1,17 m s⁻¹ que a 2,22 m s⁻¹. As plantas emergiram uniformemente e em grande porcentagem, indicando uniformidade nas condições de semeadura,

como a profundidade de sementes, cobertura e compactação do solo.

As semeadoras executam uma tarefa complexa que demanda tempo. Dessa forma, a velocidade de operação merece atenção para não comprometer a qualidade e quantidade de trabalho realizado. O aumento da velocidade pode afetar também a potência como comprovaram Mahl *et al.* (2004) avaliando a demanda energética e eficiência da distribuição de sementes de milho sob variação de velocidade ($1,22\text{ m s}^{-1}$, $1,69\text{ m s}^{-1}$, $2,25\text{ m s}^{-1}$) e condição de solo (plantio direto e solo escarificado). Os autores avaliaram a força de tração, a potência na barra de tração, o consumo de combustível, a capacidade de campo efetiva, a distribuição longitudinal de plantas, o coeficiente de variação, o índice de precisão e o número de plantas por hectare (estande inicial). Os resultados revelaram que, aumentando-se a velocidade de $1,22$ para $2,25\text{ m s}^{-1}$ consegue-se aumentar em 86% a capacidade operacional, com incremento de 96% na demanda de potência na barra de tração, e redução de 26% no consumo operacional de combustível. A maior velocidade ($2,25\text{ m s}^{-1}$) proporcionou menor percentual de espaçamentos normais (81,7) e aumento no percentual de espaçamentos múltiplos (4,19) e falhos (14,11), maior coeficiente de variação e pior índice de precisão. A variação da velocidade não interferiu no número de plantas por hectare.

O mercado dispõe para o consumidor diferentes máquinas que por sua vez possuem diferentes mecanismos e soluções para a execução de uma tarefa. Santos *et al.* (2008) avaliaram três semeadoras para plantio direto de milho com diferentes sistemas de abertura de sulcos para deposição de adubo, deslocando-se a três velocidades ($1,38\text{ m s}^{-1}$, $1,8\text{ m s}^{-1}$ e $2,22\text{ m s}^{-1}$). As variáveis quantificadas foram: patinagem, força média na barra de tração, potência média por mecanismo de semeadura, consumo horário e específico de combustível e capacidade de campo teórica. Os autores concluíram que o uso de sistema de abertura de sulcos para deposição do fertilizante do tipo haste sulcadora aumentaram as exigências de força de tração na barra, da potência por haste nas semeadoras, além dos consumos de combustível (horário e específico) e patinagem, em relação ao sistema de abertura de sulcos do tipo discos dupla.

As máquinas agrícolas são dotadas de pequenos mecanismos que, muitas vezes, se destinam à complementação da semeadura promovendo o contato solo-semente, fundamental para emergência das plântulas. Esse

contato é promovido pelas rodas compactadoras, Gonçalves *et al.* (2010) avaliaram uma semeadora-adubadora com objetivo de conhecer os efeitos da combinação entre as velocidades de deslocamento e as cargas aplicadas pela roda compactadora sobre a emergência das plântulas, e o desenvolvimento inicial da cultura do milho em sistema de plantio direto. Os autores concluíram que houve efeito das diferentes cargas aplicadas para o fator profundidade de deposição das sementes. A aplicação da carga igual a 339 N pela roda compactadora ocasionou menor profundidade de deposição das sementes quando comparada à carga 131,11 N. 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.

As semeadoras-adubadoras possuem unidades de semeadura móveis que podem ser aproximadas, afastadas ou mesmo retiradas, alterando as características operacionais do implemento. Modolo *et al.* (2005) avaliaram o comportamento da força de tração solicitada por uma semeadora-adubadora, variando o número de linhas de semeadura em um Latossolo Vermelho distroférico com relevo plano e textura argilosa. Os tratamentos foram: semeadora equipada com uma, duas, três, quatro e cinco linhas de semeadura, deslocada à velocidade média de $1,53 \text{ m s}^{-1}$. Os autores avaliaram a profundidade do sulco, área de solo mobilizada, força de tração média e força de tração máxima, e concluíram que com o aumento do número de linhas de semeadura de uma para cinco, a força de tração média na barra aumentou de 3,7 para 8,6 kN; ou seja, houve acréscimo de 131,9%.

A demanda energética tem importância na seleção de implementos e no modo de operação dos mesmos e por isso Mercante *et al.* (2005) avaliaram a demanda energética e a uniformidade de distribuição de sementes de milho em duas velocidades de deslocamento de duas semeadoras-adubadoras de precisão. Os tratamentos foram compostos de duas semeadoras (S1=PSE 8/Semeato, S2=PST 2/Super Tatu) e duas velocidades de deslocamento ($V1 = 1,44 \text{ m s}^{-1}$ e $V2 = 2,33 \text{ m s}^{-1}$). O valor médio da força de tração na barra foi de 9,6 kN para S1 e 8,07 kN para S2, enquanto a patinagem foi de 5,83 e 4,26%, para S1 e S2, respectivamente. Os valores obtidos para o espaçamento entre sementes da semeadora S1 nas velocidades V1 e V2 não diferiram estatisticamente entre si.

Os sulcadores, presentes nas semeadoras-adubadoras, são normalmente do tipo haste (facão) e de disco de corte. As diferentes possibilidades de combinação entre essas ferramentas alteram essa operação agrícola. Andreolla *et al.* (2006) avaliaram a potência requerida na barra de tração do trator por uma semeadora com dois tipos de elementos sulcadores, na semeadura da soja, em áreas compactadas pelo pisoteio de animais em sistema de integração lavoura-pecuária. Os tratamentos principais foram compostos de solo úmido com pastejo, solo seco com pastejo e solo sem pastejo; e nos tratamentos secundários foram utilizados sulcadores de haste ou discos duplos. Foram avaliadas a densidade e a resistência do solo à penetração, a força de tração exercida pela semeadora, a velocidade e a potência requerida na barra de tração do trator. As alterações no solo causadas pelo pisoteio do gado não foram suficientes para interferir na demanda de potência. Entre os elementos, as semeadoras com sulcadores de disco exerceram menor força de tração, e a velocidade de deslocamento do conjunto foi maior.

Encontram-se trabalhos que fazem comparações entre a operação de implantação da cultura no sistema convencional e no plantio direto. Avaliando duas semeadoras-adubadoras para plantio direto em um Argilosolo Vermelho-Amarelo com diferentes teores de água (0,29; 0,34 0,37 e 0,42 kg kg⁻¹), Reis *et al.* (2002) concluíram que o consumo de combustível durante a semeadura não teve influência do teor de água.

Furlani *et al.* (2004) avaliaram o desempenho operacional de campo de uma semeadora-adubadora de precisão, equipada com seis linhas espaçadas de 0,55m, em solo argiloso, na semeadura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Os tratamentos consistiram de três métodos de preparo do solo (convencional, escarificação e semeadura direta) combinados com quatro condições de cobertura do solo no inverno (consórcio aveia-preta + nabo forrageiro manejados com rolo-faca, triturador de palhas, herbicida e solo em pousio). Os valores de força e pico de força de tração na barra, patinagem dos rodados motrizes e consumo de combustível foram maiores no preparo com escarificador em relação aos obtidos no preparo convencional e na semeadura direta. A capacidade de campo efetiva foi maior na semeadura direta em relação aos outros tratamentos. Os manejos efetuados nas coberturas vegetais e no solo mantido em pousio não influenciaram em nenhuma das variáveis.

Furlani *et al.* (2005) avaliaram uma semeadora-adubadora de precisão com quatro linhas, na cultura do milho (*Zea mays* L.), trabalhando em Latossolo Vermelho-Escuro eutrófico de textura argilosa. Os fatores que compunham os tratamentos foram as combinações dos sistemas de preparo do solo (convencional, plantio direto e reduzido) com as marchas do trator (3ª reduzida alta, 4ª reduzida baixa e 4ª reduzida alta). Foram analisadas as variáveis: velocidade de deslocamento, redução de velocidade, força e potência na barra de tração, consumo de combustível, rotação do motor e patinagem média dos rodados do trator. Pelos resultados pode-se concluir que a operação de semeadura em solo sob preparo reduzido apresentou maior consumo de combustível, menor velocidade de deslocamento, menor capacidade de campo efetiva e maior patinagem.

Furlani *et al.* (2008) avaliaram o desempenho de uma semeadora-adubadora de precisão em função do preparo do solo (preparo convencional e plantio direto) e das velocidades de deslocamento e da pressão de inflação do pneu. Foram avaliadas as seguintes variáveis: força de tração e potência na barra, consumo de combustível, capacidade de campo operacional, patinagem dos rodados do trator e da semeadora-adubadora, estande inicial e distribuição longitudinal de sementes. Os autores verificaram que o sistema plantio direto demandou maior força (35 %), potência e consumo horário de combustível; o mesmo aconteceu na maior velocidade avaliada. A maior pressão de inflação (517 kPa) dos rodados da semeadora proporcionou menor patinagem e maior estande inicial de plântulas.

O desempenho de uma semeadora-adubadora na implantação da cultura de soja foi avaliado por Koakoski *et al.* (2007). Foi avaliado o efeito o efeito de diferentes mecanismos rompedores e níveis de pressões aplicadas pela roda compactadora em sistema de plantio direto sob três teores de água no solo. Os autores observaram que quando foi usado o mecanismo rompedor do tipo facão, obteve-se, em média, maior porosidade do solo, 24,3% superior à alcançada quando usado o disco duplo. Concluíram que o mecanismo rompedor do tipo facão proporciona maior profundidade de deposição de sementes e porosidade do solo, menor distância entre sementes e menor resistência à penetração. O teor de água influencia a profundidade de deposição, a distância entre sementes, o índice de velocidade de emergência e a resistência do solo à penetração.

Na semeadura mecanizada, diversos fatores interferem no estabelecimento do estande de plantas e, com freqüência, na produtividade da cultura, destacando, entre eles, a velocidade de operação da máquina no campo e a profundidade de deposição do adubo no solo. SILVA *et al.* (2000b) avaliaram o estabelecimento da cultura do milho utilizando-se uma semeadora-adubadora provida de um dosador de sementes de disco horizontal perfurado e de quatro linhas de semeadura. A máquina foi operada em quatro velocidades de deslocamento e em duas profundidades de adubação em um Latossolo Roxo eutrófico com plantio direto há 12 anos. O número de plantas de milho na linha de semeadura foi menor nas maiores velocidades de operação da máquina. A uniformidade dos espaçamentos entre as sementes de milho na linha de semeadura foi considerada excelente para a velocidade de 0,83 m s⁻¹ (91,7% de espaçamentos aceitáveis), regular para 1,67 (70% de espaçamentos aceitáveis) e 2,5 m s⁻¹ (50,9% espaçamentos aceitáveis) e insatisfatória para 3,11 m s⁻¹ (46,7% espaçamentos aceitáveis). As velocidades da semeadora-adubadora de até 1,67 m s⁻¹ e a adubação realizada a 0,1 m de profundidade propiciaram maiores estandes de plantas e número de espigas por metro e foram responsáveis pelos maiores rendimentos de grãos.

A influência de mecanismos rompedores e velocidades de trabalho no desempenho de uma semeadora-adubadora de plantio direto na cultura do feijão foi avaliada por Camilo *et al.* (2004). Os autores utilizaram um conjunto mecanizado composto por um trator de pneus Massey Ferguson, modelo 265 4x2 TDA, com potência máxima de 48 kW (61 cv) no motor a 2000 rpm, e uma semeadora-adubadora de plantio direto para a cultura de feijão, modelo Seed-Max PC 2123, com três linhas de plantio. Os autores concluíram que o mecanismo sulcador tipo disco duplo resultou maior valor médio de patinagem da roda motriz do trator, maior profundidade média de semeadura e maior consumo horário de combustível; o incremento da velocidade aumentou o valor médio de patinagem da roda motriz do trator e não influenciou a profundidade de semeadura e nem o índice de velocidade de emergência; o mecanismo sulcador tipo facão apresentou maior porcentagem e índice de velocidade de emergência de plântulas.

Uma prática importante e que requer novos tipos de avaliação é o uso da irrigação. Normalmente, não é utilizada antes da semeadura e tem a função de possibilitar o controle sobre a disponibilidade de água para a cultura,

sobretudo em períodos de menor precipitação. Para identificar a necessidade de irrigar deve-se analisar diversos fatores, entre os quais, a quantidade e distribuição da chuva, o efeito da irrigação na produção das culturas, a necessidade de água das culturas e a qualidade e disponibilidade de água da fonte (ANDRADE, 2001). Entretanto, não se deve esquecer que a irrigação tem um custo e segundo Bernardo (1989), para o cálculo dos custos variáveis anuais da irrigação, que variam de acordo com o número de horas de utilização do sistema de irrigação, são contabilizados os custos de energia, de manutenção, de mão-de-obra e da água.

A irrigação pode influenciar as operações mecanizadas e favorecer a implantação e estabelecimento da cultura, uma vez que o teor de água no solo pode alterar sua resistência aos mecanismos sulcadores e afetar a germinação das sementes e emergência das plântulas.

A demanda de energia para o preparo do solo e o plantio direto pode estar diretamente relacionada com o estado em que o solo se encontra, tanto em termos de teor de água quanto de desagregação. Reis (2003) estudou a relação solo–semente na região em torno da semente em semeadura direta. O estudo foi conduzido com diferentes teores de água do solo, tipos de mecanismos de abertura do sulco e elementos compactadores. O autor concluiu que as variáveis não interferiram no índice de velocidade de emergência das plântulas, embora com o mecanismo sulcador tipo facão tenha sido observado maior porcentagem de emergência de plantas.

Observa-se que novas pesquisas envolvendo teor de água no solo durante a semeadura podem favorecer o uso racional das máquinas que beneficiam também o desenvolvimento econômico da atividade agrícola.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Descrição da área experimental

O experimento foi conduzido entre 26 de maio a 9 de junho de 2009 na Fazenda Palmital, pertencente ao Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, localizado na Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2,5, Zona Rural do município de Urutaí, Sudeste do estado de Goiás. A cidade está situada na latitude -17°27'49" e longitude de -48°12'06" e possui altitude de 807 metros. O clima é o considerado tropical de altitude, tipo Cwa, segundo Köppen (1948).

O solo da área experimental é do tipo Latossolo Vermelho. Para caracterização física do solo foi coletada uma amostra composta da camada de 0 a 0,2 m do perfil. As quantidades de argila, silte e areia foram 350, 100 e 550 g kg⁻¹, respectivamente. O solo foi classificado como de textura Média, segundo Embrapa (1999).

A declividade da área experimental foi classificada dentro do intervalo de 0 a 5%, recomendado por Coelho (1996) para ensaios de campo com semeadoras.

A cobertura das parcelas em sistema de plantio direto era de 3259 kg ha⁻¹ de palhada predominantemente de braquiária (*Brachiaria decumbens*).

Após a semeadura-adubação da cultura, a umidade do solo da área experimental foi mantida com o uso da irrigação por aspersão convencional com finalidade de fornecer água para germinação e emergência de plântulas.

4.2. Descrição dos equipamentos utilizados

Foi utilizada uma semeadora-adubadora de arrasto, Jumil Exacta Air – 2900, modelo EX8 (Figuras 1 e 2) com sistema dosador de adubo do tipo rosca sem fim, mecanismo sulcador e distribuidor de semente do tipo disco duplo defasado de 35 cm de diâmetro, compactadores flutuantes, controlador de profundidade independentes e dosador de semente do tipo pneumático (pressão negativa).



FIGURA 1. Vista posterior da semeadora-adubadora



FIGURA 2. Vista lateral da semeadora-adubadora

O trator utilizado para tracionar a semeadora-adubadora e acionar o mecanismo dosador de sementes foi da marca Ford, 4x2 TDA (tração dianteira

auxiliar), modelo 8430DT com motor de ciclo Diesel, quatro tempos, injeção direta, turbo, com 6 cilindros, cilindrada de 5,861 cm³, razão de compressão de 16,5:1 e potência máxima de 140 cv (103kw) a 2500 rpm (método DGM/DIN). Os pneus que equiparam o trator foram do tipo R1 com as seguintes especificações: de 24.5 – 32 na traseira, inflados com 138 kPa e de 18.4 – 26 na dianteira, inflados com 152 kPa. A profundidade dos sulcos na região central dos pneus traseiros foi de aproximadamente 0,017 m e nos pneus dianteiros foi de aproximadamente 0,02 m. O trator foi operado com TDA ligada durante a semeadura-adubação.

O trator estava equipado com uma plaina dianteira com lâmina de 2600 mm com acionamento hidráulico. A lâmina foi mantida a um metro de distância do solo durante a semeadura. Os pneus traseiros possuíam lastros de metal com massa de 80 kg em cada roda e água até a parte superior do aro.

4.3. Sementes e insumos

Foram utilizadas sementes de milho híbrido AG1051. As características agronômicas do cultivar estão apresentadas no Quadro 1. Antes da regulagem dos implementos para a semeadura, foi retirada uma amostra do lote sementes para avaliação da germinação. O teste foi realizado utilizando-se como substrato, o papel germitest, umedecido com água destilada na proporção de 2,5:1 (peso da água: peso do papel), com quatro repetições de 50 sementes. Em seguida, as sementes foram colocadas em germinador à temperatura constante de 25°C. A avaliação do teste foi realizada conforme recomendações das "Regras para Análise de Sementes" (BRASIL, 1992) sendo que as sementes apresentaram 100% de germinação na primeira contagem.

Como adubação mineral de plantio foi utilizado o formulado NPK 8- 28 - 16, na dosagem de 215 kg ha⁻¹ para um solo com média disponibilidade de fósforo, como recomendado por Ribeiro *et al.* (1999).

QUADRO 1. Características agronômicas do cultivar AG1051

Característica	Avaliação
Ciclo	Semiprecoce
Florescimento	83-89 dias
Maturação Fisiológica	133-139 dias
Arquitetura foliar	Semi ereta
Grão	Semi duro
Cor	Amarela
“Stay Green”	Bom
Finalidade	Grãos, milho verde e silagem da planta inteira
Empalhamento	Excelente
Nível de investimento	Médio/alto
Sistema radicular	Excelente
Colmo	Bom
Fonte: Agrocere (2010)	

4.4. Descrição dos tratamentos

Foram aplicados quatro tratamentos na semeadura do milho pela associação de dois sistemas de plantio (convencional e direto) e aplicação de água no solo (com adição de água e sem adição de água) antes da semeadura-adubação. O sistema de plantio convencional (Figura 3) foi caracterizado por uma passagem de arado fixo de dois discos de 30 polegadas (Figura 4), e duas passagens de grade destorroadora-niveladora do tipo “off-set” de 36 discos (Figura 5). Os discos do arado foram ajustados com ângulo transversal e ângulo vertical mínimos disponíveis obtendo-se a profundidade desejada de 0,3 m. O ângulo de abertura da grade foi máximo obtendo-se a profundidade de 0,2 m.



FIGURA 3. Parcelas experimentais submetidas sistema de plantio convencional



FIGURA 4. Arado fixo utilizado para o preparo convencional do solo



FIGURA 5. Grade “off-set” utilizada para o preparo convencional do solo

A semeadura-adubação no sistema de plantio direto foi realizada em área com vegetação predominante de braquiária (*Brachiaria decumbens*) com aproximadamente 6 meses de idade (Figura 6). A braquiária foi dessecada 20 dias antes da instalação do experimento utilizando-se herbicida glyphosate, aplicado com pulverizador de barras de 14 metros de comprimento, da marca Jacto, modelo Colúmbia. O volume de calda aplicado foi equivalente a 300 L ha⁻¹. O pulverizador foi equipado com bicos de jato plano tipo “leque” e regulado para dosagem de 3 litros do produto comercial por hectare.

Para a determinação da quantidade média de matéria seca da palhada foram amostradas duas áreas de 0,0625 m² por parcela. As amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até atingir peso constante.



FIGURA 6. Parcelas com palhada predominante de braquiária (*Brachiaria decumbens*)

4.5. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 2x2, sendo dois tipos de sistema de plantio (convencional-C e direto-P) e adição de água no solo (com adição de água-T1 e sem adição de água-T2) e cinco repetições, totalizando vinte unidades experimentais, cada uma com área de 50 m² (2,5 x 20 m) totalizando 1000 m². Na Figura 7 ilustra-se a disposição das parcelas na área experimental e na Figura 8, a vista parcial da área experimental.

Nas parcelas irrigadas antes da semeadura, aplicou-se 0,0044m (aproximadamente 4,4 mm) de lâmina d'água. Nas parcelas não irrigadas a semeadura foi realizada sobre umidade natural do solo.

Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5
C T1	P T2	C T2	P T2	C T1
C T2	P T1	P T2	C T1	P T1
P T2	C T1	C T1	C T2	C T2
P T1	C T2	P T1	P T1	P T2

FIGURA 7. Disposição das parcelas experimentais e blocos



FIGURA 8. Área experimental

4.6. Medições realizadas

4.6.1. Determinação do consumo de combustível

A medição do consumo de combustível foi realizada com auxílio de uma proveta com capacidade de um litro e subdivisões de 10 mililitros, registro de três vias, mangueiras, conectores e reservatório de 20 litros. A proveta foi ligada simultaneamente a um reservatório de abastecimento e ao motor do trator por meio de um registro de três vias. Isso permitiu operar em duas condições alternadas, uma para abastecimento da proveta e outra para fornecimento de combustível ao motor. O retorno de combustível da bomba

injetora e dos bicos injetores foi conectado de forma a realimentar a bomba injetora.

Nas Figuras 9 e 10 estão esquematizadas as opções de funcionamento do sistema de medição de consumo de combustível utilizado. Em cada parcela, o volume do combustível da proveta foi gravado em vídeo no início e no final do percurso. O consumo por parcela foi obtido posteriormente por diferença entre as leituras.

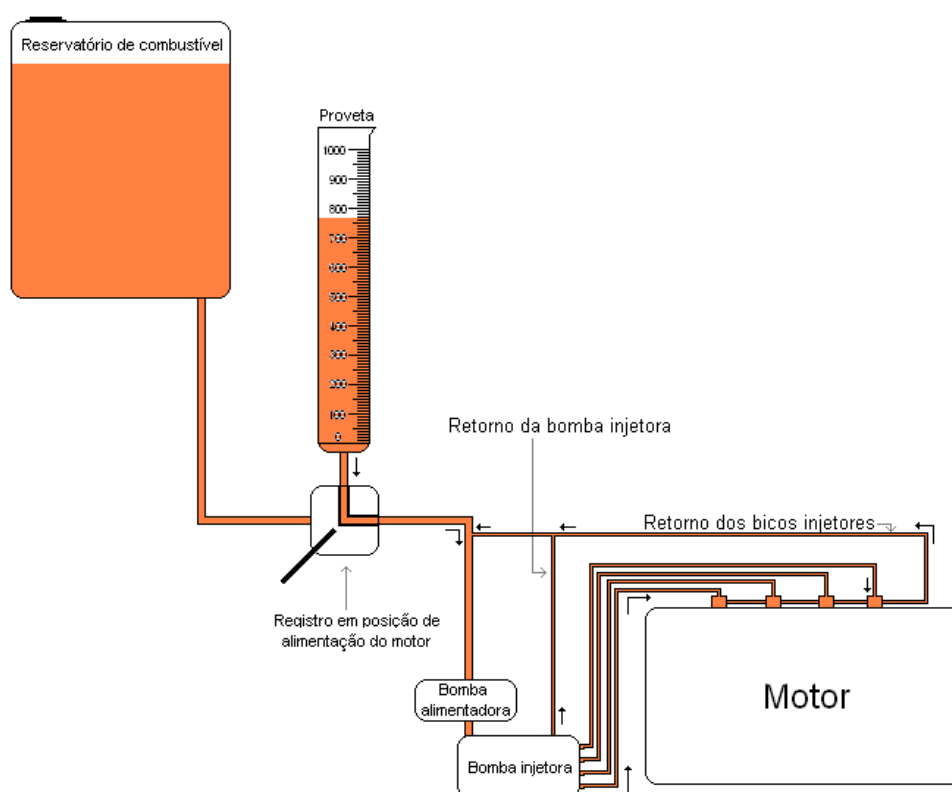


FIGURA 9. Representação esquemática do medidor do consumo de combustível no trator operando em modo de alimentação do motor

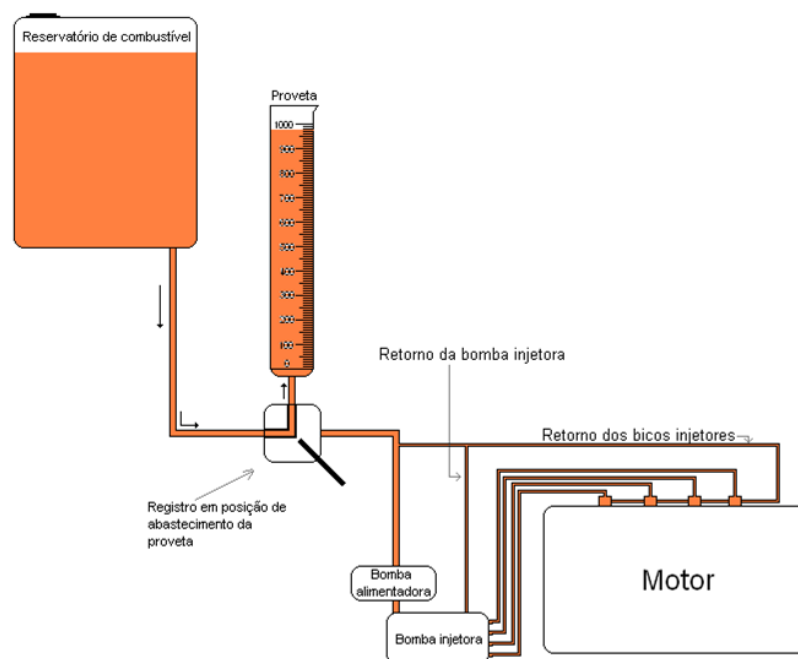


FIGURA 10. Representação esquemática do medidor do consumo de combustível no trator operando em modo de reabastecimento da proveta

4.6.2. Determinação da força média necessária para tracionar a semeadora-adubadora

Para determinação da força média necessária para tracionar a semeadora-adubadora foi utilizada uma célula de carga marca KRATOS, modelo KLS, com capacidade de cinco toneladas.

Para estimar as forças de tração demandadas em função dos diferentes tratamentos foi necessário desenvolver uma estrutura de instalação da célula de carga (Figuras 11, 12 e 13), composta por duas partes, para isolar a força de tração da força ocasionada pela massa das estruturas de acoplamento e produção de vácuo da semeadora-adubadora. A estrutura foi dimensionada de forma que a semeadora-adubadora fosse acoplada no centro de uma coluna entre a barra de tração e a célula de carga; portanto, a força de tração foi dividida igualmente entre a célula de carga e a barra tração.

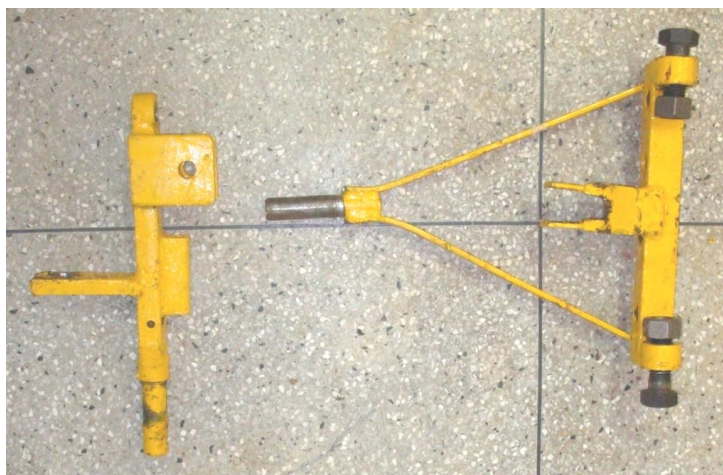


FIGURA 11. Partes da estrutura de adaptação desenvolvida para instalação da célula de carga entre o trator e a semeadora-adubadora



FIGURA 12. Estrutura de adaptação desenvolvida para instalação da célula de carga entre o trator e a semeadora-adubadora



FIGURA 13. Estrutura de adaptação desenvolvida para instalação da célula de carga entre o trator e a semeadora-adubadora em cor amarela, instalada no trator utilizado no experimento

Considerando-se que a força demandada para tracionar os implementos é independente da potência desenvolvida pelo motor, o trator foi operado com a marcha II da caixa de redução e 1ª marcha na caixa principal com motor a 1800 rotações por minuto e TDA ligada. A variável força média de tração foi calculada, aplicando a Equação 1:

$$F_{TRA} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n} \times 0,0098996 \quad (1)$$

em que:

F_{TRA} – Força média de tração (kN);

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

n – Número de observações registradas (adimensional) e

0,0098996 – fator de conversão para kN.

O sistema de aquisição de dados relativo à força necessária para tracionar a semeadora-adubadora foi formado por célula de carga, visor e câmera digital SONY Cyber-Shot DSC-W150 8.1 megapixels. As informações

coletadas por meio de vídeo em formato MPEG foram armazenados no cartão de memória da máquina fotográfica.

4.6.3. Determinação da resistência do solo à penetração

Foi determinada a resistência do solo à penetração, segundo a norma da ASAE S313.2 (ASAE, 1998), próximo à linha de plantio com um penetrômetro modelo PNT-2000 (Figura 14). Foram realizadas duas repetições por unidade experimental, obtendo-se valores na faixa de 0 a 0,4 m de profundidade.



FIGURA 14. Penetrômetro utilizado para determinar a resistência do solo à penetração

4.6.4. Determinação do teor de água do solo

Foi feita uma amostragem de solo para estimar o teor de água de cada unidade experimental. Foram coletadas três amostras de solo em cada parcela, na camada de 0 – 0,20 m de profundidade que foram colocadas em sacos plásticos e homogeneizadas correspondendo a uma amostra composta. Posteriormente, foram retiradas subamostras que foram levadas para secagem em estufa a 65°C até atingir peso constante para determinação da umidade do solo (% em base úmida).

4.7. Demanda energética para tracionar a semeadora

4.7.1. Estimativa da força demandada para tracionar a semeadora-adubadora

A força necessária para tracionar a semeadora-adubadora foi monitorada por meio da célula de carga e do suporte já descrito no item 4.6.2

4.7.2. Velocidade média operacional

A velocidade média operacional é a velocidade que representa quantas unidades de comprimento são percorridas pelo conjunto mecanizado por unidade de tempo.

O conjunto trator-semeadora-adubadora foi deslocado com o trator em marcha II da caixa de marcha de reduções associada à 1ª marcha da caixa principal. A rotação de trabalho do motor foi 1800 rpm (rotações por minuto). A velocidade de deslocamento do trator, em piso de concreto, foi de $0,95 \text{ m s}^{-1}$ ($3,42 \text{ km h}^{-1}$). O tempo gasto para percorrer a distância de 20 metros de cada unidade experimental foi registrado para determinação da velocidade média operacional conforme a Equação 2.

$$V = \frac{E}{T} \quad (2)$$

em que:

V – Velocidade média operacional (m s^{-1});

E – Percurso (m) e

T – Tempo gasto (s).

4.7.3. Determinação da patinagem

Para a determinação da patinagem foram utilizados dados relativos à velocidade de deslocamento teórica e velocidade média operacional conforme a Equação 3.

$$P = \frac{V_t - V}{V_t} \times 100 \quad (3)$$

em que:

P – Patinagem (%);

V_t – velocidade de deslocamento teórica (km h^{-1});

V – velocidade média operacional (km h^{-1}) e

100 – fator de conversão para porcentagem.

4.7.4. Potência demandada para tracionar da semeadora-adubadora

Para o cálculo da potência necessária para tracionar a semeadora-adubadora foi utilizada a velocidade média operacional e a força média de tração, conforme a Equação 4:

$$P_b = \frac{F_m \times V}{366.97} \quad (4)$$

em que:

P_b – Potência média na barra de tração (kW);

F_m – Força média na barra de tração (kgf) e

V – Velocidade média operacional (km h^{-1}).

4.7.5. Capacidade operacional efetiva

A capacidade operacional efetiva do conjunto trator-semeadora-adubadora foi determinada conforme Equação 5.

$$Coe = \frac{Ve \times l}{10} \quad (5)$$

em que:

Coe – Capacidade operacional efetiva ($ha\ h^{-1}$);

Ve – Velocidade média operacional efetiva ($km\ h^{-1}$);

l – Largura de trabalho e

10 – fator de conversão para hectares por hora.

4.7.6. Custo do combustível por unidade de área trabalhada

O custo do combustível por unidade de área trabalhada foi calculado a partir da capacidade operacional efetiva do conjunto trator-semeadora-adubadora e do custo do litro do óleo Diesel conforme Equação 6.

$$Cc = \frac{1}{Coe} Ch \times C \quad (6)$$

em que:

Cc – Custo do combustível por unidade de área trabalhada ($R\$ ha^{-1}$);

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

Coe – Capacidade operacional efetiva ($ha\ h^{-1}$) e

C – Custo do litro do óleo Diesel ($R\$ L^{-1}$).

4.7.7. Consumo horário de combustível

A diferença de nível do combustível na proveta entre o início e final do percurso das parcelas foi armazenada em vídeo no cartão de memória da câmera digital SONY Cyber-Shot DSC-W150 8.1 megapixels. Os dados foram utilizados para o cálculo do consumo horário do combustível em litros por hora ($L h^{-1}$).

A massa específica média do combustível (óleo Diesel) adotada foi de $840 kg m^{-3}$. Esse valor está entre os valores especificados pela Petrobrás de acordo com a norma ASTM E 29 (PETROBRÁS, 2011).

4.7.8. Consumo específico de combustível

O consumo específico de combustível corresponde à massa do combustível consumido, por unidade de potência, por hora de trabalho. Para sua determinação foi utilizada a Equação 7.

$$Ce = \frac{Ch}{Pb} \times \rho \quad (7)$$

em que:

Ce – Consumo específico de combustível ($g kWh^{-1}$);

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

Pb – Potência média para tração do implemento (kW) e

ρ – Massa específica do combustível ($g L^{-1}$).

4.7.9. Energia demandada por área

Para o cálculo da energia demandada por área foram considerados a potência e o tempo gasto, por hectare, conforme Michel Júnior *et al.* (1985), utilizando a Equação 8.

$$En = Pbt \times Tgh \quad (8)$$

em que:

En – Energia demandada por área (kWh ha⁻¹);

Ptb – Potência média para tração da semeadora adubadora (kW) e

Tgh – Tempo gasto para preparar um hectare (h ha⁻¹).

4.8. Estabelecimento inicial da cultura

4.8.1. Uniformidade de distribuição de sementes

A uniformidade de distribuição longitudinal de sementes foi obtida utilizando-se a metodologia apresentada por Kurachi *et al.* (1989). Em cada unidade experimental, foram realizadas amostragens na linha central de semeadura, sendo caracterizado o espaçamento entre 20 sementes. Foram determinadas as porcentagens de espaçamentos aceitáveis, de falhas e de sementes duplas.

A porcentagem de espaçamentos foi calculada considerando todos os espaçamentos entre sementes. Após avaliação da distância entre plântulas com o uso de trena, os espaçamentos classificados com 0,5 a 1,5 vezes do espaçamento médio esperado ($\bar{e}$) foram considerados aceitáveis. Os valores obtidos fora desse limite foram considerados como falhas na semeadura (acima de 1,5 vezes $\bar{e}$) ou espaçamentos múltiplos (abaixo de 0,5 vezes $\bar{e}$) conforme descrito no Quadro 2.

QUADRO 2. Limites de tolerância para as variações dos espaçamentos (Xi) entre sementes e o tipo de espaçamento considerado.

Tipo de Espaçamento	Intervalo de tolerância para variação de Xi
Múltiplos	$X_i < 0,5 * X_{ref}$
Aceitáveis	$0,5 * X_{ref} < X_i < 1,5 * X_{ref}$
Falhos	$X_i > 1,5 * X_{ref}$

X_i = espaçamento entre sementes obtido a campo, ou quando do cálculo da relação de transmissão e número de sementes a ser distribuída por área. X_{ref} = valor de referência obtido em função do espaçamento e população. Fonte: KURACHI et al. (1989).

4.8.2. Porcentagem e índice de velocidade de emergência de plântulas

A porcentagem e o índice de velocidade de emergência de plântulas foram avaliados considerando-se o comprimento de 20 m nas oito linhas de semeadura. O número de sementes inicial foi determinado de acordo com a uniformidade de distribuição de sementes da semeadora-adubadora. A contagem das plântulas emergidas foi realizada diariamente até que o número de plântulas emergidas se apresentasse constante. Cada plântula foi considerada emergida a partir do instante em que a mesma rompeu o solo podendo ser visível a olho nu de um ângulo qualquer.

Os resultados do total de plântulas emergidas foram expressos em porcentagem.

Para a determinação do índice de velocidade de emergência de plântulas utilizou-se a Equação 9 (MAGUIRE, 1962).

$$IVE = \frac{E_1}{N_1} + \frac{E_2}{N_2} + \dots \frac{E_n}{N_n} \quad (9)$$

em que:

IVE = índice de velocidade de emergência;

E_1, E_2, E_n = número de plântulas emergidas, na primeira, segunda, ..., última contagem e

N_1, N_2, N_n = número de dias da semeadura à primeira, segunda, ..., última contagem.

4.9. Estimativa de custo da irrigação

Para estimar o custo da lâmina d'água necessária para aplicação dos tratamentos foram considerados apenas o custo da mão-de-obra e da energia elétrica, sendo considerados insignificantes as despesas com manutenção do equipamento e água.

O custo da mão-de-obra (R\$ hora⁻¹) foi o quociente entre as despesas com este recurso (em R\$), incluindo os encargos sociais (45,42%) sobre o salário e o número total de horas trabalhadas. Os gastos totais com mão-de-obra foram obtidos diretamente da pesquisa de campo (CONTE E FERREIRA FILHO, 2007).

O consumo de energia elétrica ativa dos dois motores (aquela que efetivamente produz trabalho) do sistema de irrigação foi medido por meio da utilização de um medidor de energia (mod. MICROVIP3 - ELCONTROL).

Sendo assim, o custo do consumo de energia elétrica foi calculado pela Equação 10.

$$CCEE = CEE \times P + ICMS \quad (10)$$

em que:

$CCEE$ – custo do consumo de energia elétrica, em R\$;

CEE – consumo de energia elétrica durante qualquer período de tempo, em kWh;

P – preço do kWh na estrutura tarifária considerada, em R\$ e

$ICMS$ – imposto sobre circulação de mercadorias e serviços;

O ICMS foi determinado pela Equação 11.

$$ICMS = \frac{I \times A}{100 - A} \quad (11)$$

em que:

I – CEE x P ;

A – alíquota, (18%).

4.10. Análise estatística dos dados

Os resultados obtidos para as variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância no programa SISVAR 5.3 (versão Build), (Ferreira, 2010).

As médias dos tratamentos que tiveram diferenças significativas foram comparadas pelo teste de Tukey com nível de significância mínimo de 5% de probabilidade ($P < 0,05$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas referentes às análises de variâncias e teste de médias estão apresentadas no item Apêndice.

5.1. Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração em função da profundidade foi apresentada em duas formas: na Figura 15 em função dos diferentes blocos enquanto que, na Figura 16, comparou-se os valores obtidos para os diferentes tratamentos. O perfil avaliado foi da superfície até 0,4 m de profundidade.

À medida que se aumentou a profundidade, houve aumento da resistência atingindo valores médios máximos de 2,15 MPa no bloco 2 aos 0,40 m e igual a 2,13 MPa aos 0,39 m nas parcelas em sistema de plantio direto com adição de água.

Comparando os valores de resistência do solo à penetração verificou-se que não houve grande diferença (máximo de aproximadamente 0,9 mPa) entre solos mobilizados pelo sistema de plantio convencional e sistema de plantio direto. Atribuiu-se isto ao fato de a área não ser usada permanentemente sobre sistema de plantio direto, sendo o solo mobilizado esporadicamente.

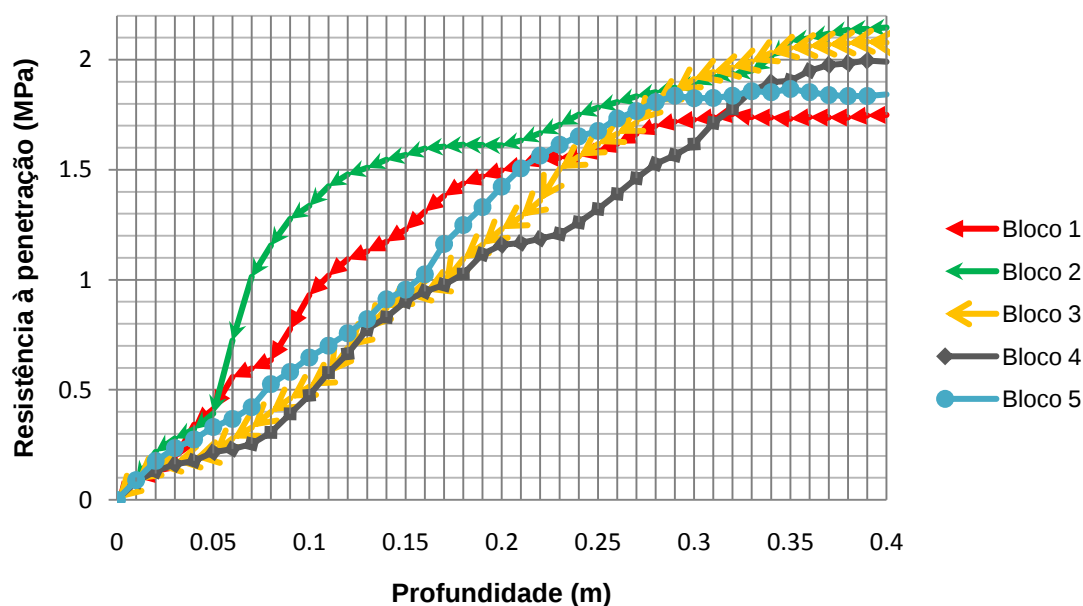


FIGURA 15. Resistência do solo à penetração em função da profundidade em cada bloco do experimento

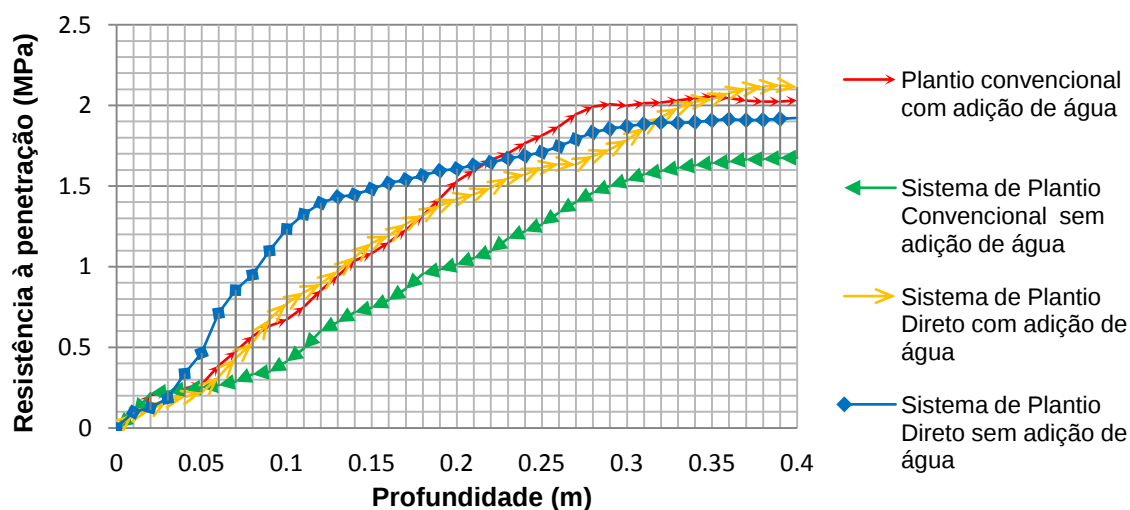


FIGURA 16. Resistência do solo à penetração em função da profundidade para os tratamentos

Bassoi *et al.* (1994) verificaram que cerca de 70% das raízes de plantas de milho concentram-se na camada de 0 a 0,4 m de profundidade. Os valores de resistência encontrados, em maior parte não ultrapassaram os valores limitantes ao desenvolvimento radicular do milho que segundo Tormena *et al.* (1998) é de 2,0 MPa.

Silva *et al.* (2000), trabalhando em sistema de plantio direto, verificaram

a formação de uma camada de solo mais compactada na profundidade de 0,05 a 0,10 m devido ao tráfego de máquinas sobre o solo, o que não foi verificado no presente trabalho. No entanto, apesar de não ter influenciado o presente trabalho, houve aumento gradual na resistência do solo à penetração próximo aos 0,4 m. Portanto, é recomendável análises em maior profundidade para verificar a presença de camada compactada abaixo dos 0,40m de profundidade analisadas no presente trabalho.

5.2. Teor de água do solo

A partir da amostragem do solo foi possível comprovar diferenças entre as parcelas que com adição de água e as parcelas sem adição de água. A princípio, a utilização da análise de variância para avaliar o teor de água do solo e comprovar diferentes umidades seria desnecessária, mas, por ser adicionada uma pequena lâmina d'água, de 0,004375m (4,375mm), optou-se por verificar se a lâmina d'água foi suficiente para aumento da umidade do solo.

Pela análise de variância do teor de água do solo no momento da semeadura-adubação observou-se interação entre os fatores sistema de plantio e adição de água. Tendo os fatores interagido, procedeu-se a análise de variância para o desdobramento de cada sistema de plantio (convencional e plantio direto) para cada nível de adição de água. Também foi necessário isolar cada tipo de sistema de plantio dentro dos níveis de adição de água para análise de variância, portanto, o sistema convencional com e sem adição de água e o sistema de plantio direto com e sem adição de água.

Verificou-se que as médias referentes aos teores de água entre os tipos sistema de plantio, quando houve adição de água, são iguais. No entanto, o teor de água nas parcelas sem adição de água e com sistema de plantio convencional, foi menor (13,76%) que no plantio direto (18,31%).

Avaliando-se os efeitos da adição de água no solo na semeadura-adubação observou-se que em sistema de plantio direto a adição de água não foi suficiente para alterar o teor de água no solo. Contudo, em solo com sistema de plantio convencional, quando aplicou-se água, houve aumento da

umidade do solo (18,23%) se comparado ao solo sem adição de água (13,75%).

Nesse trabalho observou-se que o sistema de plantio direto preserva a umidade do solo se comparado ao solo arado e gradeado. Provavelmente, isso ocorre devido à cobertura de palhada, pois o teor de água do solo nas parcelas onde não se aplicou água e possuía palhada, foi maior que naquelas onde não havia palhada. Além disso, onde havia palhada, ao adicionar lâmina d'água, esta não foi diretamente incorporada ao solo, mas provavelmente ficou retida na palhada contribuindo para a preservação da umidade natural, o que é fundamental para que a semente complete sua germinação e dê origem a uma plântula. Esse efeito, benéfico para a implantação das culturas, interferiu negativamente na obtenção de uniformidade do teor de água entre as parcelas com mesmo tratamento.

Observou-se, pela análise de variância do teor de água do solo (com significância menor que 5%) que o delineamento de blocos inteiramente casualizados foi adequado para analisar a umidade no campo experimental. A adoção desse delineamento influenciou positivamente para identificação dos efeitos provocados pelos tratamentos impedindo que variações fossem contabilizadas como erros ao acaso, ou mesmo alterando os reais efeitos dos tratamentos. Além disso, o coeficiente de variação, que expressa a precisão dos dados, foi de 8,84%, que, segundo classificação proposta por Pimentel-Gomes (1985), é considerado baixo.

5.3. Demanda energética para tracionar a semeadora-adubadora

5.3.1. Força demandada para tracionar a semeadora-adubadora.

Com a análise de variância da força demandada para tracionar a semeadora-adubadora, verificou-se que houve interação entre os fatores sistemas de plantio e adição de água. O maior ou o menor teor de água altera a força de tração dependendo do sistema de semeadura-adubação (convencional ou plantio direto). Foi feito o desdobramento da análise dos

níveis de cada fator (sistema de plantio e adição de água) para estudo do efeito de um fator sobre o outro.

No desdobramento do fator sistema de plantio para cada nível de adição de água, houve diferença significativa na força demandada para tracionar a semeadora-adubadora apenas entre as unidades experimentais sem adição de água. Essa operação agrícola, quando desenvolvida em sistema de plantio direto sem adição de água, demandou 18,730 kN, enquanto que em sistema de plantio convencional, também sem adição de água, 16,106kN foram suficientes para tracionar a máquina. Isso provavelmente ocorreu porque a umidade natural do solo em sistema de plantio direto foi maior (18,31%) que o sistema de plantio convencional (13,76%), fato que pode ter reduzido o atrito das ferramentas sulcadoras com o solo. Cepik *et al.* (2005) encontraram resultados semelhantes para a força de tração medida na haste sulcadora. A 0,12 m de profundidade a força de tração demandada foi menor na condição úmida podendo ser devido ao efeito de lubrificação pela água ou da influência da mesma na diminuição das tensões entre as partículas sólidas do solo.

Para as parcelas com adição de água, as forças demandadas para tracionar a semeadora-adubadora foram estatisticamente iguais entre os sistemas de plantio; em média, 16,558 kN quando em sistema de plantio direto e 17,198 kN em sistema de plantio convencional. De acordo com esses resultados, quando não há adição de água sobre o solo, no preparo convencional há maior demanda de força para tracionar a semeadora-adubadora. No entanto, com aplicação de água essa diferença entre os sistemas de plantio deixa de existir.

No desdobramento do fator adição de água para cada sistema de plantio, apenas para as unidades experimentais em que foi realizado o preparo convencional, houve diferença significativa na demanda de força para tracionar a semeadora-adubadora. Essa operação agrícola, quando desenvolvida em sistema de plantio convencional seguida de adição de água, demandou menor força, 17,198 kN, enquanto que, no mesmo sistema mas sem adição de água, a força aumentou para 18,730 kN. Em sistema de plantio direto a adição de água não alterou a força demandada para tracionar a semeadora-adubadora em operação.

Houve redução na força de tração apenas quando o teor de água do solo foi maior, independentemente do fator adição de água. Ou seja, a força de

tração só foi maior em sistema de plantio convencional com adição de água e no sistema de plantio direto sem adição de água.

Pode-se afirmar que a aplicação de água só se mostrou vantajosa quando feita em sistema de plantio convencional, pois nesse caso há uma redução da força demandada para tracionar a semeadora-adubadora. Essa vantagem, deve-se ao fato de que, no presente trabalho, a adição de água foi pequena (4,375 mm), portanto, quando aplicada sobre sistema de plantio direto não elevou o teor de água do solo, como discutido no item anterior.

Bortolotto *et al.* (2006), avaliou a demanda energética de uma semeadora-adubadora. Utilizaram uma semeadora-adubadora de precisão marca Marchesan, modelo PST3-TRA, equipada com nove linhas e dosador do tipo pneumático. A máquina foi submetida a quatro velocidades de deslocamento (1,3; 1,4; 1,8 e 2 m s⁻¹) sob diferentes condições de cobertura do solo (vegetação espontânea, aveia dessecada e aveia dessecada/rolada), na semeadura da cultura da soja. Os autores observaram que a força de tração média e a máxima foram influenciadas pelo tipo de cobertura do solo. Enquanto a cobertura do solo com vegetação espontânea foi a que teve os maiores valores de força, a cobertura do solo com aveias dessecadas e roladas não diferiram entre si. Comparando os resultados, a força média para a menor velocidade foi de 21,36 kN, que é superior aos valores observados nesse trabalho, que pode ser devido à velocidade e número de linhas superiores.

Furlani *et al.* (2005) avaliaram uma semeadora-adubadora de precisão com quatro linhas, na cultura do milho, trabalhando em latossolo vermelho-escuro eutrófico moderado e textura argilosa. Foram testados os fatores marcha do trator e tipo de preparo do solo (plantio direto, convencional e escarificação). A força para tração foi igual para os diferentes tipos de preparo do solo, semelhantes ao presente trabalho. No entanto, foram relativamente maiores, pois variaram de 13,00 a 13,7kN com uma semeadora de quatro linhas, enquanto que, no presente trabalho, foi utilizada uma semeadora-adubadora com oito linhas. As diferenças observadas podem ser justificadas pelo solo argiloso, profundidade de semeadura-adubação, tipo de mecanismo sulcador etc.

Mahl *et al.* (2004) avaliou a demanda energética e a eficiência da distribuição de sementes de milho sob variação de velocidade e condição de solo, e observaram que a força de tração na barra não foi influenciada pela

condição de preparo do solo. Sob plantio direto e sob solo escarificado a força para tração de uma semeadora-adubadora da marca Marchesan, modelo PST2 equipada com seis unidades de semeadura, foi de 8,22 kN e 8,44kN respectivamente. Nota-se, nesse caso, que a força demandada foi menor que no presente trabalho, assim como o número de linhas da semeadora-adubadora, duas a menos.

Bortolloto *et al.* (2006) avaliou uma semeadora-adubadora de precisão com quatro linhas, na cultura do milho (*Zea mays* L.), em diferentes preparos do solo (convencional, plantio direto e preparo reduzido), e observaram, como no presente trabalho, que a exigência de força demandada na barra de tração não se altera em função do preparo do solo, obtendo-se o valor médio de 13,4 kN.

Casão Junior *et al.* (1998) avaliaram o desempenho, no campo, da semeadora-adubadora para plantio direto modelo MAGNUM 2850 PD, da marca Jumil. A semeadora avaliada demandou força de 22,15 kN para tração quando operada com sete linhas, a 8 cm de profundidade de semeadura, velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$ e 37% de umidade do solo. Esta força é superior aos 17,15 kN de média global do presente trabalho, mesmo com uma linha de semeadura a menos. Deve-se este fato ao solo argiloso e à velocidade de operação superior ao do presente estudo, que foi realizado em um solo de textura franco e com velocidade de deslocamento inferior ($0,86 \text{ m s}^{-1}$). Isso normalmente resulta em menor demanda de força para tração.

Comparando os resultados da força demandada deste trabalho com outros encontrados na literatura, nota-se que estão entre os valores máximos e mínimos e não há uniformidade de valores para essa variável. Vários fatores influenciam no desempenho operacional de semeadoras-adubadoras, dentre eles a heterogeneidade dos solos (cobertura, textura, umidade, densidade) que faz com que em cada situação haja desempenhos diferentes. A comparação de resultados deve ser feita com cautela, pois em desigualdade de condições as generalizações são inadequadas. Com as avaliações executadas nesse trabalho ampliaram-se os conhecimentos sobre a operação conjugada de semeadura e adubação. Contudo, novos trabalhos podem ser executados visando otimizar esta operação.

5.3.2. Velocidade média operacional e patinagem das rodas motrizes

A combinação dos fatores sistema de plantio e adição de água não alteraram a velocidade média. A média da velocidade operacional foi de $0,86 \text{ m s}^{-1}$. Alterações na velocidade de deslocamento podem ser provocadas principalmente devido à patinagem, que nesse caso também foi igual nos tratamentos aplicados. Em função da velocidade de deslocamento sem carga ($0,95 \text{ m s}^{-1}$) e com carga ($0,86 \text{ m s}^{-1}$) estima-se que a patinagem média global foi de 10,56%.

Essa homogeneidade entre tratamentos comprova que o conjunto mecanizado foi operado com boa capacidade de transmissão de potência ao solo, portanto, não se observou comprometimento na velocidade média de trabalho pela patinagem. Outro fator que favoreceu essa igualdade foi a pequena variação na demanda de força para tracionar a semeadora-adubadora que não ultrapassou o limite de capacidade de transferência de potência ao solo pelo trator.

5.3.3. Potência demandada para tracionar a semeadora-adubadora

Pela análise de variância da potência demandada para tracionar a semeadora-adubadora, comprova-se que o tipo de sistema de plantio influenciou os resultados. Contudo, a aplicação de água no solo não influenciou a potência demandada para tracionar a semeadora-adubadora. Também não foi comprovado interação entre os fatores sistema de plantio e adição de água. A potência média foi de 14,79 kW.

Em sistema de plantio direto o implemento requereu menos potência do trator, aproximadamente 14,00 kW, enquanto que no sistema convencional essa exigência de potência aumentou para 15,57 kW.

Sugere-se que a maior potência demandada pelo sistema de plantio convencional, foi pelo fato de que o solo estava com menor teor de água. Pode

ter ocorrido maior atrito das ferramentas sulcadoras com o solo e, conseqüentemente, maior arraste da semeadora-adubadora. Esse fato não foi observado por Furlani *et al.* (2008) avaliando uma semeadora-adubadora em função da pressão de inflação dos pneus das rodas acionadoras dos mecanismos dosadores, da velocidade de deslocamento e do tipo de preparo do solo.

Avaliando o desempenho no campo da semeadora-adubadora para plantio direto, modelo MAGNUM 2850 PD, da marca Jumil, Casão Junior *et al.* (1998) estimaram que a semeadora demandou 57,81 kW para tração a 1,67 m s⁻¹ de velocidade em do solo com e 37% de umidade. A semeadora possuía 7 linhas ajustadas para semear a 0,08 m de profundidade. Os autores estimaram uma demanda de potência superior ao do presente trabalho utilizando diferentes mecanismos sulcadores, velocidade de operação, profundidade de semeadura, entre outros que justificam a divergência de resultados.

Mahl *et al.* (2004) avaliaram uma semeadora-adubadora da marca Marchesan, modelo PST2, equipada com seis unidades de semeadura e mecanismos sulcadores para adubo e sementes do tipo discos duplos defasados. A semeadora-adubadora foi regulada para efetuar a semeadura com espaçamento entre linhas de 45 cm e, entre sementes, de 35,09 cm (2,85 sementes por metro de linha semeada). O mecanismo dosador de sementes utilizado foi o disco horizontal perfurado. A potência demandada para tração da semeadora variou entre 9,93 kW a 19,51 kW em função da condição de plantio e velocidade. Apesar da semeadora-adubadora usada pelos autores possuírem duas linhas de plantio a menos em relação à semeadora-adubadora usada neste trabalho, a potência demandada em ambos os trabalhos estão próximas. Isso pode ser devido à diferença existente entre os tipos de solo e maior umidade, que pode ter provocado maior aderência com os mecanismos sulcadores, além da maior velocidade de deslocamento.

Bortolotto *et al.* (2006) com o objetivo de avaliar a demanda energética para tracionar uma semeadora-adubadora, submeteram-na a quatro velocidades de deslocamento e três condições de cobertura do solo na implantação da cultura da soja. A semeadora-adubadora de precisão marca Marchesan, modelo PST3-TRA, estava equipada com nove linhas, disco liso para corte de cobertura, sulcador de fertilizantes tipo haste sulcadora com tubo condutor, sulcador para sementes do tipo discos duplos defasados e duas

rodas compactadoras e reguladoras de profundidade de semeadura. Os autores concluíram que a demanda de potência variou de 27,87 kW a 43,25 kW. As diferentes condições do presente trabalho, menor número de linhas da semeadora-adubadora e mecanismos sulcadores diferentes, justificam a menor demanda de potência para tracionar a semeadora-adubadora.

Andreolla e Gabriel Filho (2006) avaliaram a potência demandada na barra de tração do trator por uma semeadora com dois tipos de elementos sulcadores, na semeadura da soja, em áreas compactadas pelo pisoteio de animais em sistema de integração lavoura-pecuária em função da umidade e mecanismos sulcadores. Os autores obtiveram resultados semelhantes em função da umidade que, nos dois casos, não alterou a potência demandada. Outro fato importante foi a observação de grande diferença no valor médio da potência demandada entre os mecanismos sulcadores, sendo 31,83 kW para sulcador tipo haste e 8,02 kW para sulcador tipo disco.

A umidade do solo, os tipos de mecanismos sulcadores, os tipos de rodas compactadoras estão entre os fatores que influenciam a demanda de potência e a sua combinação resultam em variação dos resultados nos diferentes trabalhos publicados.

5.3.4. Consumo horário de combustível

O consumo de combustível não foi alterado em função do sistema de plantio e da adição de água, sendo consumidos em média 58,75 mL em cada parcela. Pela análise de variância confirmou-se que não houve efeito e/ou interação entre os fatores. A demanda de força não provocou alteração na quantidade de combustível consumido pelo motor do trator, tendo em vista que, as situações em que houve acréscimo na demanda de força não foram suficientes para aumentar a quantidade de combustível consumido.

Pelo método utilizado pode-se afirmar que não há alteração do consumo de combustível entre os sistemas de plantio e adição de água no solo. Sugere-se que se utilize uma proveta com menor graduação ou outro método que meça menores quantidades de combustível, aumentando a sensibilidade do sistema.

Avaliando o consumo em função do tempo, considerou-se a média obtida para o consumo de 58,75 mL a cada 23,25 segundos (tempo médio gasto para operação de semadura-adubação em cada parcela). Pela análise de variância do consumo em uma hora (kg h^{-1}) verificou-se que não houve efeito dos fatores umidade e cobertura, bem como da interação. A média do consumo horário de combustível foi de $7,66 \text{ L h}^{-1}$.

Furlani et al. (2004) avaliaram o desempenho operacional de uma semeadora-adubadora de precisão, em três sistemas de preparo do solo (convencional, escarificação e plantio direto), combinados com quatro manejos da cobertura de inverno (rolo-faca, triturador de palhas tratorizado, herbicida e solo sob pousio) na semeadura de feijão. Foi utilizado um conjunto mecanizado composto por um trator Valmet, modelo 128-4 com potência de 90,5 kW (123,1 cv) no motor e uma semeadora-adubadora de precisão de arrasto, marca Tatu, modelo PST2, com seis linhas. O consumo horário de combustível variou entre 11,07 a $13,04 \text{ L h}^{-1}$, ou seja, superior aos valores encontrados neste trabalho, mesmo operando com maiores potências na barra de tração (16,48 e 17,08 kW). Isso demonstra a menor eficiência na conversão do combustível em potência útil do conjunto mecanizado utilizado neste trabalho. Vários fatores podem ter influenciado, tais como, qualidade de combustível, eficiência do motor e desgaste das máquinas.

Camilo et al. (2004) avaliaram a influência de mecanismos rompedores e velocidades de trabalho no desempenho de uma semeadora-adubadora de plantio direto na cultura do feijão, e obtiveram menor consumo horário de combustível (4,05 a $6,42 \text{ L h}^{-1}$). Isto pode ser explicado pelo menor porte do conjunto mecanizado composto por um trator Massey Ferguson, modelo 265 4x2 TDA, com potência máxima de 48 kW (61 cv) no motor a 2000 rpm, e uma semeadora-adubadora de plantio direto para a cultura de feijão, modelo Seed-Max PC 2123, com três linhas de plantio, espaçadas de 0,5 m e massa total de 640 kg.

Furlani et al. (2005) avaliaram uma semeadora-adubadora de precisão com quatro linhas, na cultura do milho e encontraram médias de consumo horário de combustível entre $12,9 \text{ L h}^{-1}$ a $17,4 \text{ L h}^{-1}$ em função do preparo do solo e marchas do trator. O maior consumo, se comparado ao obtido no presente trabalho, se deve ao fato de que mesmo utilizando um trator de menor porte e de menor potência da marca Massey Fergusson, modelo MF-620, 4x2

TDA com 72,3 kW (105 cv), o mesmo produziu maior potência para tração, variando de 23,8 a 30,1 kW enquanto que no presente trabalho, a potência para tração não ultrapassou 16,43kW.

Utilizando um trator Valtra BM 100 (TDA), 76 kW (100 cv) e uma semeadora-adubadora de precisão marca Marchesan (TATU) modelo PST Plus com quatro linhas de semeadura, Furlani *et al.* (2008), obtiveram média de consumo horário de combustível igual a 7,7 L h⁻¹. O consumo teve valores próximos ao do presente trabalho o que é justificado, pois a potência para a tração da semeadora (17,5 kW) teve valores próximos ao do presente trabalho.

5.3.5. Capacidade operacional

A capacidade operacional, razão entre quantidade de trabalho realizado e o tempo, tem sua eficiência alterada por diversos fatores, tais como a habilidade do operador, formato dos talhões, tipo de operação agrícola, relevo, velocidade etc.

Pela análise de variância observou-se que não houve influência dos fatores sistema de plantio e adição de água sobre a capacidade operacional. A capacidade operacional foi em média 1,24 ha h⁻¹. O conjunto mecanizado adaptou-se às diferentes condições de preparo do solo e à adição de água impedindo que diferenças entre as capacidades operacionais nos tratamentos fossem notadas. Os lastros e os rodados do trator, fundamentais para sustentação, propulsão, direcionamento e desenvolvimento da força na barra de tração, propiciaram rendimento independentemente das alterações impostas.

A patinagem variou entre 4,61% e 14,12%, com média de 10,56%. Não houve diferença significativa por meio da análise de variância para a patinagem em função dos sistemas de plantio e adição de água no solo.

A capacidade operacional do conjunto mecanizado foi baixa tendo em vista que foi operado à baixa velocidade para uma semeadora-adubadora com dosador de sementes do tipo pneumático. No entanto, optou-se por operar o conjunto mecanizado em baixa velocidade com o objetivo de reduzir vibrações

na cabine do trator que pudessem interferir na captação de imagens pela câmera fotográfica não comprometendo assim a qualidade dos resultados.

5.3.6. Custo do combustível por área trabalhada

Segundo a Agência Nacional do Petróleo (2010), o preço médio do litro do óleo Diesel, no Brasil, para o consumidor em 2009 foi de R\$ 2,04. A partir desse valor, o custo do combustível considerado foi de R\$ 15,00 ha⁻¹. Com base na análise de variância, o custo de combustível não apresentou diferença significativa em função dos fatores sistema de plantio e adição de água. Também não houve interação entre os fatores. As médias de custo para os tratamentos em estudo não diferiram significativamente. Nesse caso, não se recomenda a adição de água, ou mesmo o sistema de plantio convencional do solo, pois são práticas que geram despesas como maior tempo para implantação da cultura, maior consumo de água, depreciação por uso das máquinas e implementos, além de maior gasto de combustível.

5.3.7. Consumo específico de combustível

O consumo específico é um índice importante ao se avaliar uma máquina e auxilia o usuário a escolher as que aproveitam melhor a energia do combustível. Esse índice especifica qual a quantidade de combustível é consumida por unidade de potência produzida. Quanto maior o consumo específico, menor a eficiência na conversão do combustível em potência disponível.

Pela análise de variância não foram observadas diferenças significativas para o consumo específico de combustível em função dos fatores sistema de plantio e adição de água. Também não foi verificada interação entre os fatores.

O consumo de combustível por unidade de potência produzida não variou, pois provavelmente as diferenças da demanda da força de tração não foram suficientes para provocá-las. Além disso, a baixa demanda de força de

tração estava associada à boa transferência de potência ao solo, sem patinagem excessiva ou esforços significativamente diferentes. Portanto, o regime de rotação constante no motor e a pouca variação na demanda de força para tracionar a semeadora-adubadora resultou num consumo constante de combustível bem como da potência desenvolvida.

Furlani *et al.* (2005) avaliando uma semeadora-adubadora de precisão com quatro linhas, na cultura do milho, encontraram médias de consumo específico que variaram de 441 a 526 g kW⁻¹ h⁻¹ em função do preparo do solo e marchas do trator. O trator utilizado foi um Massey Fergusson, modelo MF-620, 4x2 TDA com 72,3 kW (105 cv) que é de menor porte e potência do que o trator utilizado no presente trabalho, além de ser de fabricante diferente. No entanto, a eficiência dos tratores entre o trabalho dos autores e o atual foi muito próxima, visto que os consumos de combustível por unidade de potência foram semelhantes.

Furlani *et al.* (2008), obtiveram consumo específico de combustível de 299 a 427 g kW⁻¹h⁻¹ e média de 398 g kW⁻¹h⁻¹ utilizando um trator Valtra BM 100 com tração dianteira auxiliar, de 76 kW (100 cv) de potência motor e uma semeadora-adubadora de precisão marca Marchesan (Tatu) modelo PST Plus com quatro linhas de semeadura. Nota-se que o conjunto mecanizado utilizado pelos autores apresentou melhor eficiência na conversão do combustível em potência útil na barra.

5.3.8. Energia demandada por área

A energia demandada por área trabalhada foi afetada em função do sistema de plantio, como comprovado pela análise de variância. No entanto, a adição de água não alterou os resultados. Nota-se também a ausência de interação entre os fatores.

Normalmente, espera-se que a operação de semeadura-adubação em sistema de plantio direto demande maior energia, ou seja, o oposto do resultado observado. No sistema de plantio direto, a energia demandada por área foi de 17,309 kW ha⁻¹, inferior ao sistema de plantio convencional, que requereu 19,559 kW ha⁻¹.

Pode-se atribuir a menor demanda de energia no sistema de plantio direto ao fato de que nesse sistema, houve maior teor de água do solo facilitando o seu rompimento pelos mecanismos sulcadores da semeadora-adubadora.

Outra hipótese é a de que como há interação entre o rodado e o solo, atribui-se a menor energia gasta no sistema de plantio direto ao fato de que, nesse sistema, o solo está mais adensado e o rodado encontra uma superfície com maior capacidade de suporte de carga, resultando em menor afundamento. Isso resulta em menor resistência ao rolamento imposta aos rodados de sustentação da semeadora-adubadora e trator que, neste caso, pode ter compensado a maior resistência para rompimento da camada superficial pelos mecanismos sulcadores. A menor resistência ao rolamento também favorece o deslocamento do trator e a transferência de potência ao solo. Além disso, a cobertura do solo interfere na capacidade do trator em desenvolver esforço para tracionar máquinas e implementos e o tipo de cobertura pode causar mudanças na patinagem e na eficiência tratória como concluído por Gabriel Filho *et al.* (2004) conduzindo um experimento para avaliar o desempenho de um trator agrícola, em área coberta com diferentes tipos de cobertura vegetal.

5.4. Estabelecimento inicial da cultura

5.4.1. Uniformidade de distribuição longitudinal de plântulas

5.4.1.1. Espaçamentos Falhos

Pela análise de variância não foram observadas diferenças significativas entre as porcentagens de espaçamentos falhos. Os fatores sistema de plantio e adição de água no solo, bem como a interação entre esses fatores, não foram significativas. A média para espaçamentos falhos foi de 20,31%. A análise do resultado mostra que o contato do solo com as rodas que sustentam a semeadora-adubadora e transmitem potência aos mecanismos dosadores da

mesma não sofreram influência da adição de água no sistema de plantio direto ou convencional.

Comparando os resultados da distribuição de espaçamentos falhos obtidos com a cultura do milho e uma semeadora-adubadora utilizada por Casão Junior *et al.* (1998), os resultados atuais apresentaram valores intermediários (20,31% de espaçamentos falhos) aos obtidos por esses autores. Os autores obtiveram 14,2% de espaçamentos falhos a $1,17\text{ m s}^{-1}$, sendo que, as falhas aumentaram quando houve um aumento na velocidade de deslocamento passando a 25,2% a $2,22\text{ m s}^{-1}$ superando as falhas do trabalho atual que foi realizado à velocidade de $0,86\text{ m s}^{-1}$.

Os valores de espaçamentos falhos foram menores do que os 25% encontrados por Camilo *et al.* (2004) que avaliaram a influência de mecanismos rompedores e velocidades de trabalho no desempenho de uma semeadora-adubadora de plantio direto na cultura do feijão.

Mahl *et al.* (2004) obtiveram valores entre 9,66 e 14,2% de espaçamentos falhos em função do tipo de cobertura e velocidade de operação com uma semeadora-adubadora. O aumento da velocidade aumentou a quantidade de falhas, atingindo valores próximos ao do presente trabalho.

Quanto maior o número de falhas, desde que não compensadas pelo número de espaçamentos múltiplos, maior será o desperdício de nutriente que é distribuído continuamente na linha de plantio. Com o desenvolvimento da cultura, falhas no estande também deixará o solo sobre à ação de água e sol, o que pode aumentar o carregamento de solo e de nutrientes, sobretudo em plantio convencional.

5.4.1.2. Espaçamentos Múltiplos

Avaliando-se a variância da porcentagem de espaçamentos múltiplos foi observada diferença significativa apenas para o fator adição de água. O fator sistema de plantio não alterou a porcentagem de espaçamentos múltiplos e também não houve interação entre os fatores. A média para espaçamentos múltiplos foi de 37,5%. Quando analisou-se o efeito da adição de água, houve melhoria da distribuição longitudinal das sementes, pois os espaçamentos

múltiplos reduziram de 40,94% para 34,07%. Nesse caso, a adição de água melhorou a distribuição das sementes no solo. Apesar deste trabalho não ter sido aprofundado para identificar a origem desse fato, acredita-se que a maior umidade do solo faz com que a semente, ao cair no sulco, sofra um amortecimento ou mesmo uma aderência ao solo restringindo seu movimento. A movimentação dentro dos sulcos poderia aumentar a quantidade de espaçamentos falhos e múltiplos.

Comparando com os resultados obtidos por Casão Júnior *et al.* (1998), que avaliaram o espaçamento entre sementes com uma semeadora-adubadora em diferentes velocidades, pode-se observar que os do presente trabalho foram piores por apresentar mais espaçamentos múltiplos. Os autores obtiveram 17,2% de espaçamentos múltiplos a $1,17 \text{ m s}^{-1}$. Ressalta-se que as falhas aumentaram quando houve um aumento na velocidade de deslocamento passando a 47,2% a $2,22 \text{ m s}^{-1}$ superando as falhas deste trabalho.

As médias de espaçamentos falhos foram superiores aos obtidos por Camilo *et al.* (2004). Os autores verificaram 18,5% de espaçamentos múltiplos numa análise no desempenho de uma semeadora-adubadora de plantio direto na cultura do feijão em diferentes velocidades e mecanismos rompedores.

Mahl *et al.* (2004) obtiveram valores bastante inferiores ao deste trabalho, entre 1,94 e 4,19% de espaçamentos múltiplos. Foi avaliada uma semeadora-adubadora em função dos tipos de cobertura e velocidade de operação. Por se tratarem de semeadoras diferentes e possivelmente com condições de conservação das máquinas diferentes, pode-se encontrar essa discrepância entre as porcentagens de espaçamentos.

Os altos valores de espaçamentos múltiplos, apesar de não comprometer o estande, podem limitar a produção. Pois plantas com proximidade além da especificada podem competir por luz, água e nutrientes, prejudicando seu crescimento e desenvolvimento.

5.4.1.3. Espaçamentos Aceitáveis

Por meio da análise de variância das porcentagens de espaçamentos aceitáveis houve interação entre os fatores sistema de plantio e adição de água, sendo assim realizado o desdobramento dos resultados. A média geral para espaçamentos aceitáveis foi de 42,19%.

A análise de variância da interação pelo desdobramento dos tipos de sistema de plantio dentro dos níveis do fator adição de água comprova que quando houve adição de água ocorreu diferença na porcentagem de espaçamentos aceitáveis entre o sistema de plantio direto (38,13%) e convencional (50%). Sem adição de água não há efeito do tipo de sistema de plantio sobre a porcentagem de espaçamentos aceitáveis.

A análise de variância da interação pelo desdobramento do fator adição de água dentro dos sistemas de plantio comprova que, no sistema de plantio convencional, quando houve adição de água, as porcentagens de espaçamentos aceitáveis foram maiores (50%) do que quando não houve adição de água (38,75%). Em sistema de plantio direto, o fator adição de água não ocasionou diferenças entre a porcentagem de espaçamentos aceitáveis.

A análise de variância da interação pelo desdobramento do fator adição de água dentro de cada tipo de sistema de plantio evidencia que apenas quando houve adição de água no sistema de plantio convencional, houve alteração no número de espaçamentos aceitáveis. Quando se aplicou água no sistema de plantio direto houve uma melhoria na distribuição de sementes que atingiu 50% contra 38,75% quando não se adicionou água.

A adição de água elevou a porcentagem de espaçamentos aceitáveis apenas em sistema de plantio convencional. Nesse sistema, o teor de água no solo, elevado após a adição de água, concentra-se na camada superficial, favorecendo a abertura dos sulcos e conseqüentemente, a distribuição de sementes. Em sistema de plantio direto a adição de água não modificou o teor de água no solo e, conseqüentemente, não favoreceu a distribuição de sementes.

Casão Junior *et al.* (1998), avaliando uma semeadora em diferentes velocidades, obtiveram 68,6% de espaçamentos aceitáveis a $1,17 \text{ m s}^{-1}$. Observa-se que nessa velocidade, a quantidade de espaçamentos aceitáveis

do presente trabalho são piores que os obtidos pelos autores. No entanto, a situação se inverte quando autores avaliam a semeadora-adubadora na velocidade de $2,22 \text{ m s}^{-1}$, obtendo 47,2% de aceitáveis, ou seja, pior do que a média do trabalho atual.

A média de espaçamentos aceitáveis nesse trabalho foi pior do que a obtida por Camilo *et al.* (2004). Os autores verificaram 56,5% de espaçamentos aceitáveis numa análise no desempenho de uma semeadora-adubadora de plantio direto na cultura do feijão em diferentes velocidades e mecanismos rompedores.

Mahl *et al.* (2004) obtiveram valores bastante inferiores ao do atual, entre 81,70 e 88,39% de espaçamentos múltiplos em função dos tipos de cobertura e velocidade de operação com uma semeadora-adubadora. Por se tratarem de semeadoras diferentes e possivelmente com condições de conservação e projeto diferentes, podemos encontrar essa discrepância de porcentagens.

5.4.2. Porcentagem e velocidade de emergência de plântulas

5.4.2.1. Porcentagem de emergência

A porcentagem de emergência de plântulas não apresentou diferença significativa entre os tratamentos pela análise de variância. Os fatores sistema de plantio e adição de água, bem como a interação entre eles, não foi significativa. A média geral da porcentagem de emergência de plântulas foi de 79,15%.

O resultado obtido deve-se ao fato de que, após a semeadura-adubação, todas as parcelas foram igualmente irrigadas por aspersão convencional de modo a suprir a demanda por água necessária para germinação e emergência de plântulas. A combinação dos fatores sistema de plantio e adição de água não influenciou o estande na área experimental.

Casão Júnior *et al.* (1998) avaliaram o desempenho no campo da semeadora-adubadora para plantio direto modelo Magnun 2850 PD, da marca Jumil. A semeadora-adubadora avaliada demanda uma força de 22,15 kN para

tração quando operada com 7 linhas a 0,08 m de profundidade, a 1,67 m s⁻¹ de velocidade e 37% de umidade do solo. Os autores observaram uma emergência de plântulas de soja de 86% e 87%. Apesar de se tratar de outra cultura, a emergência de plântulas foi superior ao apresentado neste trabalho.

Camilo *et al.* (2004) avaliando a influência de mecanismos rompedores e velocidades de trabalho no desempenho de uma semeadora-adubadora de plantio direto na cultura do feijão obtiveram, em média, 74,07% de emergência de plântulas.

Gonçalves *et al.* (2010) avaliaram 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, obtiveram porcentagem de emergência de plântulas de 55,56%. Os valores foram menores que os obtidos no presente trabalho.

5.4.2.2. Índice de velocidade de emergência

No sexto dia após a semeadura-adubação as primeiras plântulas emergiram . A contagem de plântulas emergidas foi realizada diariamente do 6º até 14º dia após a semeadura-adubação, quando o número de plântulas emergidas apresentou-se constante.

Por meio da análise de variância dos índices de velocidade de emergência não foram observadas diferenças significativas para as médias avaliadas. Também não foi observada interação entre os sistemas plantio e a adição de água. A média foi de 170,64. A operação de semeadura-adubação analisada nesse trabalho possibilita afirmar que o conjunto mecanizado utilizado possui a capacidade de operar plantio direto e sobre solo com preparo convencional, com a variação de umidade de 13,76 e 18,31%, com eficiência semelhante, pois as sementes depositadas proporcionaram uma emergência de plântulas com velocidade uniforme. Após a operação a área foi irrigada contribuindo para a uniformidade de emergência de plântulas, portanto, a água aplicada antes da semeadura não influenciou na umidade disponível para a germinação das sementes e emergência das plântulas.

5.5. Uso de irrigação

Para estimar o custo da lâmina d'água (4,375mm), necessária para aplicação dos tratamentos foi considerado o custo da energia elétrica de aproximadamente R\$ 0,22 por hectare.

O custo horário da mão-de-obra de um operador com salário mensal de R\$ 540,00 com jornada de trabalho diária de 8 horas, durante 24 dias tem um custo aproximado de R\$ 4,09 com os encargos sociais. Considerando que uma hora de trabalho é suficiente para ligar, monitorar e desligar o pivô em sua velocidade máxima e área de 20 hectares, o custo por hectare foi de R\$ 0,20. Portanto, cada hectare irrigado antes da semeadura com pivô central teve um custo de R\$ 0,42.

Com o objetivo de analisar as diferenças entre os custos do sistema de bombeamento de equipamento de pivô central, Oliveira *et al.* (2008) avaliaram um pivô central com as seguintes características: área irrigada 104,19 hectares, lâmina de aplicação em 24 horas de 7,5 milímetros, desnível de 52 metros, pressão no ponto pivô de 490 kPa e comprimento da adutora 852 metros. Pelos resultados, os custos foram próximos, variando entre R\$ 75,75 milímetros por ano e R\$ 82,76 milímetros por ano. Considerando que foram contabilizados para cálculo 120 dias de trabalho, em um dia o custo do milímetro de lâmina d'água aplicado variou de R\$ 0,63 a R\$ 0,69. No presente trabalho esses custos foram inferiores visto que, o custo médio com energia elétrica por milímetro de lâmina d'água aplicada foi de, aproximadamente, R\$ 0,10. Essa diferença pode ser devida a erros de dimensionamento ou mesmo condições diferentes como tamanho do pivô central, desnível entre a área de bombeamento e a do pivô, comprimento da adutora, dentre outros.

6. CONCLUSÕES

- Em sistema de plantio direto a força média de tração demandada pela semeadora-adubadora foi menor sem adição de água;
- Em sistema de plantio convencional a força média de tração demandada pela semeadora-adubadora foi menor com adição de água;
- A velocidade operacional, o consumo horário de combustível, a capacidade operacional, o custo de combustível por área trabalhada, o consumo específico de combustível, porcentagem e índice de velocidade de emergência de plântulas não foram afetados pelos sistemas de plantio e adição de água no solo;
- A potência e a energia demandada para tração pela semeadora-adubadora não foram afetadas pela adição de água;
- A potência e a energia demandada para tração pela semeadora-adubadora foram maiores no sistema de plantio convencional;
- Os fatores sistema de plantio e adição de água não afetaram a porcentagem de espaçamentos falhos;
- A porcentagem de espaçamentos múltiplos foi menor com adição de água antes da semeadura;
- Sem adição de água não há diferenças entre os tipos de sistemas de plantio para o número de espaçamentos aceitáveis;
- Com adição de água o sistema de plantio convencional tem maior número de espaçamentos aceitáveis em relação ao sistema de plantio direto;
- No sistema de plantio direto a adição de água não afeta o número de espaçamentos aceitáveis;
- No sistema de plantio convencional a adição de água ajuda a aumentar o número de espaçamentos aceitáveis.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROCERES. Agroceres, Disponível em: <http://www.sementesagroceres.com.br/AG1051.aspx>. Acesso em: out. de 2008.

ANDRADE, C.L.T. Seleção do sistema de irrigação. **Circular Técnica** n. 14. 2001.

ANDREOLLA, V. R. M.; GABREIL FILHO, A. Demanda de potência de uma semeadora com dois tipos de sulcadores em áreas compactadas pelo pisoteio de animais no sistema integração lavoura-pecuária. **Engenharia Agrícola** [online], vol.26, n.3, pp. 768-776. 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS-ANP. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2010. Disponível em: http://www.anp.gov.br/?pg=31286#Se_o_3. Acesso em 18 de novembro, 2010.

ASAE -American Society of Agricultural Engineers. Soil cone penetrometer. **ASAE Standards S313.2**. St. Joseph, p.820-821, 1998

BASSOI, L H ; FANTE JÚNIOR, L. ; JORGE, L A C ; CRESTANA, S. ; REICHARDT, K. Distribution of maize root system in a kanduidalfic eutrudox soil: II. Comparison between irrigated and fertirrigated crops. **Scientiae Agrícola**, Piracicaba, Brazil, v. 51, n. 3, p.541-548. Sept./Dec,1994

BERNARDO, S. Manual de irrigação. 5.ed. Viçosa: UFV, 1989. 596p.

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

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**, Brasília, DF: 1992. 365p.

CAMILO, A. J.; FERNANDES, H. C.; MODOLO, A. J. RESENDE, R. C. de. Influência de mecanismos rompedores e velocidades de trabalho no

desempenho de uma semeadora-adubadora de plantio direto do feijão. *Engenharia na Agricultura*, v.12, n.3, p. 203-211, 2004.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G. de; RALISCH, R.; SILVA, A. L. da; LADEIRA, A. de S.; SILVA, J. C. da; MACHADO, P.; ROSSETTO, R. Avaliação do desempenho da semeadora-adubadora Magnum 2850 PD no basalto paranaense. IAPAR-Instituto Agrônomo do Paraná, **Circular nº 105**, 1998.

CEPIK, C. T. C.; TREIN, C. R.; 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. **Engenharia Agrícola**, vol.25, n.2, p.447-457. 2005.

COELHO, J.L.D. Ensaio e certificação das máquinas para a semeadura. In: MIALHE, L.G. (Ed). **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, p. 551-570. 1996.

CONTE, L.; FERREIRA FILHO, J. B. S. Substituição de fatores produtivos na produção de soja no Brasil. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, vol.45, n.2, p.475-495. 2007.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação. Brasília, Brasil. 412 p. 1999.

FERREIRA, D. F. **Sisvar 5.3 (versão build)**. Universidade Federal de Lavras: UFLA. 2010.

FURLANI, CARLOS E. A.; GAMERO, C. A.; LEVIEN, R.; LOPES, A.; SILVA, R. P. da. Desempenho operacional de uma semeadora-adubadora de precisão, em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. **Engenharia Agrícola** [online], vol.24, n.2, pp. 388-395. 2004.

FURLANI, C. E. A.; LOPES, A. SILVA, R. P. da. Avaliação de semeadora-adubadora de precisão trabalhando em três sistemas de preparo do solo. **Engenharia Agrícola** [online], vol.25, n.2, pp. 458-464. 2005.

FURLANI, C. E. A., SILVA, R. P.DA; , CARVALHO FILHO, A.; CORTEZ, J.W. ; GROTTA, D.C.C. Semeadora-adubadora: exigências em função do preparo do solo, da pressão de inflação do pneu e da velocidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online], vol.32, n.1, pp. 345-352. 2008.

GABRIEL FILHO, A.; SILVA, S.; de L.; MODOLO, A. J. and SILVEIRA, J.C. M. da. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Engenharia Agrícola** [online], vol.24, n.3, pp. 781-789. 2004.

GONÇALVES, W. S.; FERNANDES, H. C.; ARAÚJO, E. F.; PINTO, F. de A. de C. Estabelecimento inicial da cultura do milho em sistema de plantio direto: influência da velocidade operacional e da carga aplicada pelas rodas compactadoras. **Engenharia na Agricultura**, v.18, n.1, p:20-29. 2010.

GRISSE, R. D., KOCHER, M. F., VAUGHAN, D. H. Predicting tractor fuel consumption. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 20, n. 5, p. 553-561. 2004.

KOAKOSKI, A.; SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L.; SOUZA, L. C. F.; REIS, E. F. R. Desempenho de semeadora-adubadora utilizando-se dois mecanismos rompedores e três pressões da roda compactadora. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol.42, n.5, p.725-731. 2007.

KOPPEN, W. **Climatologia com un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948.

KURACHI, S.A.H.; COSTA, J.A.S.; BERNARDI, J.A.; COELHO, J.L.D.; SILVEIRA, G.M. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**, Campinas, v. 48, n. 2, p. 249-262, 1989.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selectyon 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** [online], vol.24, n.1, pp. 150-157. 2004.

MERCANTE, E.; SILVA, S. L.; MODOLO, J.; SILVEIRA, J. C. M. Demanda energética e distribuição de sementes de milho em função da velocidade de duas semeadoras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.3, p.424-428, 2005.

MIALHE, L.G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Ceres, 1974. 301p.

MICHEL JÚNIOR, A.J., FORNXTON, K.J., BORRELLI, J. Energy requirements of two tillage systems for irrigated sugarbeets, dry beans and corn. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 28, n. 6, p. 1731-1735. 1985.

MODELO, A. J.; GABRIEL FILHO, A.; SILVA, S.de L. and GNOATTO, E. Força de tração necessária em função do número de linhas de semeadura utilizadas por uma semeadora-adubadora de precisão. **Engenharia Agrícola** [online], vol.25, n.2, pp. 465-473. 2005.

OLIVEIRA, J. S.; ZOCOLER, J. L.; HERNANDEZ F. B. T. **Marginalização dos custos do sistema de bombeamento em função de diferentes lâminas de irrigação**. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Energia. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. 2008.

OLIVEIRA, M. L. D.; VIEIRA, L.B.; MANTOVAI, E. C.; SOUZA, C. M de; DIAS, P. Desempenho de uma semeadora-adubadora para plantio direto, em dois solos com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [online]. vol. 35, n.7, pp. 1455-1463. 2000.

PIMENTEL GOMES, F. Curso de Estatística Experimental. São Paulo: Nobel, 1985. 467 p.

PETROBRÁS, Petróleo Brasileiro S.A. **Características do óleo Diesel**. Disponível em: http://www.br.com.br/wps/portal/!ut/p/c0/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hLf0N_P293QwMLD383A6MgbwNLE0MjAyDQL8h2VAQA9k0JIQ!!/?PC_7_9O1ONKG108HOF02RK094120003_WCM_CONTEXT=/wps/wcm/connect/Portal%20de%20Conteudo/produtos/automotivos/oleo+diesel/caracteristica+do+oleo Acesso em: 21 de julho de 2011.

REIS, E.F. **Ambiente solo-semente em um Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes mecanismos rompedores e compactadores de uma semeadora de plantio direto na cultura do milho**. 2003 66f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2003.

REIS, E.F.; VIEIRA, L. B.; SOUZA, C. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES, H. C. Avaliação do desempenho de duas semeadoras-adubadoras de plantio direto em diferentes teores de água em um solo argiloso. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.10, n.1-4, Jan./Dez., 2002.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. (eds). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação**. Viçosa, MG, CFSEMG, 359p. 1999.

SANTOS, A. P.; VOLPATO, C. E. S.; TOURINO, M. C. C. Desempenho de três semeadoras-adubadoras de plantio direto para a cultura do milho. **Ciência Agrotécnica**, v.32, n.2, p.540-546. 2008.

SILVA, J. G.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVEIRA, P. M. Desempenho de uma semeadora-adubadora no estabelecimento e na produtividade da cultura do milho sob plantio direto. **Scientiae Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, 2000b.

SILVA, V.R., REINERT, D. J., REICHERT, J. M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n 5, p.795-801, 2000a.

SILVEIRA, J. C. M. da; MODOLO, A. J.; SILVA, S. de L.; GABRIEL FILHO, Antonio. Força de tração e potência de uma semeadora em duas velocidades de deslocamento e duas profundidades de deposição de sementes. **Revista Brasileira de engenharia Agrícola e Ambiental** [online]. vol.9, n.1, pp. 125-128. 2005b.

SILVEIRA, J. C. M.; GABRIEL, F. A.; SECCO, D. Demanda de potência e força de tração de uma semeadora na implantação do milho safrinha sob plantio direto. **Engenharia na Agricultura**, v. 13, n. 4, p. 256-267, 2005a.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 4, p. 573-581, 1998.

APÊNDICE

TABELA 1 - Análise de variância do teor de água do solo em função do sistema de plantio e adição de água no solo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	4	39,9256	9,9814	4,176*	0,0240
Sistema de Plantio	1	44,8202	44,8202	18,752**	0,0010
Adição de água	1	42,5736	42,5736	17,813**	0,0012
Sistema de plantio x adição de água	1	12,0746	12,0746	5,052*	0,0442
Resíduo	12	28,6812	2,3900		
Total	19				
CV (%)	8,84				
Média geral	17,491				

** e * significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente; ns não significativo.

TABELA 2 - Análise de variância do teor de água do solo para o desdobramento do tipo de sistema de plantio dentro de nível de aplicação de água no solo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Sistema de plantio/adção de água	1	5,1840	5,1840	2,169 ^{ns}	0,1666
Sistema de plantio/sem adção de água	1	51,7108	51,7108	21,635**	0,0006
Resíduo	12	28,6812	2,3901		

** e * significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente; ns não significativo.

TABELA 3 - Valores médios obtidos para teor de água no solo (porcentagem) no momento da semeadura em função dos tipos de sistema de plantio dentro do nível com adição de água no solo

Tratamentos	Médias ¹
Sistema de Plantio Convencional	18,230 a
Sistema de Plantio Direto	19,670 a
DMS (5%)	2,13
Erro Padrão	0,6914

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

TABELA 4 - Valores médios obtidos para teor de água no solo (porcentagem) no momento da semeadura em função dos tipos de sistema de plantio dentro do nível sem adição de água no solo

Tratamentos	Médias
Sistema de Plantio Convencional	13,758 a
Sistema de Plantio Direto	18,306 b
DMS (5%)	2,13
Erro Padrão	0,6914

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

TABELA 5 - Análise de variância do teor de água do solo para o desdobramento do fator adição de água dentro de cada tipo de sistema de plantio

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Adição de água/sistema de plantio convencional	1	49,9970	49.9970	20,918**	0,0006
Adição de água/sistema de plantio direto	1	4,6512	4,6512	1,946 ^{ns}	0,1883
Resíduo	12	28,6812	2,3901		

** e * significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ns não significativo.

TABELA 6 - Valores médios obtidos para teor de água no solo (porcentagem) no momento da semeadura nas parcelas sobre sistema de plantio convencional

Tratamentos	Médias
Sem adição de água	13,758 a
Com adição de água	18,230 b
DMS (5%)	2,13
Erro Padrão	0,6914

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

TABELA 7 - Valores médios obtidos para teor de água no solo (porcentagem) no momento da semeadura nas parcelas em função do sistema de plantio

Tratamentos	Médias
Sistema de Plantio Convencional	18,306 a
Sistema de Plantio Direto	19,676 a
DMS (5%)	2,13
Erro Padrão	0,6914

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

TABELA 8 - Análise de variância da força de tração demandada (kN) pela semeadora-adubadora em função do tipo de sistema de plantio e adição de água no solo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	4	10,322	2,58	2,562 ^{ns}	0,0927
Sistema de Plantio	1	13,317	13,317	13,220 ^{**}	0,0034
Adição de água	1	1,458	1,458	1,447 ^{ns}	0,2521
Sistema de Plantio x Adição de água	1	4,920	4,920	4,884 [*]	0,0473
Resíduo	12	12,088	1,007		
Total	19	42,105			
CV (%)	5,85				
Média geral:	17,148				

^{**} e ^{*} significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ns não significativo.

TABELA 9 - Análise de variância do desdobramento do fator sistema de plantio dentro de cada nível de adição de água no solo para força de tração demandada (kN) pela semeadora-adubadora

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Sistema de plantio/adição de água	1	1,024	1,024	1,017 ^{ns}	0,3332
Sistema de plantio/sem adição de água	1	17,213	17,213	17,088 ^{**}	0,0014
Resíduo	12	12,881	1,007		

^{**} e ^{*} significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ^{ns} não significativo.

TABELA 10 - Valores médios obtidos para força média de tração demandada (KN) pela semeadora-adubadora em função do tipo de sistema de plantio nas parcelas com adição de água no solo

Tratamentos	Médias
Sistema de Plantio Direto	16,558 a
Sistema de Plantio Convencional	17,198 a
DMS (5%)	1,38
Erro Padrão	0,4488

¹Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

TABELA 11 -Valores médios obtidos para força média de tração demandada (KN) pela semeadora-adubadora em função do tipo de sistema de plantio nas parcelas sem adição de água no solo

Tratamentos	Médias
Sistema de Plantio Direto	16,106 a
Sistema de Plantio Convencional	18,730 b
DMS (5%)	1,38
Erro Padrão	0,4488

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

TABELA 12 -Análise de variância do desdobramento do fator adição de água no solo dentro de cada tipo de sistema de plantio para força de tração demandada (kN) pela semeadora-adubadora

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Adição de água/ sistema de plantio convencional	1	5.8676	5.8676	5,825*	0,0327
Adição de água/sistema de plantio direto	1	0,5108	0,5108	0,507 ^{ns}	0,4900
Resíduo	12	12,0881	1,0073		

** e * significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ns não significativo.

TABELA 13 -Valores médios obtidos para força média de tração demandada (KN) pela semeadora-adubadora em função do fator adição de água no solo nas parcelas sobre sistema de plantio convencional

Tratamentos	Médias
Com adição de água	17,198 a
Sem adição de água	18,730 b
DMS (5%)	1,383
Erro Padrão	0,4488

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

TABELA 14 -Valores médios obtidos para força média de tração demandada (KN) pela semeadora-adubadora em função do fator adição de água no solo nas parcelas sobre sistema de plantio direto

Tratamentos	Médias
Com adição de água	16,106 a
Sem adição de água	16,558 a
DMS (5%)	1,383
Erro Padrão	0,4488

¹Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

TABELA 15 -Análise de variância da velocidade média operacional de uma semeadora-adubadora em função do sistema de plantio e adição de água no solo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	4	0,00363	0,000908	0,919 ^{ns}	0,4843
Sistema de Plantio	1	0,00050	0,000500	0,506 ^{ns}	0,4903
Adição de água	1	0,00338	0,003380	3,423 ^{ns}	0,0891
Sistema de Plantio x adição de água	1	0,00002	0,000020	0,020 ^{ns}	0,8892
Resíduo	12	0,01185	0,019380		
Total	19	0,01938			
CV (%)	3,65				
Média geral	0,861				

** e * significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ns não significativo.

TABELA 16 -Análise de variância da patinagem durante a operação de uma semeadora-adubadora em função do sistema de plantio e adição de água no solo.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	4	56,7647	14,1912	0,907 ^{ns}	0,4903
Sistema de Plantio	1	10,3105	10,3105	0,659 ^{ns}	0,4326
Adição de água	1	55,7112	55,7112	3,562 ^{ns}	0,0835
Sistema de Plantio x adição de água	1	1,1810	1,1810	0,076 ^{ns}	0,7881
Resíduo	12	187,6783	15,6399		
Total	19	311,6457			
CV (%)	37,44				
Média geral	10,562				

** e * significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ns não significativo.

TABELA 17 -Análise de variância para potência demandada (kW) pela semeadora-adubadora em função do sistema de plantio e adição de água no solo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	4	9,337	2,334	1,547 ^{ns}	0,2508
Sistema de Plantio	1	12,435	12,435	8,242 [*]	0,0141
Adição de água	1	4,059	4,059	2,690 ^{ns}	0,1269
Sistema de Plantio x adição de água	1	3,520	3,520	2,333 ^{ns}	0,1526
Resíduo	12	18,105	1,509		
Total	19	47,45			
CV (%)	8,31				
Média geral:	14,785				

** e * significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ns não significativo.

TABELA 18 -Valores médios obtidos para potência (kW) demandada para tracionar a semeadora-adubadora em função do sistema de plantio

Tratamentos	Médias
Sistema de Plantio Direto	13,997 a
Sistema de Plantio Convencional	15,574 b
DMS (5%)	1,1969
Erro Padrão	0,3884

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

TABELA 19 -Análise de variância do consumo de combustível de uma semeadora-adubadora em função do sistema de plantio e adição de água no solo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	4	125,00	31,25	0,743 ^{ns}	0,5811
Sistema de Plantio	1	11,25	11,25	0,267 ^{ns}	0,6145
Adição de água	1	1,25	1,25	0,030 ^{ns}	0,8660
Sistema de plantio x adição de água	1	1,25	1,25	0,030 ^{ns}	0,8660
Resíduo	12	505,00	42,08		
Total	19				
CV (%)	11,04				
Média geral	58,75				

** e * significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ns não significativo.

TABELA 20 -Análise de variância do consumo em uma hora (kg h⁻¹) por um conjunto de trator e uma semeadora-adubadora em função do sistema de plantio e adição de água no solo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	4	1,436480	0,359120	0,335 ^{ns}	0,4843
Sistema de Plantio	1	0,351125	0,351125	0,328 ^{ns}	0,4903
Adição de água	1	0,102245	0,102245	0,096 ^{ns}	0,0891
Sistema de plantio x adição de água	1	0,025205	0,025205	0,024 ^{ns}	0,8892
Resíduo	12	12,84620	1,070517		
Total	19	14,76125			
CV (%)	13,50				
Média geral	7,6615				

** e * significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ns não significativo.

TABELA 21 -Análise de variância da capacidade operacional de uma semeadora-adubadora em função do sistema de plantio e adição de água no solo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	4	0,041	0,0102	1,074 ^{ns}	0,4116
Sistema de Plantio	1	0,002	0,002	0,231 ^{ns}	0,6393
Adição de água	1	0,000005	0,000005	0,001 ^{ns}	0,9821
Sistema de plantio x adição de água	1	0,005	0,005	0,504 ^{ns}	0,4914
Resíduo	12	0,114	0,009		
Total	19	0,162			
CV (%)	7,77				
Média Geral	1,26				

** e * significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ns não significativo.

TABELA 22 -Análise de variância do custo do combustível em um hectare trabalhado (R\$ ha-1) por uma semeadora-adubadora em função do sistema de plantio e adição de água no solo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Sistema de Plantio	4	4,908820	1,227205	0,407 ^{ns}	0,8003
Adição de água	1	0,741125	0,741125	0,246 ^{ns}	0,6290
Sistema de Plantio	1	0,080645	0,080645	0,027 ^{ns}	0,8728
Sistema de plantio x adição de água	1	0,083205	0,083205	0,028 ^{ns}	0,8708
Resíduo	12	36,18970	3,015808		
Total	19	42,00349			
CV (%)	11,58				
Média geral	14,9995				

** e * significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ns não significativo.

TABELA 23 -Análise de variância do consumo de combustível por unidade de potência por hora (g kW-1h-1) de trabalho de um conjunto trator e semeadora-adubadora em função do sistema de plantio e adição de água no solo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	4	7240,958	1810,239	0,640 ^{ns}	0,6441
Sistema de Plantio	1	5556,111	5556,111	1,964 ^{ns}	0,1854
Adição de água	1	1407,674	1407,674	0,498 ^{ns}	0,4940
Sistema de plantio x adição de água	1	5331,092	5331,092	1,885 ^{ns}	0,1949
Resíduo	12	33945,88	1,070517		
Total	19	53481,71			
CV (%)	10,23				
Média geral	519,80				

** e * significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ns não significativo.

TABELA 24 -Análise de variância da energia demandada (kW ha-1) por uma semeadora-adubadora em um hectare trabalhado em função do sistema de plantio e adição de água no solo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	4	22,31548	5,578870	1,317 ^{ns}	0,3188
Sistema de Plantio	1	25,31250	25,31250	5,976*	0,0309
Adição de água	1	15,13800	15,13800	3,574 ^{ns}	0,0831
Sistema de plantio x adição de água	1	6,566580	6,566580	1,550 ^{ns}	0,2369
Resíduo	12	50,829520	4,235793		
Total	19	120,16208			
CV (%)	11,16				
Média geral	18,434				

** e * significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ns não significativo.

TABELA 25 -Valores médios obtidos para energia demandada (kW ha-1) pela semeadora-adubadora em função do sistema de plantio

Tratamentos	Médias
Sistema de Plantio Direto	17,309 a
Sistema de Plantio Convencional	19,559 b
DMS (5%)	2,005
Erro Padrão	0,650

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

TABELA 26 -Análise de variância dos valores de espaçamentos falhos entre plântulas de milho em função do sistema de plantio e adição de água no solo.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	4	429,609	107,402	1,754 ^{ns}	0,2029
Sistema de Plantio	1	0,000	0,000	0,000 ^{ns}	0,9996
Adição de água	1	48,797	48,797	0,797 ^{ns}	0,3895
Sistema de plantio x adição de água	1	281,100	281,100	4,592 ^{ns}	0,0533
Resíduo	12	734,603	61,217		
Total	19	1494,109			
CV(%)	38,51				
Média geral	20,31				

** e * significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ns não significativo.

TABELA 27 -Análise de variância dos valores de espaçamentos múltiplos entre plântulas de milho em função do sistema de plantio e da adição de água no solo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	4	209,945	52,486	1,330 ^{ns}	0,3145
Sistema de Plantio	1	95,659	95,659	2,424 ^{ns}	0,1455
Adição de água	1	236,122	236,122	5,983 [*]	0,0308
Sistema de plantio x adição de água	1	0,000	0,000	0,00 ^{ns}	0,9975
Resíduo	12	473,586	39,465		
Total	19	1015,313			
CV(%)	16,75				
Média Geral	37,503				

** e * significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ns não significativo.

TABELA 28 -Porcentagem médias obtidas para espaçamentos múltiplos de plântulas de milhos semeadas com um conjunto trator semeadora-adubadora em função do sistema de plantio e adição de água no solo

Variável	Valores médios				Média Global
	Sistema de plantio		Adição de água no solo		
	Convencional	Direto	Com adição	Sem adição	
Espaçamentos múltiplos	35,31A	36,69 A	34,06 a	40,94 b	37,50

¹Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

TABELA 29 -Análise de variância dos valores de espaçamentos aceitáveis entre plântulas de milho em função do sistema de plantio e adição de água no solo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	4	346,695	86,6738	1,983 ^{ns}	0,1613
Sistema de Plantio	1	95,616	95,616	2,188 ^{ns}	0,1649
Adição de água	1	70,275	70,275	1,608 ^{ns}	0,2288
Sistema de plantio x adição de água	1	281,175	281,175	6,433 [*]	0,0261
Resíduo	12	524,473	43,706		
Total	19	1318,234			
CV(%)	15,67				
Média Geral	42,1895				

** e * significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ns não significativo.

TABELA 30 -Análise de variância dos espaçamentos aceitáveis para o desdobramento do sistema de plantio dentro de cada nível de adição de água no solo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Sistema de Plantio /com adição água	1	352,361	352,361	8,062 [*]	0,0149
Sistema de Plantio / sem adição água	1	24,430	24,430	0,559 ^{ns}	0,4691
Resíduo	12	545,473	43,706		

** e * significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ns não significativo.

TABELA 31 -Porcentagens médias obtidas para espaçamentos aceitáveis entre plântulas em função dos tipos de sistema de plantio nas parcelas em que houve adição de água no solo

Tratamentos	Médias
Sistema de Plantio Direto	38,128 a
Sistema de Plantio Convencional	50,000 b
DMS (5%)	9,110
Erro Padrão	2,956

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

TABELA 32 - Porcentagens médias obtidas para espaçamentos aceitáveis entre plântulas em função dos tipos de sistema de plantio nas parcelas em que não houve adição de água no solo

Tratamentos	Médias
Sistema de Plantio Convencional	38,752 a
Sistema de Plantio Direto	41,878 a
DMS (5%)	9,110
Erro Padrão	2,956

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

TABELA 33 - Análise de variância dos espaçamentos aceitáveis para o desdobramento fator adição de água no solo dentro de cada tipo de sistema de plantio

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Adição de água/ sistema de plantio convencional	1	316,294	316,294	7,237*	0,0197
Adição de água/ Sistema de Plantio Direto	1	35,156	35,156	0,804 ^{ns}	0,3874
Resíduo	12	524,473	43,706		

** e * significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ns não significativo.

TABELA 34 - Porcentagens médias obtidas para espaçamentos aceitáveis entre plântulas em função da adição de água no solo nas parcelas sobre sistema de plantio convencional.

Tratamentos	Médias
Sem adição de água	38,752 a
Com adição de água	50,000 b
DMS (5%)	9,110
Erro Padrão	2,956

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

TABELA 35 - Porcentagens médias obtidas para espaçamentos aceitáveis entre plântulas em função do fator adição de água no solo nas parcelas sobre sistema de plantio direto

Tratamentos	Médias
Sem adição de água	38,128 a
Com adição de água	41,878 a
DMS (5%)	9,110
Erro Padrão	2,956

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

TABELA 36 - Análise de variância da porcentagem de emergência de plântulas de milho em função do tipo de sistema de plantio e adição de água no solo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	4	501,577	125,394	4,403*	0,0202
Sistema de Plantio	1	76,480	76,480	2,686 ^{ns}	0,1272
Adição de água	1	52,975	52,975	1,860 ^{ns}	0,1976
Sistema de plantio x adição de água	1	24,266	24,266	0,852 ^{ns}	0,3741
Resíduo	12	341,730	28,477		
Total	19	997,278			
CV(%)	6,74				
Média geral	79,15				

** e * significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ns não significativo.

TABELA 37 -Análise de variância para o índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de milho em função do tipo de sistema de plantio e adição de água no solo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	4	952,526	238,132	0,710 ^{ns}	0,6004
Sistema de Plantio	1	1187,803	1187,803	3,543 ^{ns}	0,0843
Adição de água	1	0,045	0,045	0,000 ^{ns}	0,9909
Sistema de plantio x adição de água	1	1251,520	1251,520	3,733 ^{ns}	0,0773
Resíduo	12	4023,197	335,266		
Total	19	7415,091			
CV(%)	10,73				
Média geral	170,64				

** e * significativos pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ns não significativo.