



UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PÓS-GRADUAÇÃO *STRITO SENSU* EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Hideo de Jesus Nagahama

**RELAÇÃO MÁQUINA-SOLO-PLANTA EM FUNÇÃO DA
VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO DO CONJUNTO
TRATOR-EQUIPAMENTO E DOS SISTEMAS DE PREPARO**

JUAZEIRO – BA

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PÓS-GRADUAÇÃO *STRITO SENSU* EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Hideo de Jesus Nagahama

**RELAÇÃO MÁQUINA-SOLO-PLANTA EM FUNÇÃO DA
VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO DO CONJUNTO
TRATOR-EQUIPAMENTO E DOS SISTEMAS DE PREPARO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus de Juazeiro, como requisito da obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. D.Sc. Jorge Wilson Cortez

JUAZEIRO – BA

2013

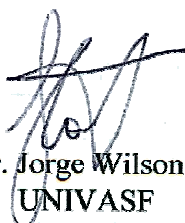
UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PÓS-GRADUAÇÃO *STRITO SENSU* EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

Hideo de Jesus Nagahama

**RELAÇÃO MÁQUINA-SOLO-PLANTA EM FUNÇÃO DA
VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO DO CONJUNTO
TRATOR-EQUIPAMENTO E DOS SISTEMAS DE PREPARO**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação *Strito Sensu* em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, como requisito parcial para obtenção do título de mestre.



Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez
UNIVASF
Presidente da Banca



Prof. Dra. Nelci Olszewski
UNIVASF
Examinador Interno



Prof. Dr. Alberto Carvalho Filho
UFV - Campus Rio Paranaíba
Examinador Externo

Nagahama, Hideo J.

N147r Relação máquina-solo-planta em função da velocidade de deslocamento do conjunto trator-equipamento e dos sistemas de preparo / Hideo J. Nagahama - Juazeiro, 2013.
 125f. :il; 29 cm.

 Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro-BA, 2013.

 Orientador: Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez.

 1. Máquinas agrícolas. 2. Solo. 3. Tratores. I. Título. II. Cortez, Jorge Wilson (Orient). III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 631.3

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Nobuo Nagahama (*In memoriam*) e Maria de Lourdes de Jesus Nagahama, por todo o amor e dedicação e por serem fonte de inspiração honorífica;

Ao meu orientador, Professor D.Sc. Jorge Wilson Cortez, por acreditar e confiar no potencial deste discípulo para execução dos trabalhos, além de sua aplicável atenção e dedicação para os esclarecimentos da redação desta dissertação;

A minha amada esposa Ivonaide de Souza Nagahama e as minhas queridas filhas Isabela Yumi de Souza Nagahama e Yasmin Sayuri de Souza Nagahama, por compartilharem os momentos difíceis e tentarem amenizá-los, por proporcionarem momentos de intensa felicidade e alegria e pela grande paciência de um *Bodhisattva*;

A todos os professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, por proporcionarem valiosos momentos de aprendizado, não só intelectual, mas moral e cívico;

A todos os meus companheiros/colegas da Pós-Graduação, por tornarem as aulas mais divertidas, menos cansativas e proveitosas;

Aos futuros colegas de profissão Elder Barboza de Souza, Antônio Pereira Patrocínio Filho, Wisy Alves Pimenta, Alan da Cunha Honorato e Victor Fonseca de Araujo pelo grande apoio logístico;

A secretária do CPGEA, Clévia Anécia pela compreensão e colaboração com as documentações referentes ao Programa de Mestrado.

As pessoas que contribuíram direta e/ou indiretamente para que o curso de Pós-Graduação *Strito Sensu* em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Vale do São Francisco, se tornasse realidade e que possa ser concretizado.

A todos, os meus sinceros agradecimentos.

"O Nam-myoho-renge-kyo é como um rugido de um leão. Que doença pode, portanto ser um obstáculo?"

(Nitiren Daishonin)

"A covardia e a vaidade são os grandes inimigos da prática da fé. As pessoas com fé inclinadas para a covardia e vaidade não podem alcançar a iluminação. A prática da fé é senão o corajoso ato de avançar com espírito de leão nas horas cruciais ou nos momentos que surgem as dificuldades."

(Daisaku Ikeda)

NAGAHAMA, H. J. **Relação máquina-solo-planta em função da velocidade de deslocamento do conjunto trator-equipamento e dos sistemas de preparo.** 2013. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Juazeiro-BA.

RESUMO

A necessidade de usar o solo cada vez mais intensivamente, principalmente com o auxílio de máquinas, para atender a demanda de produção de alimentos e matérias-primas; tornam o manejo e o uso, as principais causas da degradação dos solos agrícolas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito ocasionado pelo preparo periódico do solo e a velocidade de deslocamento sobre os atributos físicos do solo, no desempenho do conjunto trator-equipamento e no desenvolvimento da cultura do sorgo forrageiro. O experimento foi conduzido no Campus de Ciências Agrárias - UNIVASF num delineamento em blocos ao acaso com parcelas subdivididas e 04 repetições (blocos); constituído por cinco sistemas de preparo do solo aplicados nas parcelas – sem preparo primário, grade *tandem* mais arado de aivecas, grade *off-set* de discos de 0,56 m, grade *off-set* de discos de 0,61 m e grade *tandem* mais escarificador, enquanto que nas subparcelas aplicou-se quatro velocidades de deslocamento na mobilização do solo – 2,45 km h⁻¹; 3,88 km h⁻¹; 5,72 km h⁻¹ e 6,50 km h⁻¹; com posterior semeadura de sorgo forrageiro BRS 610, híbrido simples. Avaliou-se a relação máquina-solo-planta, onde no conjunto trator-equipamento foi avaliado - velocidade teórica e efetiva, largura e profundidade efetiva de trabalho e capacidades de campo; no solo – porcentagem de cobertura vegetal, densidade, porosidade total, umidade e resistência mecânica à penetração, e; na planta – estande inicial e final, biomassa, altura e diâmetro de colmo. Os dados foram analisados por meio da análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade com comparação de médias e pela geoestatística. Os sistemas de preparo do solo e as velocidades de deslocamento influenciaram o desempenho do conjunto trator-equipamento e os atributos físicos do solo; entretanto, na planta apenas a altura do sorgo BRS 610 foi influenciada, enquanto que a produtividade não diferiu estatisticamente.

Palavras-chave: Mecanização agrícola, Argissolo Amarelo, *Sorghum bicolor*.

NAGAHAMA, H. J. **Relationship machine-soil-plant according to the forward speed of the tractor-equipment and tillage systems.** 2013. 125f. Dissertation (Master in Agricultural Engineering), Federal University of São Francisco Valley, UNIVASF, Juazeiro-BA.

ABSTRACT

The need to use the soil increasingly intensively, especially with the aid of machines, to meet the demand of production of food and raw materials; make the management and use, the main causes of degradation of agricultural soils. The objective of this study was to evaluate the effect caused by soil tillage and forward speed on soil physical attributes, the performance of the tractor-equipment and development of sorghum forage. The experiment was conducted at the Campus Agricultural Sciences - UNIVASF in randomized blocks with split plots and four replications (blocks); consisting of five tillage systems applied to the plots – unprepared primary, disc harrow *tandem* more moldboard plow, harrow disc *off-set* of 0.56 m, harrow disc *off-set* of 0.61 m and disc harrow *tandem* more chisel plow, while the plots were applied four forward speeds in tillage – 2.45 km h⁻¹, 3.88 km h⁻¹, 5.72 km h⁻¹ and 6.50 km h⁻¹; with subsequent seeding of forage sorghum BRS 610, simple hybrid. We evaluated the relationship soil-plant-machine, where the tractor-equipment was evaluated – theoretical speed and effective width and effective depth of field work and capabilities; soil – the percentage of vegetation cover, soil bulk density, porosity, moisture and penetration resistance, and, in the plant – initial and final stands, biomass, height and stem diameter. Data were analyzed by analysis of variance and Tukey test at 5% probability to compare means and geostatistics. The tillage systems and forward speeds influenced the performance of the tractor-equipment and soil physical attributes; however, only in plant height sorghum BRS 610 has been influenced, whereas the productivity did not differ statistically.

Keywords: Agricultural mechanization, Yellow Argisil, *Sorghum bicolor*.

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Croqui da área experimental com a disposição das parcelas e subparcelas.....	44
Figura 2. Croqui das subparcelas experimentais.	44
Figura 3. Esquema para coleta de dados pontual e de perfil.	52
Figura 4. Largura efetiva de trabalho (m) da grade <i>off-set</i> de discos de 0,56 m (Grade GAM) para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).....	58
Figura 5. Ruído médio (dB (A)) em função das velocidades de (VD).....	60
Figura 6. Capacidade de campo efetiva (ha h ⁻¹) do conjunto trator-equipamento para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).....	62
Figura 7. Capacidade de campo operacional (ha h ⁻¹) do conjunto trator-equipamento para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).....	62
Figura 8. Rendimento de campo teórico (%) do conjunto trator-equipamento para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).....	65
Figura 9. Variação da velocidade de trabalho (km h ⁻¹) do conjunto trator-equipamento para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).....	67
Figura 10. Força de tração (kN) do conjunto trator-equipamento para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).....	70
Figura 11. Potência (kW) do conjunto trator-equipamento para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).....	71
Figura 12. Cobertura vegetal sobre o solo após o preparo (%) da grade <i>off-set</i> de discos de 0,56 m (Grade GAM) para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).	75
Figura 13. Índice de cobertura vegetal sobre o solo (%) em função das velocidades de deslocamento (VD).	75
Figura 14. Semivariograma do escarificador (GT+ESC) para RP perfil (MPa) nas velocidades de deslocamento: (a) 2,45 km h ⁻¹ (b) 3,88 km h ⁻¹ (c) 5,72 km h ⁻¹ e (d) 6,50 km h ⁻¹	84

Figura 15. Semivariograma do arado de aivecas (GT+AA) para RP perfil (MPa) nas velocidades de deslocamento: (a) 2,45 km h ⁻¹ ; (b) 3,88 km h ⁻¹ ; (c) 5,72 km h ⁻¹ e (d) 6,50 km h ⁻¹	85
Figura 16. Semivariograma da grade <i>off-set</i> de discos de 0,56 m (Grade GAM) para RP perfil (MPa) nas velocidades de deslocamento: (a) 2,45 km h ⁻¹ ; (b) 3,88 km h ⁻¹ ; (c) 5,72 km h ⁻¹ e (d) 6,50 km h ⁻¹	85
Figura 17. Semivariograma da grade <i>off-set</i> de discos de 0,61 m (Grade ATCR) para RP perfil (MPa) nas velocidades de deslocamento: (a) 2,45 km h ⁻¹ ; (b) 3,88 km h ⁻¹ ; (c) 5,72 km h ⁻¹ e (d) 6,50 km h ⁻¹	86
Figura 18. Semivariograma do sistema sem preparo primário (SPP) para RP perfil (MPa).	86
Figura 19. Validação cruzada da Krigagem para RP (MPa) do escarificador (GT + ESC) nas velocidades de deslocamento: (a) 2,45 km h ⁻¹ ; (b) 3,88 km h ⁻¹ ; (c) 5,72 km h ⁻¹ e (d) 6,50 km h ⁻¹	87
Figura 20. Validação cruzada da Krigagem para RP (MPa) do arado de aivecas (GT+AA) nas velocidades de deslocamento: (a) 2,45 km h ⁻¹ ; (b) 3,88 km h ⁻¹ ; (c) 5,72 km h ⁻¹ e (d) 6,50 km h ⁻¹	88
Figura 21. Validação cruzada da Krigagem para RP (MPa) da grade <i>off-set</i> de discos de 0,56 m (Grade GAM) nas velocidades de deslocamento: (a) 2,45 km h ⁻¹ ; (b) 3,88 km h ⁻¹ ; (c) 5,72 km h ⁻¹ e (d) 6,50 km h ⁻¹	88
Figura 22. Validação cruzada da Krigagem para RP (MPa) da grade <i>off-set</i> de discos de 0,61 m (Grade ATCR) nas velocidades de deslocamento: (a) 2,45 km h ⁻¹ ; (b) 3,88 km h ⁻¹ ; (c) 5,72 km h ⁻¹ e (d) 6,50 km h ⁻¹	89
Figura 23. Validação cruzada da Krigagem para RP (MPa) do sistema sem preparo primário (SPP).	89
Figura 24. Mapas de isolinhas do escarificador (GT + ESC) para RP perfil (MPa) nas velocidades de deslocamento: (a) 2,45 km h ⁻¹ (b) 3,88 km h ⁻¹ (c) 5,72 km h ⁻¹ e (d) 6,50 km h ⁻¹	90
Figura 25. Mapas de isolinhas do arado de aivecas (GT + AA) para RP perfil (MPa) nas velocidades de deslocamento: (a) 2,45 km h ⁻¹ ; (b) 3,88 km h ⁻¹ ; (c) 5,72 km h ⁻¹ e (d) 6,50 km h ⁻¹	90
Figura 26. Mapas de isolinhas da grade <i>off-set</i> de discos de 0,56 m (Grade GAM) para RP perfil (MPa) nas velocidades de deslocamento: (a) 2,45 km h ⁻¹ ; (b) 3,88 km h ⁻¹ ; (c) 5,72 km h ⁻¹ e (d) 6,50 km h ⁻¹	91
Figura 27. Mapas de isolinhas da grade <i>off-set</i> de discos de 0,61 m (Grade ATCR) para RP perfil (MPa) nas velocidades de deslocamento: (a) 2,45 km h ⁻¹ ; (b) 3,88 km h ⁻¹ ; (c) 5,72 km h ⁻¹ e (d) 6,50 km h ⁻¹	91
Figura 28. Mapa de isolinhas do sistema sem preparo primário (SPP) para RP perfil (MPa).	92

Figura 29. Altura do sorgo BRS 610 aos 30 DAE para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).	97
Figura 30. Altura do sorgo BRS 610 aos 60 DAE em função das velocidades de deslocamento (VD).	98
Figura 31. Altura do sorgo BRS 610 aos 90 DAE para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).	99
Figura 32. Altura do sorgo BRS 610 aos 110 DAE em função das velocidades de deslocamento (VD).	99
Figura 33. Biomassa verde do sorgo BRS 610 aos 90 DAE para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).....	103

LISTA DE TABELAS

	Páginas
Tabela 1. Composição granulométrica do Argissolo Amarelo e umidade do solo durante o preparo do solo e na coleta de RP pontual e no perfil da área experimental.	39
Tabela 2. Análise química do solo da área experimental.	39
Tabela 3. Resumo da máxima exposição diária permissível, segundo Norma Regulamentadora (NR 15) do Ministério do Trabalho e Emprego.	47
Tabela 4. Parâmetros específicos de cada grupo de equipamentos.	48
Tabela 5. Largura e profundidade efetiva de trabalho em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD).	56
Tabela 6. Desdobramento da interação sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD) para a largura efetiva de trabalho dos equipamentos.	57
Tabela 7. Ruído médio em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD).	59
Tabela 8. Capacidades de campo em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD).	61
Tabela 9. Rendimento de campo teórico em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD).	63
Tabela 10. Desdobramento da interação sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD) para o rendimento teórico de campo (%) do conjunto trator-equipamento.	64
Tabela 11. Variação da velocidade de trabalho em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD).	66
Tabela 12. Força de tração e potência estimadas em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD).	68
Tabela 13. Desdobramento da interação sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD) para a força de tração (kN) do conjunto trator-equipamento.	69
Tabela 14. Cobertura vegetal antes e após o preparo e o Índice de Cobertura Vegetal (ICV) em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD).	72

Tabela 15. Desdobramento da interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento para a cobertura vegetal após o preparo do solo.	74
Tabela 16. Densidade do solo (Ds) e porosidade total determinada do solo (Pt) em função dos sistemas de preparo do solo (SP), das velocidades de deslocamento (VD) e camadas do solo (CS).	76
Tabela 17. Desdobramento da interação sistemas de preparo do solo e camadas do solo para a densidade do solo e porosidade total determinada do solo.	77
Tabela 18. Resistência mecânica do solo à penetração (RP pontual) em função dos sistemas de preparo do solo (SP), velocidades de deslocamento (VD) e camadas do solo (CS).	79
Tabela 19. Desdobramento da interação sistemas de preparo do solo (SP) e camadas do solo (CS) para a resistência mecânica do solo à penetração (RP pontual – MPa).....	81
Tabela 20. Dados do semivariograma para a resistência mecânica do solo à penetração (RP) nas camadas de solo avaliadas para os sistemas de preparo (SP) em função das velocidades de deslocamento (VD).....	83
Tabela 21. Dados da validação cruzada para a resistência mecânica à penetração do solo (RP) nas camadas de solo avaliadas para os sistemas de preparo do solo (SP) em função das velocidades de deslocamento (VD).	87
Tabela 22. Números médios de dias para emergência de plântulas, estande e de plantas sobreviventes em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD).	93
Tabela 23. Altura de plantas e diâmetro de colmo do sorgo BRS 610 em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD).....	94
Tabela 24. Desdobramento da interação sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD) para a altura do sorgo BRS 610 aos 30 dias após emergência.	96
Tabela 25. Desdobramento da interação sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD) para a altura do sorgo BRS 610 aos 90 dias após emergência.	98
Tabela 26. Biomassa verde e seca do sorgo BRS 610 em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD).....	100
Tabela 27. Desdobramento da interação sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD) para a biomassa verde do sorgo BRS 610 (Mg ha ⁻¹) aos 90 dias após emergência.	102

SUMÁRIO

	Páginas
1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. História do preparo do solo.....	18
2.2. Desempenho do trator no preparo do solo	23
2.2.1. Velocidade teórica, efetiva e a variação	24
2.2.2. Largura e profundidade efetiva de trabalho	25
2.2.3. Capacidades de campo	27
2.3. Alguns atributos físicos do solo	28
2.3.1. Qualidade do solo.....	28
2.3.2. Porcentagem de cobertura vegetal do solo	30
2.3.3. Densidade do solo	32
2.3.4. Porosidade total do solo	33
2.3.5. Umidade no solo e resistência mecânica do solo à penetração	34
2.4. A cultura do sorgo	37
3. MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1. Local.....	39
3.2. Equipamentos e insumos	40
3.3. Delineamento	43
3.4. Desempenho do trator no preparo do solo	44
3.4.1. Velocidade teórica, efetiva e a variação	44
3.4.2. Largura e profundidade de trabalho	45
3.4.3. Capacidade de campo.....	45
3.4.4. Ruído no posto do operador.....	46
3.5.5. Força de tração e potência estimadas.....	48
3.5. Alguns atributos físicos do solo	49
3.5.1. Porcentagem de cobertura vegetal do solo	49
3.5.2. Densidade do solo e porosidade total determinada.....	49
3.5.3. Umidade no solo e resistência mecânica do solo à penetração	50
3.6. Avaliação da cultura do sorgo	52
3.7. Análise dos dados	53
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1. Parâmetros relacionados ao conjunto trator-equipamento	56

4.1.1. Largura e profundidade efetiva de trabalho	56
4.1.2. Ruído no posto do operador	58
4.1.3. Capacidades de campo	60
4.1.4. Rendimento de campo teórico	63
4.1.5. Variação da velocidade de trabalho	65
4.1.6. Força de tração e potência estimadas.....	68
4.2. Parâmetros relacionados ao solo	71
4.2.1. Porcentagem de cobertura vegetal do solo	71
4.2.2. Densidade do solo e porosidade total determinada do solo	76
4.2.3. Resistência mecânica do solo à penetração	79
4.2.4. Geoestatística para a análise de resistência mecânica no perfil do solo.....	82
4.3. Parâmetros relacionados à planta - sorgo forrageiro BRS 610	93
4.3.1. Emergência de plântulas, estande - inicial e final e plantas sobreviventes	93
4.3.2. Altura de plantas e diâmetro de colmo	94
4.3.3. Biomassa verde e seca	100
5. CONCLUSÕES	104
6. REFERÊNCIAS	105

1. INTRODUÇÃO

O solo como alicerce para a vida terrestre é essencial para a prática da agricultura tradicional, a qual foi iniciada há mais de 10.000 anos, e ocorreu por meio da progressiva mudança do sistema nômade de sobrevivência para o modo de vida sedentário, promovido pela crescente necessidade de alimentos tanto para os indivíduos quanto para os seus animais. Apesar da experiência milenar, o domínio sobre as técnicas de produção era, em geral, muito precário e a produção de alimentos sempre foi um dos maiores desafios da humanidade (MAROUELLI, 2003).

Durante os séculos XVIII e XIX, surge à chamada agricultura moderna que implantava um intenso processo de mudanças tecnológicas, sociais e econômicas denominada de Revolução Agrícola, que teve papel crucial na fragmentação do modo de produção feudal e com isto, o advento do capitalismo. Segundo Veiga (1991), esta revolução provocou um dos mais importantes saltos de qualidade de vida para a humanidade com o fim da escassez crônica de alimentos.

Com as descobertas do pesquisador alemão Justus Von Liebig teve-se um novo período revolucionário na agricultura, que recebeu a denominação de Revolução Verde; onde nessa época pode-se verificar não só o aumento do número de fertilizantes químicos industriais, mas também o de inseticidas, hormônios vegetais, maquinaria pesada e sementes melhoradas geneticamente (MAAR, 2006).

Seguindo a tendência mundial para a modernização do setor agrícola, o Brasil a partir da década de 1950, inicia o processo de modernização da agricultura; com a importação de meios de produção mais avançados. No entanto, é só na década de 1960 que esse processo vai se concretizar, devido à implantação no país de um setor industrial voltado para a produção de equipamentos e insumos para a agricultura (TEIXEIRA, 2005; PASQUAL; PEDROZO, 2007).

Com a modernização, verifica-se uma transformação significativa no âmbito da agricultura nacional, principalmente, quando se observa o acréscimo no número de tratores utilizados na agricultura, que serve como indicador de mudança nos moldes produtivos do país. Esta produção interna de tratores no Brasil só se iniciou no ano de 1959, com a instalação da Ford. Antes desse ano, os tratores usados eram todos importados.

A agricultura moderna brasileira tem se deparado com o aumento nos custos dos insumos, o que pode ocasionar a redução da lucratividade. Dessa forma, o planejamento da mecanização, por meio do correto dimensionamento dos equipamentos agrícolas, pode ser uma forma de adequação, atuando na otimização do uso da maquinaria.

Segundo Matos (2007), a utilização de máquinas agrícolas pode representar até 40% dos custos totais de produção, o que justifica a necessidade do seu planejamento, promovendo uma busca pela melhoria nos sistemas gerenciais por meio do aproveitamento dos recursos produtivos. Nogueira (2001), Vieira e Brizolla (2007) e Santos e Vale (2012) observam que na modernização da agropecuária, um dos principais elementos nesse processo é a mecanização da agricultura, principalmente na produção de grãos.

Dessa forma, o uso de máquinas agrícolas nas propriedades rurais aumentou com o avanço da modernização. Contudo, as operações mecanizadas que não seguem as corretas regulagens podem causar problemas, principalmente quando se trata em preparo periódico do solo. Desse modo, o uso dos equipamentos de preparo do solo, pela ação de seus órgãos ativos que mobilizam o solo a determinada profundidade, causa pressão sobre o mesmo resultando na compactação do solo, ou seja, na formação de camadas compactadas.

A maioria das operações agrícolas empregadas na instalação de uma cultura, desde o preparo do solo à colheita, pode ser mecanizada e apresenta grande eficiência e retorno econômico ao produtor, desde que bem conduzidas, empregando tecnologia e maquinário adequado, porém, há necessidade de que o conjunto trator e equipamento agrícola estejam bem dimensionado para proporcionar elevada capacidade operacional, redução de custos e tempo. Espera-se, também, redução da compactação do solo e das operações agrícolas envolvidas e otimização da eficiência tratória por meio do controle da patinagem (DUARTE JÚNIOR et al., 2008).

Os sistemas de preparo do solo promovem modificações nas propriedades físicas como a agregação do solo, a densidade e a porosidade do solo. A macroporosidade é drasticamente reduzida com a compactação do solo. De forma geral estas propriedades funcionam como indicadores de possíveis restrições ao crescimento radicular das culturas (PEREIRA et al., 2010).

Volk et al. (2004) lembram que na ausência de cobertura vegetal do solo e dos benefícios dela decorrentes, assume-se importância redobrada na redução da erosão hídrica e rugosidade superficial do solo, especialmente aquela induzida pelos sistemas de preparo.

O sorgo forrageiro é uma cultura que no contexto da agropecuária brasileira vem se destacando a cada dia, por ser uma gramínea bastante energética, com alta digestibilidade, produtividade e adaptação a ambientes secos e quentes, nos quais é difícil o cultivo de outras espécies. A planta é utilizada para silagem ou corte verde, para pastejo e os grãos, em rações animais e para o consumo humano (BUSO et al., 2011).

Aliado a esses fatos tem-se a questão da irrigação muito utilizada no semiárido, pois se sabe que o solo na capacidade de campo está sujeito a deformações e quando as máquinas operam nessas condições os problemas da compactação são agravados. Assim, o diagnóstico da compactação e recomendações de manejo para as culturas pode propiciar melhores produtividades, como também melhorar a dinâmica da água no solo.

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou a obtenção de resultados da relação máquina-solo-planta gerados em função da velocidade de deslocamento do conjunto trator-equipamento e dos sistemas de preparo para a produção de sorgo forrageiro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. História do preparo do solo

O preparo do solo tem como finalidade proporcionar condições favoráveis para o desenvolvimento adequado das culturas (FURLANI et al., 2005); tornando-se atividade mecanizada que envolve fatores físicos, químicos e biológicos do solo para otimizar as condições de germinação e emergência de plântulas, bem como o seu estabelecimento.

Desde as antigas civilizações até os dias atuais, a agricultura no sistema convencional se inicia a partir de operações para o preparo do solo, onde as camadas são revolvidas para o controle de plantas daninhas e a ruptura das camadas compactadas, melhorando as condições físicas para o crescimento das raízes e o armazenamento da água (ROSSETTO et al., 2008).

A agricultura praticada atualmente segue uma série de transformações históricas, uma vez que envolvem várias categorias de estabelecimentos que exploram diferentes tipos de solos e diversas espécies de plantas e de animais; em que se sucederam o cultivo manual com derrubada e queimada dos tempos pré-históricos (período neolítico), o cultivo de cereais com a utilização do arado escarificador da Antiguidade, o cultivo de cereais com o emprego de arado na Idade Média, o policultivo associado à criação animal sem alqueive da época moderna até aos cultivos motorizados e mecanizados de hoje (MAZOYER; ROUDART, 2010).

Na escala de tempo da agricultura, a sua origem no período neolítico, cerca de 10.000 anos a. C., baseou-se no desenvolvimento de dois sistemas de criação – criação de gado pastoril e de culturas em áreas de florestas derrubadas e queimadas (CÁCERES, 1999).

Nas regiões de vegetação herbácea de campos rasteiros (savanas, pradarias e estepes) desenvolveram-se os sistemas de criação de gado pastoril, por estas condições ambientais permitirem o pastejo dos animais; localizados nos territórios da Eurásia setentrional, Ásia Central, Saara e altos Andes. Já os sistemas de culturas em áreas de florestas derrubadas e queimadas se estenderam sobre as florestas temperadas e tropicais, principalmente da Ásia, América Latina e África. O cultivo em áreas de florestas era feito com a derrubada e queima da vegetação;

estas áreas desmatadas eram cultivadas por um, dois ou três anos e depois deixadas em pousio durante um ou vários decênios, antes de serem novamente cultivadas (CÁCERES, 1999; SANTILLI, 2009).

Na antiguidade, período que vai do início da agricultura até o final do século 4 d.C. e início do século 5 d.C.. A agricultura baseava-se no cultivo do trigo, sendo este cereal o mais importante entre todas as plantas cultivadas no ocidente (CARNEIRO, 2003). A técnica de cultivo era por meio do revolvimento do solo utilizando-se um instrumento precursor ao arado, com isto tornando-se uma grande conquista ligada ao cultivo do trigo. O arroz, originado na Indochina, por volta de 2.000 a.C., era cultivado em solo seco e foi posteriormente adaptado para o cultivo semiaquático, o que permitiu o aumento da produção (BOARETTO, 2009).

A Idade Média ou Era medieval, período de aproximadamente 1.000 anos, iniciou-se no século 5 d.C., com a desintegração do Império Romano do Ocidente pela invasão dos povos denominados de bárbaros e que habitavam as regiões norte e nordeste da Europa e noroeste da Ásia. Terminou no século 15 d.C., com o fim do Império Romano do Oriente, o império Bizantino, com a tomada de Constantinopla (CÁCERES, 1999; VICENTINO; DORIGO, 2005).

Com o fim das ameaças de invasão, o continente europeu pode vivenciar um período de transformações, o aumento populacional, e com isto, a necessidade de cultivar mais terras permitindo, assim, o desenvolvimento de novas técnicas (CÁCERES, 1999; BOARETO, 2009). O arado pesado era utilizado com cavalos devido ao novo sistema de atrelagem por meio de coalheira e de ferradura, este equipamento agrícola e outros demais passaram a ser fabricados com ferro aumentando a sua durabilidade e resistência para lavrar melhor o solo (IGLÉSIAS, 1990).

A revolução agrícola da Idade Média (século XI ao XIII) aumentou consideravelmente a produção, e houve uma quase duplicação da produção dos cereais, em decorrência do emprego extensivo dos meios e práticas agrícolas por meio do arado ou charrua e a semeadura em faixas (SANTILLI, 2009).

Segundo Saviani (1994), a Era Moderna foi um período em que se baseava na indústria e na cidade; diferentemente da Idade Média onde a cidade subordinava-se ao campo, a indústria à agricultura por meio do modo de produção feudal e artesanal. Enquanto que na Era Moderna, a relação campo-cidade e agricultura-

indústria invertem-se originando a sociedade capitalista em que a agricultura assume a forma industrial de produção resultante do processo de mecanização e do desenvolvimento de determinados insumos (corretivos e fertilizantes).

Neste período na Holanda (século XVII) e na Inglaterra (século XVIII) iniciou alterações nas técnicas da produção agrícola. Conforme Almeida (2004) a primeira revolução agrícola ocorreu a partir da abolição do pousio, possibilitando o cultivo mais intensivo e a prática de novas técnicas havendo o destaque para a rotação de Norfolk que consistia numa rotação quadrienal onde, no primeiro ano cultivavam-se o trevo, no segundo ano um cereal de inverno, no terceiro ano nabo forrageiro de plena estação e no quarto ano um cereal de primavera. Segundo Romeiro (1991), este processo revolucionário agrícola apresentou-se como forte característica oriundo da evolução mecanizada por meio do uso de máquinas a vapor e, mais adiante com o aparecimento do motor a explosão por meio da revolução industrial.

Entre os séculos XVI e XIX, a Europa passara por uma nova revolução agrícola, esta sendo a primeira revolução agrícola dos tempos modernos devido o seu decurso ter sido na mesma época da primeira revolução industrial; criando assim, os sistemas de culturas de cereais e forrageiras sem pousio, que foram substituídos por campos artificiais de gramíneas e outras forrageiras (SANTILLI, 2009). Conforme Veiga (1991), o pousio era uma prática que consistia na não-lavração de uma área por certo período objetivando a recomposição da fertilidade natural; o mesmo lembra que esta prática diferenciava os sistemas gerados pela primeira revolução agrícola dos demais outros sistemas anteriormente praticados e que prevalecem ainda em alguns sistemas tradicionais.

No século XIX, a indústria já produzia máquinas agrícolas, como charruas, semeadoras, ceifadoras, debulhadoras de carrossel, ventiladores para limpar grãos, artefatos para cortar raízes, trituradores, etc. Essas máquinas duplicaram a superfície cultivada por trabalhador e a produtividade do trabalho nos sistemas sem alqueive, principalmente com o aprimoramento do arado *brabant* duplo reversível, uma vez, que este permitia realizar de modo rápido e adequado a lavração, sendo particularmente útil nas terras em declive (ROMEIRO, 1992; SANTILLI, 2009; MAZOYER; ROUDART, 2010).

As máquinas foram largamente utilizadas nos Estados Unidos e nas colônias européias das regiões temperadas. Nos Estados Unidos, a charrua simples foi

aperfeiçoada por John Deere passando esta ser fabricada inteiramente em estrutura metálica e com mecanismo autolimpante, diminuindo os problemas de manuseio (VIAN; ANDRADE JÚNIOR, 2010); iniciando assim, a segunda revolução agrícola dos tempos modernos que se caracterizou pela produção agrícola de forma industrial por meio da mecanização, motorização e a introdução de produtos químicos (adubos, fertilizantes e agrotóxicos); nesta mesma época ocorreu também a seleção de variedades de plantas e raças de animais e a especialização das propriedades agrícolas (VEIGA, 2009).

No início do século XIX, o emprego de produtos químicos cresceu significativamente, principalmente depois da Segunda Guerra Mundial. Segundo Ehlers (1999) e Veiga (2009), esse crescimento foi acompanhado da formulação de novas teorias científicas, que incentivaram a substituição da fertilização orgânica pela fertilização química e que este fato pode ser observado quando em 1840, Justus Von Liebig defendia em sua obra intitulada *Organic chemistry in its application to agriculture and physiology*, que a nutrição das plantas deveria ser uma prática essencial para o aumento da produção agrícola obedecendo à proporcionalidade de substâncias presentes no solo e que deveriam ser incorporadas ao mesmo.

Com o fim da Segunda Guerra Mundial, os países industrializados adotaram políticas de apoio à revolução agrícola, garantindo aos produtores preços estável e crédito facilitado. Adotaram também medidas para facilitar o escoamento dos produtos, a aquisição de máquinas, adubos e fertilizantes químicos, pois pretendiam acelerar a revolução agrícola e liberar mão-de-obra para a indústria e para o setor de serviços (VEIGA, 2009).

No final da década de 1950 e início da década de 1960, um novo modelo agrícola era apresentado, mas continuando com a dependência dos insumos industriais e da mecanização, e que se espalhou pelo mundo tornando-se conhecido como “revolução verde”, onde se pode observar a associação de insumos químicos (adubos e agrotóxicos), mecânicos (tratores, colhedoras mecânicas) e biológicos (variedades melhoradas) promovendo uma intensa padronização das práticas agrícolas e a artificialização do ambiente natural (EHLERS, 1999).

Diversos tipos de preparo do solo são estudados com o fim de verificar a manutenção da fertilidade, o controle da erosão, a redução do custo das operações

e proporcionar maior renda ao agricultor, com manejo sustentado do solo (RODRIGUES, 2001). No entanto, a escolha de um sistema de preparo do solo mais adequado deve ser decisiva para também escolher os equipamentos que deverão ser empregados e não o contrário (GAMERO et al., 1997).

Segundo ASAE (1997), existem diversos sistemas de preparo do solo, os quais são enquadrados em categorias definidas como: a) convencional, que é a combinação de duas ou mais operações; b) reduzido, uma única operação, e; c) semeadura direta, ou seja, a semeadura em solo não-preparado.

O sistema convencional de preparo do solo consiste na realização de uma aração, caracterizada pelo preparo primário do solo, seguida de duas gradagens para destorroamento e nivelamento, também denominada de operações de preparo secundário (CARVALHO FILHO et al., 2007).

O preparo periódico primário do solo são operações mais profundas, realizadas principalmente por arados de discos ou aivecas tendo como objetivo cortar, elevar e inverter a leiva do solo. Durante este preparo ocorre a incorporação da vegetação e dos restos culturais. No preparo secundário têm-se as operações realizadas pelas grades, principalmente pelas de discos lisos, recortados ou lisos e recortados; visando nivelar e destorrear o solo, incorporar herbicidas, corretivos e fertilizantes, e eliminar as plantas daninhas (ALVARENGA et al., 2002; BENTIVENHA et al., 2003).

Segundo EMBRAPA (2006a), o cultivo mínimo ou reduzido ou conservacionista são práticas que visam mobilização do solo, de forma que grande parte da área esteja coberta com resíduo de culturas, *mulching*, cobertura viva com plantas espontâneas ou cobertura verde. Esta prática consiste no revolvimento mínimo do solo e na manutenção de no mínimo de 30% dos resíduos vegetais entre o período de colheita de uma safra e o início da próxima, realizando-se escarificações e gradagens leves (OLIVEIRA et al., 2009; KANEKO et al., 2010).

O escarificador tem sido considerado equipamento agrícola adequado para o preparo reduzido do solo, uma vez que, este promove menor revolvimento e incorporação de restos vegetais, protegendo sua superfície e melhorando a infiltração de água (FIGUEIREDO; MAGALHÃES, 1992); principalmente, quando o escarificador está equipado com rolo destorreador (BOLLER; FAVORETTO, 1998).

Contraopondo aos sistemas de preparo com mobilização total da camada superficial do solo, tem-se o sistema de semeadura direta, que visa principalmente a redução dos efeitos da erosão, mas apresenta, também, outras vantagens sobre os preparos convencionais, tais como: aumento do teor de matéria orgânica do solo e economia de combustíveis nas operações agrícolas (DE MARIA et al., 1999). O método de semeadura direta consiste na colocação direta da semente e do adubo no solo não revolvido, usando-se semeadoras-adubadoras especiais (EMBRAPA, 2006a).

O desenvolvimento do sistema de semeadura direta só se tornou possível graças a um trabalho conjugado de agricultores, pesquisadores, fabricantes de semeadoras e de técnicos interessados em reverter o acelerado processo de degradação do solo e da água (OLIVEIRA et al., 2002).

2.2. Desempenho do trator no preparo do solo

Os tratores usam motores a combustão interna para se mover, tracionar equipamentos e máquinas agrícolas. As perdas de potência aparecem ao desenvolver tração pelas rodas, no eixo da TDP (tomada de potência) e sistema hidráulico. O desempenho de um trator agrícola pode ser avaliado pela força e potência desenvolvida na barra de tração, potência e torque na tomada de potência, eficiência de tração, patinagem das rodas motrizes e consumo de combustível (SILVA; BENEZ, 1997).

A maneira mais comum de utilização da potência desenvolvida pelo motor é pela barra de tração devido a sua versatilidade, porém é a menos eficiente, quando comparada com a TDP e ao sistema hidráulico (SORANSO, 2006; SERRANO, 2007).

De acordo com Silva et al. (1997), o objetivo da avaliação do desempenho de tratores agrícolas, em ensaios de campo, tem sido gerar informações que possibilitem dimensionar e racionalizar o uso de conjuntos motomecanizados na agricultura.

2.2.1. Velocidade teórica, efetiva e a variação

A velocidade de trabalho e a heterogeneidade dos solos são fatores relevantes na avaliação da eficiência e do desempenho operacional de conjuntos motomecanizados. Para Mialhe (1996), a velocidade de deslocamento, em ensaios de máquinas, é um parâmetro que deve ser avaliado exclusivamente em função da qualidade do trabalho executado. Desta forma, a velocidade operacional, conforme o autor, seria um parâmetro caracterizado por uma faixa de valores desde uma velocidade mínima até a velocidade máxima.

Silva (2000), variando a velocidade de semeadura de 3,1 a 8,7 km h⁻¹ e diferentes mecanismos sulcadores para fertilizantes, verificou que houve influência da velocidade sobre o requerimento de força de tração e potência para a implantação da cultura da soja, sendo a maior demanda detectada na maior velocidade. Em estudo realizado por Siqueira et al. (2001), pode-se observar, também, aumento significativo no requerimento de força de tração e potência média e máxima na barra de tração, quando se aumentou a velocidade de deslocamento de 4,7 para 8,3 km h⁻¹.

De acordo com Cortez et al. (2008) durante avaliação do desempenho de um trator agrícola sob dois sistemas de preparo de solo (sistema plantio direto e convencional) juntamente com três marchas (4,0; 5,0 e 7,0 km h⁻¹) na operação de semeadura da crotalária (*Crotalaria juncea*) verificaram que não houve diferença entre os sistemas de preparo do solo quanto aos parâmetros de desempenho do trator. Porém, na escolha de marchas, as velocidades maiores incrementaram a potência, a capacidade de campo efetiva e o consumo horário, e diminuíram o tempo efetivo de trabalho por hectare, o consumo efetivo e o consumo específico.

Silva et al. (1984), ao testar várias configurações de hastes subsoladoras (reta, curva e parabólica), concluíram que a geometria não apresentou influência significativa no desempenho dos subsoladores avaliados. Mas, ao trabalhar num LATOSSOLO VERMELHO distrófico, com 650 g kg⁻¹ de argila e teor de água de 19,5%. Lanças (1998) observou que as hastes parabólicas demandaram maior força de tração que as hastes retas e inclinadas.

Machado et al. (1996) avaliando desempenho de escarificador em PLANOSSOLO com três velocidades de trabalho (2,6 km h⁻¹, 3,6 km h⁻¹ e 4,8 km h⁻¹)

e dois níveis de teor de água no solo (7,2% e 12,0%) verificaram que não há diferença significativa na área transversal de solo mobilizado com a variação da velocidade de trabalho e entre os teores de água no solo. Entretanto, observaram para a velocidade de trabalho igual a $2,6 \text{ km h}^{-1}$ e teor de água no solo de 7,2%, que ocorreu o menor valor de esforço de tração e o maior valor de resistência específica operacional.

Mello e Magalhães (1995) analisando o consumo de combustível de trator-equipamento (arado de discos) verificaram que o consumo de combustível diminui à medida que a velocidade aumenta, sem apresentar alterações no ângulo de ataque horizontal; atribuindo-se tal fato à melhor eficiência do conjunto trator-arado, pois o aumento da velocidade para a mesma exigência de tração proporciona aumento na demanda de potência, com melhor aproveitamento do combustível.

Schlosser et al. (2000) estudando o efeito de dois tipos de arados e duas velocidades de trabalho sobre o diâmetro médio geométrico de agregados de um solo Argissolo Vermelho Amarelo verificaram que na velocidade de $7,0 \text{ km h}^{-1}$, a energia do impacto dos discos sobre o agregado foi substancialmente mais elevada que na condição de menor velocidade (5 km h^{-1}), sendo esta suficiente para ter um efeito desagregante. Os autores, também, observaram uma maior produção de agregados menores, portanto maior desagregação no preparo secundário (gradagem) sobre o solo mobilizado pelo arado de aivecas, e que tende a ser mais evidente quando as operações foram realizadas a menor velocidade (5 km h^{-1}), evidenciando que para esta situação, o arado de aivecas teve uma ação semi-desagregadora maior que a do arado de discos.

2.2.2. Largura e profundidade efetiva de trabalho

A atividade agrícola tem se caracterizado por sistemas de exploração que induzem o uso intensivo do solo e de insumos. De acordo com Mialhe (1996), a largura de corte é a dimensão linear transversal de ação da máquina/equipamento em cada passagem no solo. O mesmo autor lembra que estes parâmetros de desempenho operacional divide-se em três tipos distintos, o teórico que consiste no maior valor de largura de corte que, pode ser obtido em função das dimensões e

posição dos órgãos ativos quando projetada pelo fabricante; o efetivo, composto pela largura obtida em campo após realização padronizada de ensaios, e; o operacional, representado pela média de um determinado número de passadas adjacentes, incluindo o efeito de perdas por recobrimento entre passadas sucessivas.

Segundo Molin et al. (1992), as máquinas para atenderem esta demanda intensiva precisam estar reguladas no que concerne à vazão, largura e/ou profundidade de trabalho, que é determinada como função de uma regularidade desejada e obtida a partir de uma sobreposição com as passadas adjacentes e por meio de ensaios técnicos.

Estudos de Bentivenha (2000) conduzidos em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO de textura média mostraram que o tipo de solo influenciou significativamente o desempenho operacional de três subsoladores, sendo os melhores resultados para o NEOSSOLO QUARTZARÊNICO em todas as variáveis avaliadas (profundidade e largura de trabalho, área e volume mobilizado de solo, área útil trabalhada, capacidade de campo efetiva e rompimento relativo de solo), por possuírem menor agregação, com isto, favorecendo a sua penetração e mobilização.

Schlosser (1987) estudando a largura e profundidade de trabalho de um arado de discos interdependentes (gradeador) com 10 discos de 0,66m, verificou valor médio de 0,16 m para profundidade e de 1,70 m para largura de trabalho, sendo que a maior média obtida para profundidade foi para o tratamento com as rodas fora do sulco e a tração dianteira auxiliar (TDA) ligada, enquanto que as maiores larguras foram constatadas nos tratamentos com a roda no sulco e a TDA ligada.

Carvalho Filho et al. (2007) estudando métodos de preparo e rugosidade superficial do solo observaram que os arados (discos e aivecas) e o escarificador apresentam maior capacidade de penetração e mobilização do solo quando comparados com a enxada rotativa e grade aradora.

2.2.3. Capacidades de campo

Segundo Silveira et al. (2006), máquinas usadas em conjunto deverão ser adequadas umas as outras; por exemplo, um trator deverá ser capaz de fornecer a quantidade exata de potência para tracionar ou acionar toda a gama de equipamentos selecionados para o trabalho em combinação, na melhor velocidade de operação possível. Deste modo, a capacidade de trabalho da máquina, a eficiência de campo e os requisitos de potência são fatores fundamentais no gerenciamento da utilização da maquinaria.

Para Toledo et al. (2010), as operações agrícolas mecanizadas devem ser planejadas de forma racional, a fim de que haja aumento do rendimento no campo. Oliveira Júnior et al. (2009) complementam afirmando que a determinação e quantificação das variáveis de influência são fatores determinantes para o planejamento e o sucesso das operações, contribuindo sobremaneira com a otimização e a viabilidade econômica das atividades agrícolas e florestais.

Desta forma, Simões et al. (2011), afirmam que a realização de estudos que possibilitem aumentar a capacidade em horas produtivas para reduzir as horas improdutivas, são necessários, pois existem diferenças substanciais entre as horas disponíveis para o trabalho e as horas efetivas. Nesse sentido, Salazar (2001) lembra que o controle do desempenho é uma das forças fundamentais que mantêm a organização eficiente, uma vez que, as interrupções operacionais e a manutenção corretiva durante a operação podem reduzir aproximadamente em 16% o rendimento de campo efetivo (SIMÕES et al., 2011).

A capacidade de campo caracteriza o desempenho de máquinas e equipamentos agrícolas que realizam trabalho em uma área (BALASTREIRE, 1987; MIALHE, 1974). Sendo este parâmetro distribuído em três tipos: 1) teórico por caracteriza o potencial da máquina, sendo calculado a partir das dimensões dos órgãos ativos da máquina e da velocidade de deslocamento; 2) efetivo, representando a capacidade realmente apresentada em campo, sem levar em consideração o tempo de interrupção e o de preparação, e; 3) operacional, este por sua vez, representando a capacidade da máquina ou equipamento no campo incluindo os efeitos do tempo de interrupção e o de preparação. Enquanto que o rendimento operacional indica o grau de aproveitamento do potencial da máquina.

De acordo com Fernandes e Gamero (2010), a capacidade de campo teórica fornece o ritmo teórico de trabalho executado, não considerando a área mobilizada no solo pelo equipamento, devendo-se lembrar de que quando equipamentos que operam com profundidades de trabalho diferentes não devem ser comparados. Estudos realizados pelos autores com arado reversível de 04 discos de 0,77 m e escarificador de arrasto equipado com 07 hastes e rolo destorroador que atingiram profundidades de preparo semelhantes, mesmo apresentando menor velocidade de trabalho tiveram a capacidade de campo teórica no tratamento de cultivo reduzido valor igual a $0,80 \text{ ha h}^{-1}$, sendo superior àquela obtida para o arado de disco no tratamento de cultivo convencional ($0,49 \text{ ha h}^{-1}$), devido ao fato do escarificador apresenta maior largura de trabalho.

Rodrigues e Gamero (2006), comparando sistemas de manejo do solo e coberturas vegetais, por meio da capacidade de campo efetiva, consumo horário e operacional de combustível verificaram que o sistema semeadura direta foi o que apresentou os melhores índices, independentemente das coberturas vegetais.

Em estudo realizado por Mahl (2002), o autor verificou maior capacidade de campo efetiva na operação de semeadura direta, em relação ao cultivo mínimo com escarificação; inferindo que a patinação dos rodados do trator pode ter interferido neste parâmetro, ou seja, quanto maior o grau de desagregação do solo durante o manejo, menor seria a capacidade operacional do conjunto motomecanizado.

Avaliando o desempenho operacional dos métodos de preparo do solo, Levien et al. (2003) observaram que a capacidade operacional no preparo reduzido do solo foi três vezes maior, bem como demandou 21% menos potência e 52% menos combustível, por área trabalhada, do que quando comparado com o preparo convencional.

2.3. Alguns atributos físicos do solo

2.3.1. Qualidade do solo

A mecanização agrícola é um importante componente básico na maioria das estratégias de desenvolvimento rural e no aumento da produtividade da mão-de-obra. No entanto, sua introdução, sem qualquer adaptação prévia aos diferentes

tipos de solo, pode ocasionar rápida e contínua degradação desse recurso natural (SIQUEIRA, 1999).

A degradação do solo surge de duas fontes básicas: de origem agrícola, pela ausência de tecnologia ou emprego inadequado da tecnologia disponível associado à pressão populacional, promovendo o uso de áreas marginais com baixo poder produtivo e uso intensivo dos recursos do solo, além de sua capacidade de suporte; e degradação de origem não-agrícola fazendo uso do solo para outras atividades e fins que não a própria agricultura (PEDROTTI; MÉLLO JÚNIOR, 2009).

A qualidade do solo é fundamental pelo ponto de vista da necessidade de aplicar estratégias para um manejo sustentável dos diferentes sistemas de produção. Desta forma, Tótola e Chaer (2002) referem-se à qualidade do solo como as condições ótimas para que o mesmo funcione apropriadamente conforme o seu objetivo; uma vez que, o funcionamento deste é resultado da interação de processos químicos, físicos e biológicos. Assim, a qualidade do solo de forma numérica torna-se atividade requintada, mas possível dentro de parâmetros estimativos a partir de um marco referencial (REICHERT et al., 2003).

Um dos parâmetros mais importantes para se avaliar a qualidade do solo é a sua estrutura, porque complementa o estudo de avaliação do arranjo entre sólidos e vazios. As avaliações quantitativas podem ser feitas por determinações indiretas (quantidade de agregados estáveis em água ou a seco ou resistência dos agregados ao impacto de gotas de chuva simulada), ou ainda por determinações diretas por meio de parâmetros como densidade do solo, porosidade, índices de floculação e infiltração de água no solo (MORAES et al., 2002; MENDES et al., 2006).

De acordo com Pedrotti e Méлло Júnior (2009) durante o processo de avaliação da qualidade do solo, três exigências básicas devem ser atendidas para que ocorra o adequado monitoramento: 1) definir de forma adequada a função ou finalidade a que se destina a avaliação; 2) estabelecer, entre a multiplicidade de parâmetros físicos, químicos e biológicos do solo, aqueles que são pontos chaves para cada função do solo e definir a forma como integrá-los, e 3) definir critérios específicos para a interpretação dos dados dos parâmetros selecionados, de forma a permitir estimativas confiáveis da qualidade do solo para cada função.

Conforme Mendes et al. (2006) para uma adequada avaliação, devem-se comparar os valores obtidos nas áreas em estudo com outros valores de áreas

comprovadamente não impactadas, preferencialmente com o mesmo tipo de solo e relevo.

2.3.2. Porcentagem de cobertura vegetal do solo

A cobertura vegetal do solo é importante fator no processo da erosão, visto que reduz a energia de impacto das gotas de chuva sobre o solo, a velocidade e o volume de escoamento superficial e, conseqüentemente, o desprendimento das partículas e a capacidade de transporte de solo. A cobertura do solo é constituída pelo dossel da cultura e pelos resíduos vegetais, e sofrem contínuas modificações à medida que os resíduos se decompõem e a cultura se desenvolve. Desta forma, a quantificação desse parâmetro torna-se de grande importância para as pesquisas que estudam a infiltração e a erosão dos solos (VARELLA et al., 2002).

De acordo com Cassol et al. (2004), o aumento da cobertura do solo com resíduos vegetais ou planta de cobertura elevam a altura da lâmina de escoamento e a rugosidade hidráulica, além da velocidade média de escoamento, provocada pela interposição física dos resíduos ao escoamento, o que por fim resulta na redução da taxa de desagregação do solo; lembram ainda os mesmos autores que, a manutenção de resíduos sobre a superfície do solo, por si não é capaz de manter a sustentabilidade do sistema, devendo ser acompanhada de técnicas de manejo que favoreçam a manutenção das características físicas e químicas naturais do solo.

A presença de restos culturais na superfície do solo, independentemente do manejo adotado proporciona significativa redução de perda de solo, enquanto que a perda de água é mais afetada pela forma de manejo dos resíduos do que pela porcentagem de cobertura morta sob o solo (CARVALHO et al., 1990). Bertol et al. (1997), destacam que um solo com 60% de cobertura, reduz cerca de 80% as perdas de solo em relação ao solo com ausência de cobertura.

Pesquisa realizada em condições de campo mostra que os resíduos florestais possuem a capacidade de dissipar parte da pressão aplicada pelos rodados de um "Forwader" (SILVA et al., 2007a). Quando se considera a palha proveniente de culturas anuais, a atenuação das cargas impostas pelos rodados não foi confirmada, o que pode estar relacionado à remoção dos resíduos pela patinação dos rodados (XAVIER, 2005; CEPIK, 2006).

Os tipos de preparo afetam sobremaneira a cobertura do solo, sendo influenciados pela quantidade inicial disponível e forma como estes são manejados. Na medida em que aumenta a proporção de superfície do solo preparada, diminui a cobertura, em massa e porcentagem. A porcentagem de cobertura do solo proporcionada pelas restevas das culturas é fator fundamental na redução de perdas de solo por erosão hídrica, obtendo-se boa eficiência já com 30% de cobertura (LOPES et al., 1987; CAMARA et al., 2002).

Furlani e Gamero (1998), trabalhando com arado de discos de 0,71 m em NITOSSOLO, verificaram que esse equipamento incorpora em média 85% dos resíduos vegetais, independentemente da velocidade de deslocamento do conjunto trator/arado.

Em estudo realizado por Coan (1995), com cinco equipamentos (arado de disco, arado de aivecas, escarificador, grade aradora e enxada rotativa), observou que em área com distribuição uniforme de cobertura vegetal (74 a 80%), o escarificador possibilitou maior cobertura do solo, com 48%. Observou-se ainda, que a enxada rotativa, com 35%, foi semelhante à grade pesada com 32% e melhor do que os arados de discos e de aivecas com 25 e 21% de cobertura do solo, respectivamente, após o preparo do solo com os mesmos.

Avaliando-se os sistemas de preparo do solo em detrimento da porcentagem de incorporação de resíduos vegetais, Furlani et al. (1999), puderam observar maior incorporação para o preparo convencional (80%), seguido pelo escarificador - preparo reduzido (40%) e sistema de semeadura direta (10%).

Além disso, a cobertura do solo pode proporcionar o controle da oscilação da temperatura do solo em função da incidência dos raios solares. Oliveira et al. (2005) avaliando a variação de temperatura e umidade do solo em resposta a diferentes tipos e níveis de cobertura do solo, no município de Viçosa-MG, concluíram que a natureza da cobertura do solo e o nível de sombreamento influenciaram diretamente nas flutuações de temperatura e umidade do solo, e ainda que as oscilações mais expressivas ocorreram quando o solo encontrava-se sem cobertura e quando a direção do plantio da cultura facilitava a exposição à insolação.

2.3.3. Densidade do solo

Segundo Aguiar (2008), a densidade do solo relaciona-se com a estrutura, uma vez que é função do arranjo e orientação das partículas do solo, assim como da quantidade e geometria dos espaços porosos.

Solos sob floresta apresentam densidade menor que solos agrícolas, principalmente pela maior quantidade de matéria orgânica. Solos arenosos possuem densidade maior que solos argilosos, principalmente pelo fato de possuírem menor porosidade total (MACHADO; FAVARETTO, 2006) e provavelmente, devido à maior densidade das partículas de quartzo. Os valores médios de densidade de solos arenosos estão entre 1,2 e 1,4 Mg m⁻³ e são maiores do que os de solos argilosos cuja densidade varia entre 1,0 e 1,2 Mg m⁻³ (CAMARGO; ALLEONI, 1997) e do que solos orgânicos com densidade entre 0,6 e 0,8 Mg m⁻³ (KIEHL, 1979).

De acordo com Reichert et al. (2007), aumentos na densidade de solos arenosos não são necessariamente prejudiciais ao crescimento das culturas, porque até certos limites este aumento pode contribuir com o armazenamento de água no solo e com a capacidade de suporte de carga.

Os sistemas de preparo do solo podem afetar a densidade do solo com o uso de diferentes equipamentos agrícolas, dentre estes a grade pesada que tem sido largamente utilizado no cerrado brasileiro. Normalmente, a grade trabalha o solo a baixa profundidade e alta capacidade de campo. Entretanto, o uso contínuo desse equipamento pode levar à formação de camadas compactadas, chamadas “pé-de-grade” (SILVA, 1992).

O arado de aivecas é pouco usado porque requer maior tempo e energia para a sua operação que os demais equipamentos, embora, em situações onde foi usado, tenha ocorrido maior produtividade de milho e de arroz (KLUTHCOUSKI, 1998), quando comparado à semeadura direta e ao preparo com grade pesada; que segundo Stone e Silveira (2001) podem apresentar menor desenvolvimento do sistema radicular por causa da compactação do solo na camada superficial ou subsuperficial, respectivamente.

Quando são utilizados equipamentos de preparo com hastes, como os escarificadores não se observa a compactação. Assim, solos preparados com esse tipo de equipamento tendem a apresentar menores valores de resistência e

densidade do solo, quando comparados com outros sistemas. Entretanto, o não revolvimento do solo no sistema de semeadura direta provoca compactação da camada superficial traduzida por aumento de densidade e redução da porosidade total do solo (DE MARIA et al., 1999).

2.3.4. Porosidade total do solo

A porosidade total do solo consiste em espaços vazios no interior do solo que correspondem à porção volumétrica ocupada por ar e/ou água. O tamanho deste espaço poroso é, em grande parte, consequência da organização das partículas sólidas do solo. Portanto, este parâmetro é afetado pelo arranjo destas partículas, ou seja, pela sua capacidade de formação de agregados (BRADY, 1989).

A porosidade é consequência da disposição das partículas do solo. A disposição das partículas, por sua vez, é função do diâmetro das partículas que compõem a matriz e do tipo de estrutura do solo. Os solos com partículas uniformes são mais porosos do que os de partículas de diferentes tamanhos, pois nestes últimos as partículas finas ocupam os espaços livres existentes entre o material mais grosseiro (LOSEKANN, 2009).

Segundo EMBRAPA (1997), os poros do solo são divididos em duas classes, os microporos, menores que 0,05 mm de diâmetro e os macroporos com diâmetro maior que 0,05 mm. Já Klein e Libardi (2002), classificam como macroporos, os poros com diâmetro maior que 0,05 mm (que perdem a água em tensões menores que 6 kPa), microporos, aqueles com diâmetro entre 0,05 e 0,0002 mm (que são esvaziados a tensões entre 6 e 1500 kPa) e criptoporos, poros com diâmetro menor que 0,0002 mm (que perdem a água apenas para tensões maiores que 1500 kPa).

De acordo com Prevedello (1996), na superfície dos solos cultivados, normalmente, são encontrados valores de porosidade entre 35 a 50% em solos arenosos, 40 a 65% em solos argilosos, 60 a 80% em solos húmíferos e 80 a 85% em solos turfosos. Lembram Reichardt e Timm (2004) que a porosidade total de um solo pode ser expressa em unidade volumétrica ($m^3 m^{-3}$), mas em geral por porcentagem (%).

Os sistemas de preparo do solo e o uso de plantas de cobertura têm influência significativa na estrutura do solo e nos fluxos de água e ar. O preparo convencional normalmente degrada o solo pela redução de sua cobertura afetando o estoque de matéria orgânica e a estabilidade de agregados promovendo a compactação, a erosão, e assim, a queda da produtividade (COSTA et al., 2003; ARGENTON et al., 2005). A semeadura direta, por outro lado, pela redução do tráfego de máquinas e do revolvimento do solo, associado ao uso de plantas de cobertura, pode preservar e até mesmo recuperar a estrutura do solo, mantendo, dessa forma, o sistema agrícola mais produtivo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Pode-se observar, ainda, na semeadura direta, que os solos apresentam, em geral, na camada superficial, após três a quatro anos, maiores valores de densidade e microporosidade e menores valores de macroporosidade e porosidade total, quando comparados com os de preparo convencional. Isto decorre, principalmente, do arranjo natural do solo, quando não é mobilizado, e da pressão provocada pelo trânsito de máquinas e equipamentos agrícolas, sobretudo quando realizado em solos argilosos e com teores elevados de umidade (STONE; SILVEIRA, 2001).

Portanto, Silva et al. (2000a) lembram que a porosidade está relacionada com o manejo do solo, tais como: práticas de mecanização, tipo de cultura plantada e/ou semeada, tipo de solo, biologia e macroestrutura do solo. Assim, como para as outras características físicas, a mecanização influencia as propriedades relacionadas com o fluxo de água no solo (ABREU et al., 2004) modificando as taxas de trocas gasosas, além de alterar a disponibilidade de água para as plantas. Nesse sentido, Oliveira et al. (2004) constataram em LATOSSOLO VERMELHO distrófico que o uso do solo em relação a uma condição natural modifica a retenção de água, por alterar a distribuição do tamanho dos poros e os teores de matéria orgânica.

2.3.5. Umidade no solo e resistência mecânica do solo à penetração

A água é uma das substâncias mais importantes para a vida. Nas plantas, a água participa de muitas reações químicas importantes, e é responsável também

pelo seu crescimento por meio da alongação celular atuando diretamente sobre a produção das culturas (MACHADO et al., 2006).

A variabilidade espacial da umidade no solo é consequência de vários fatores, entre os quais, variações na textura e estrutura do solo, topografia, face de exposição ao sol e posição no relevo. E, uma das condições básicas para que a produção agrícola tenha competitividade em termos de produtividade, é que não haja limitações no fornecimento de água para as culturas (VIEIRA et al., 2010).

A presença dos restos culturais sobre a superfície do solo é fundamental para a qualidade física do solo devido seu papel no controle da erosão e incremento de umidade no solo. Entretanto, o aumento da umidade no solo pode proporcionar maiores riscos de compactação pelo tráfego devido à redução na capacidade de suporte de carga, cujos efeitos podem ser contrabalançados pelo incremento no teor de matéria orgânica e pelo comportamento plástico dos resíduos em relação às cargas aplicadas pelas máquinas e equipamentos agrícolas (BLAINSKI; TORMENA, 2011).

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) é fortemente influenciada pela umidade do solo, textura, densidade e composição mineralógica do solo. Sendo, portanto, a compactação uma alteração estrutural que promove reorganização das partículas e de seus agregados podendo limitar a adsorção, as trocas gasosas, absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, atraso na emergência das plântulas e comprometimento do desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea, resultando em decréscimos na produtividade das culturas (STONE et al., 2002; MODOLO et al., 2008).

O atributo físico adotado como indicativo da compactação tem sido a RP, por apresentar relações diretas com o desenvolvimento das plantas e por ser mais eficiente na identificação de estados de compactação comparada à densidade do solo (SILVA et al., 2003). Conforme Pedrotti et al. (2001a), num dado perfil, a RP identifica as camadas compactadas devido o manejo do solo. Esta medida descreve a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover por meio dele como, por exemplo, uma raiz em crescimento ou a água percolando. Souza e Alves (2003) salientam que áreas com adequadas práticas de manejo apresentam maiores capacidades de infiltração e condutividade hidráulica e menor RP.

De acordo com Araújo (2010), a RP é determinada com o uso de penetrômetros. Dentre os penetrômetros mais utilizados, os dinâmicos ou de impacto por registrarem a RP por unidade de profundidade, são os mais utilizados no campo para caracterização de solos compactados pelo uso e manejo.

O penetrômetro de impacto também comumente chamado de penetrômetro dinâmico ou bate-estaca (STOLF et al., 1983) tem como princípio de funcionamento a penetração de uma haste por meio de uma força que provém do impacto de um peso que compõe o equipamento e cai de uma altura constante. Para coleta dos dados deve-se utilizar anotações da profundidade de penetração da haste para cada impacto ocasionado. Os dados podem ser transformados para valores de pressão a partir de uma fórmula (STOLF, 1991).

De acordo Falleiro et al. (2003) existem várias formas de preparar o solo e também de variar suas propriedades físicas. Neste sentido, Souza et al. (2004), destacam que o cultivo inadequado pulveriza a superfície dos solos, deixando-os mais susceptíveis ao processo de erosão e propiciam a formação de impedimentos físicos logo abaixo das camadas movimentadas pelos equipamentos.

De modo geral, os sistemas de preparo que se caracterizam pelo alto grau de revolvimento do solo, por meio do uso de grade pesada e arado de discos impactam negativamente os atributos físicos do solo comprometendo a sustentabilidade ambiental (SOUZA; ALVES, 2003). Deste modo, as alterações que ocorrem na estrutura do solo, evidenciam-se por modificações nos valores de densidade do solo, afetam sua resistência à penetração, a porosidade total, a distribuição do diâmetro dos poros e sua porosidade de aeração, a armazenagem e disponibilidade de água às plantas, a dinâmica da água na superfície e no seu perfil, bem como a consistência e a máxima compactabilidade (KLEIN et al., 1998).

Na realização das operações agrícolas de mobilização do solo, a resistência que um solo oferece aos órgãos ativos dos equipamentos agrícolas depende da área do solo mobilizada que ocorre em função da largura de trabalho do equipamento, da profundidade de operação e das características e propriedades físicas estáticas e dinâmicas do solo (GAMERO; LANÇAS, 1996). Dentre as propriedades do solo que afetam a eficiência e desempenho operacional de um trator agrícola, pode-se mencionar a textura do solo, as condições de superfície, dependendo de cada tipo de cobertura existente e a umidade (YANAI et al., 1999).

2.4. A cultura do sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma gramínea originária da região central do continente africano. É uma cultura muito antiga, cultivada muito antes da era Cristã. Foi domesticado, provavelmente, na Etiópia, há cerca de 5.000 anos e em seguida foi cultivada na África ocidental, desde o Sudão até o Rio Níger (VON PINHO; VASCONCELOS, 2002).

Com relação à natureza e a forma de utilização, existem quatro tipos básicos de sorgo: o sorgo granífero, o forrageiro, o sacarino e o vassoura. Existem também suas combinações, os chamados dupla aptidão, como o granífero-forrageiro, o granífero-sacarino e o forrageiro-sacarino. Esta gramínea possui múltipla utilização, desde a alimentação humana, caso da maioria dos países da África e da Ásia, até a alimentação animal, o que é o caso da maioria dos países ocidentais que o utilizam como principal substituto do milho (VON PINHO; VASCONCELOS, 2002; VIEIRA, 2006).

No Brasil, a introdução do sorgo se deu no Rio Grande do Sul, onde foram realizados ensaios pioneiros nas extintas estações experimentais da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; tornando-se, na década de 1970, uma cultura comercialmente significativa ao alcançar uma área semeada de 80 mil hectares. Nesta mesma época, na Região Nordeste, o sorgo recebeu os maiores incentivos de órgãos oficiais para sua expansão, entretanto, esse esforço governamental não conseguiu estabelecer essa cultura na região de forma desejada (PITOMBEIRA et al., 2002). Contudo, trabalhos e projetos governamentais relativamente recentes têm impulsionado a cultura do sorgo, particularmente nos estados do Ceará e Pernambuco (TABOSA et al., 2002).

Segundo Silva et al. (2007b), o sorgo é conhecido por ser uma cultura de grande capacidade energética, e também por seu cultivo em áreas com pequenas médias de precipitação anual e de altas temperaturas, onde o cultivo de outros cereais seria economicamente inviável. Para Avelino et al. (2011), as características agrônômicas apresentadas pela cultura do sorgo indicam a sua potencialidade como grande produtor de biomassa, sementes e folhas, elevada capacidade de rendimento de colmos, alta percentagem de extração de caldo, o qual possui alto conteúdo de sólidos solúveis totais, demonstrando ser uma grande alternativa, como fonte de alimentos para os bovinos de corte.

Segundo Gonzaga (2009), a produtividade, na maioria das culturas, sob diferentes manejos de solo depende, dentre outros fatores, das condições climáticas do ano agrícola, da qualidade do manejo, do nível de fertilidade do solo e do estado sanitário da cultura. Por estas razões, tem sido bastante variável os relatos sobre o comportamento das culturas nos diferentes manejos de solo e/ou rotação de culturas (PORTUGAL et al., 2003; ANUNCIÇÃO FILHO et al., 2004).

Na safra 2011/2012, o sorgo forrageiro ocupou na região Nordeste, uma área de 17.271 ha, equivalente a 5,24% da área plantada no Brasil. Dentre os estados nordestinos produtores de sorgo forrageiro as áreas cultivadas concentraram-se no Rio Grande do Norte (10.067 ha), na Bahia (4.138 ha) e no Ceará (1.993 ha) (APPS, 2012).

Rodrigues et al. (2011) avaliando o efeito do preparo do solo e da velocidade de operação de semeadura verificaram diferenças significativas entre os sistemas de manejo na produtividade do sorgo, sendo os maiores valores médios ocorrendo nos tratamentos de semeadura direta e grade pesada mais semeadura, com valores de massa fresca de 51,311 Mg ha⁻¹ e 51,145 Mg ha⁻¹ e massa seca de 16,311 Mg ha⁻¹ e 16,183 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Pompeu et al. (2005) afirmam que a característica altura de planta é de grande relevância na escolha da variedade, visto que plantas de menor porte (abaixo de 1,50 m) apresentam aptidão à colheita mecânica e as plantas de maior porte apresentam dupla aptidão para a produção de grãos e de forragem (silagem).

Nagaoka et al. (2007) ao avaliarem a produtividade do sorgo em três sistemas de manejo do solo (plantio direto sem e com herbicida e preparo convencional) na região de Lages-SC verificaram que os sistemas plantio direto com herbicida e preparo convencional apresentaram valores superiores para altura de plantas e produtividade em relação ao sistema plantio direto sem herbicida; portanto, observa-se a relevância do controle de plantas daninhas, seja mecânico ou químico, para evita a competição por luz, água e nutrientes com a cultura de valor econômico.

3. MATERIAL E MÉTODOS¹

3.1. Local

O trabalho foi conduzido na Universidade Federal do Vale do São Francisco UNIVASF - Campus de Ciências Agrárias em Petrolina – PE, que se localiza a uma latitude 09°23' sul e a uma longitude 40°30' oeste, a uma altitude de 376 m. Segundo BRASIL (1973), utilizando a classificação de Köppen, o clima desta área apresenta-se como tropical semiárido, tipo BshW, seco e quente na parte norte e semiárido quente estípico na parte sul, caracterizado pela escassez e irregularidade das precipitações com chuvas no verão e forte evaporação em consequência das altas temperaturas. O solo foi classificado como ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura arenosa/média por Amaral et al. (2006), utilizando o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006b) de relevo plano. Na Tabela 1 observa-se a granulometria do solo e umidade do solo durante o preparo do solo e na coleta de resistência mecânica do solo a penetração (RP) pontual e no perfil do solo na área trabalhada e a análise química do solo na Tabela 2, que serviu para a recomendação de adubação (CFSEMG, 1989).

Tabela 1. Composição granulométrica do ARGISSOLO AMARELO e umidade do solo durante o preparo do solo e na coleta de RP pontual e no perfil da área experimental.

Camadas	Granulometria			Umidade	
	Argila	Areia	Silte	Preparo do solo	RP pontual e no perfil
----- m -----	-----	kg kg ⁻¹	-----	-----	% -----
0,00-0,10	0,090	0,878	0,032	7,14	8,10
0,10-0,20	0,100	0,883	0,017	6,86	6,40
0,20-0,30	0,080	0,852	0,068	6,55	6,85
0,30-0,40	0,140	0,807	0,053	6,77	7,15
0,40-0,50	0,180	0,742	0,078	7,82	6,81

Fonte: Adaptado de Cortez et al. (2011)

Tabela 2. Análise química do solo da área experimental.

MO	pH	H ₂ O 1:2,5	C.E.	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H + Al	S	CTC	V
g kg ⁻¹			dS m ⁻¹	mg dm ⁻³	-----	-----	-----	-----	Cmolc dm ⁻³	-----	-----	-----	%
6,52	5,9		0,48	48	0,33	1,5	0,6	0,01	0,05	1,32	2,44	3,76	65

MO: matéria orgânica; P: fósforo em resina; S: soma das bases; CTC: capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V: saturação por bases.

¹ A citação de marcas comerciais não implica em recomendação por parte do autor.

Até o ano de 2009, a área experimental foi cultivada com sorgo forrageiro. Após este período, a mesma foi deixada em pousio até a instalação do experimento em 2011. Um sistema linear de irrigação, está instalado na área que propiciou umidade do solo no momento do preparo, na coleta de dados e no desenvolvimento da cultura do sorgo forrageiro por meio de precipitação diária de 7,2 mm.

3.2. Equipamentos e insumos

Como fonte de potência para tracionar os equipamentos de preparo do solo foi utilizado um trator da marca Valtra com 55,20 kW (75 cv) de potência no motor, modelo 785 TDA (tração dianteira auxiliar), fabricado em 2004, com pneus dianteiros - R1 12.4 - 24 e traseiros - R1 18.4 - 30, com marchas: primeira, segunda e terceira em alta e baixa e rotação de trabalho no motor a 2.044 rpm. As velocidades de deslocamento foram obtidas pelo escalonamento de marchas do trator.

Os demais equipamentos para o preparo do solo foram:

- Arado de aivecas, marca Maschietto, modelo ARH², fabricado em 1995, massa de 570 kg com duas aivecas recortadas e profundidade de trabalho até 0,40 m;
- Grade leve *off-set*, marca Marchesan TATU, modelo: GAM, fabricada em 1994, com oito discos recortados em cada seção (duas), com 0,56 m de diâmetro e distância entre discos de 0,23 m, largura de 1,73 m, massa de aproximadamente 1.000 kg e profundidade de trabalho de 0,15 m;
- Grade leve *off-set*, marca Marchesan TATU, modelo: ATCR, fabricada em 2005, com sete discos recortados em cada seção (duas), com 0,61 m de diâmetro e distância entre discos de 0,23 m, largura de 1,50 m, massa de 1.094 kg e profundidade de trabalho de 0,18 m;
- Escarificador, marca Marchesan TATU, modelo: AST, fabricado em 2005 com três hastas espaçadas de 0,34 m, ponteira estreita de 0,05 m, largura total de 1,20 m, massa de 295 kg e profundidade de trabalho até 0,35 m;
- Grade leve em *tandem*, marca Marchesan TATU, modelo: GH, fabricada em 1999, com sete discos em cada seção (quatro), sendo recortados na dianteira, com 0,51 m de diâmetro e lisos na traseira com mesmo diâmetro e distância

entre discos de 0,19 m, largura de 2,62 m, massa de 528 kg e profundidade de trabalho de 0,10 m;

- Semeadora de quatro linhas, marca Marchesan TATU, modelo: T2SI, espaçamento máximo - 0,90 m e mínimo - 0,45 m, capacidade de adubo - 50 kg por depósito e sementes - 34 litros por depósito, massa de 675 kg, profundidade de deposição do adubo - 0 a 100 mm e da semente - 0 a 70 mm, aplicável em trator com potência no motor - 70 cv e categoria de engate - II.

Para a determinação dos níveis de potência sonora (ruído) foi utilizado decibelímetro digital marca Minipa, modelo MSL - 1325 com três faixas de medição (32-80 dB(A); 50-100 dB(A) e 80-130 dB(A)) e protetor de vento atendendo a norma IEC 651 (IEC, 1979), tipo 2 (classes de 0 a 3), que define para uso em campo. Foi utilizado conforme Ministério do Trabalho e Emprego - MTE (2012a) nos circuitos de resposta lenta (SLOW) e de equalização "A", sendo expressos em dB(A).

Para a coleta de dados pontual da resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi utilizado um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar - Stolf desenvolvido por Stolf et al. (1983), com as seguintes características: massa de 4 kg que provoca impacto quando colocada em curso de queda livre de 0,40 m; cone com ângulo sólido de 30° e 1,28 cm de diâmetro; haste com diâmetro de 0,95 cm.

Na coleta da RP de modo espacial no perfil do solo foi utilizado o Penetrômetro eletrônico denominado de PenetroLOG® PLG1020 - Medidor Eletrônico de Compactação do Solo da empresa Falker Automação Agrícola. O medidor segue as recomendações da norma internacional ASAE S.313.3, que especifica as regras e procedimentos para a medição de compactação do solo (FALKER, 2010).

Para avaliação da umidade do solo foi utilizado estufa e balança analítica de precisão de 0,01g, além de cilindros de metal, os equipamentos tem as seguintes dimensões e características:

- Estufa de secagem e esterilização com capacidade de 64 litros contendo controle digital de temperatura e controle analógico de limite de superaquecimento;
- Balança de precisão digital, eletrônica e microprocessada com capacidade máxima de até 5.000 g e mínima de 200 g e precisão de 0,01 g;

- Cilindros metálicos fabricado em aço galvanizado com dimensões de 57 x 50 mm e capacidade de 128 cm³;
- Balança de precisão digital, eletrônica e microprocessada com capacidade máxima de até 50 kg e mínima de 250 g e precisão de 0,01 g

Para a determinação da porosidade total determinada utilizou-se de bandejas de aço galvanizado contendo água onde os anéis mais solo foram colocados para saturação e pesados posteriormente em balança digital que continha as seguintes dimensões:

- Bandeja com dimensões de 0,05 (altura) x 0,50 (largura) x 0,60 (comprimento) m, fabricada em aço galvanizado.

Para a determinação da porcentagem de cobertura do solo antes e após a operação de preparo utilizou-se de:

- Um fio de cobre encapado com 15 m de comprimento e com marcações equidistantes de 0,15 m.

Durante a coleta referente aos dados do conjunto trator-equipamento agrícola foi utilizado:

- Cronômetro digital com precisão em minutos, segundos e milésimos de segundos;
- Trena com 50 m de comprimento

Na determinação das variáveis de planta foi utilizado conforme as variáveis analisadas os seguintes materiais e equipamentos:

- Piquetes em madeira com altura de 0,30 m para delimitar a área de estande inicial e final;
- Bastão-trena com altura de 3,0 m e precisão de 0,05 m para medição de altura da planta;
- Paquímetro digital e precisão de 0,1 mm na medição do diâmetro do colmo;
- Tesoura de poda em aço, estufa digital de circulação de ar forçada com precisão de 0,1°C e balança digital com carga máxima de 50 kg e mínima de 250 g e precisão de 0,01 g para avaliação de biomassa.

Os insumos utilizados foram:

- As sementes de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.)), híbrido simples BRS 610 na quantidade de 20 kg ha⁻¹ (maturação em torno de 110 dias - ciclo

médio), estande com 140.000 plantas ha⁻¹, com pureza de 98% e germinação de 80%, e;

- Os adubos inorgânicos que foram aplicados tiveram as seguintes composições:

- ✓ Nitrogenada - uréia na dose de 25 kg ha⁻¹ na semeadura e de 100 kg ha⁻¹ na cobertura;

- ✓ Fosfatada - superfosfato simples granulado na dose de 175 kg ha⁻¹ com uma única aplicação, sendo esta na semeadura;

- ✓ Potássica - cloreto de potássio granulado na dose de 50 kg ha⁻¹ na semeadura e de 50 kg ha⁻¹ na cobertura.

Na adubação de semeadura foi adicionado 50 kg de FTE BR 12 (fonte de micronutrientes, tais como: S - 3,2%, B - 1,8%, Cu - 0,8%, Mn - 2,0%, Mo - 0,1%, Zn - 9,0%, Ca - 1,8%) e a adubação de cobertura realizou-se após 30 dias da semeadura, período em que também ocorreu a capina manual da área.

Para o controle das pragas, tais como: lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) utilizou-se inseticida do grupo químico metilcarbamato de oxima na dose de 0,6 L ha⁻¹ com calda de 300 L ha⁻¹ e para controle de formigas cortadeiras utilizou-se de isca granulada de sulfluramida com aplicação de 8 a 10 g de isca por metro quadrado de terra solta do formigueiro.

3.3. Delineamento

Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso com parcelas subdivididas e 04 repetições (04 blocos). Os cinco tratamentos de preparo do solo aplicados nas parcelas principais foram: grade *tandem* mais arado de aivecas - GT + AA (P1), grade leve *off-set* com discos de 0,56 m - Grade GAM (P2), grade leve *off-set* com discos de 0,61 m - Grade ATCR (P3) e grade *tandem* mais escarificador de três hastes - GT + ESC (P4) e sem preparo primário - SPP (P5). Nas subparcelas aplicaram-se quatro velocidades de deslocamento durante a mobilização do solo, com cada equipamento, sendo: 2,45 km h⁻¹ (primeira reduzida (V1)); 3,88 km h⁻¹ (segunda reduzida (V2)); 5,72 km h⁻¹ (terceira reduzida (V3)) e 6,50 km h⁻¹ (primeira simples (V4)) (Figura 1).

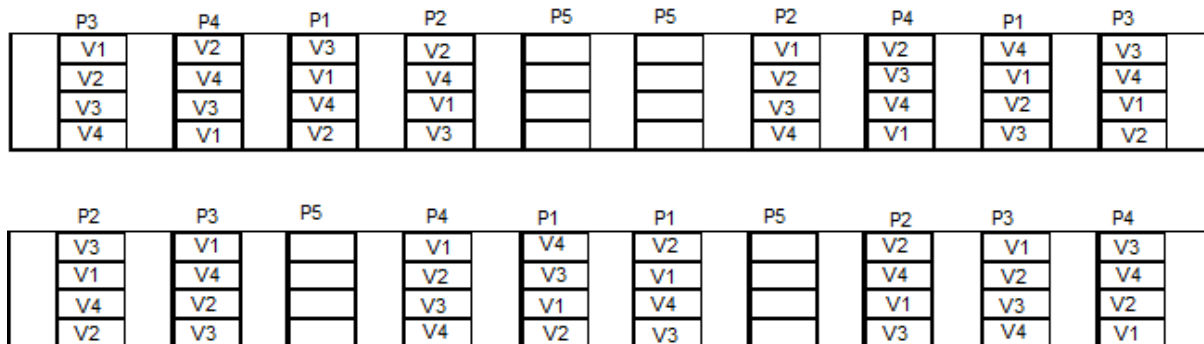


Figura 1. Croqui da área experimental com a disposição das parcelas e subparcelas.

Cada parcela experimental ocupou uma área de 20 x 12 m (240 m²). No sentido longitudinal entre as parcelas, foi reservado um espaço de 15 m, destinado à realização de manobras, tráfego de máquinas e estabilização dos conjuntos (Figura 2).

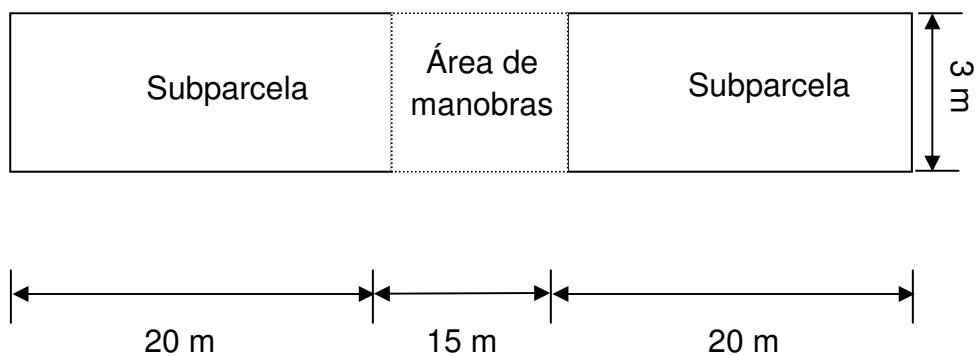


Figura 2. Croqui das subparcelas experimentais.

3.4. Desempenho do trator no preparo do solo

3.4.1. Velocidade teórica, efetiva e a variação

A velocidade teórica (V_t) do trator em cada marcha foi obtida no manual de operação. Para medição da velocidade efetiva coletou-se o tempo de percurso do conjunto trator-equipamento em cada subparcela e em todas as repetições, com o auxílio de um cronômetro com precisão de centésimos de segundos. Portanto, a velocidade efetiva foi determinada pela equação 1.

$$V_{ef} = \frac{d}{t} \times 3,6 \quad (\text{Equação 1})$$

em que,

V_{ef} – velocidade em km h^{-1} ;

d – distância em m;

t – tempo de percurso em s;

3,6 – fator de transformação para km h^{-1} .

A variação da velocidade, ou seja, a diferença entre a teórica e a efetiva foi obtida de acordo com a equação 2.

$$\Delta V = V_t - V_{ef} \quad (\text{Equação 2})$$

em que,

ΔV - variação da velocidade em km h^{-1} .

3.4.2. Largura e profundidade de trabalho

A largura e profundidade teórica foram obtidas no manual de operação de cada equipamento. A largura e profundidade efetiva foram obtidas a campo com o auxílio de trena; para a profundidade efetiva, utilizou-se a superfície original do terreno como referência de nível zero. As medições foram feitas a cada passada do conjunto, três vezes em cada uma destas, aleatoriamente. A largura de trabalho foi medida entre as margens da passagem do equipamento, com três repetições por subparcela.

3.4.3. Capacidade de campo

Para o cálculo da capacidade de campo teórica foram utilizados os valores de largura e velocidade dos manuais de operação, sendo aplicado posteriormente à equação 3.

$$\text{CCT} = \frac{L \times v}{10} \quad (\text{Equação 3})$$

em que,

CCT – capacidade de campo teórica (ha h^{-1});

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

L – largura teórica do equipamento (m);

10 – fator de conversão para ha h^{-1} .

Para o cálculo da capacidade de campo efetiva foi utilizada a equação 4 com os dados obtidos a campo para as variáveis da equação.

$$\text{CCE} = \frac{\text{Lmr} \times \text{vm}}{10} \quad (\text{Equação 4})$$

em que,

CCE – capacidade de campo efetiva (ha h^{-1});

Vm – velocidade real de deslocamento (km h^{-1});

Lmr – largura média de trabalho do equipamento (m);

10 – fator de conversão para ha h^{-1} .

Para o cálculo da capacidade de campo operacional foi utilizada a equação 5.

$$\text{CCO} = \text{CCE} \times \text{Ef} \quad (\text{Equação 5})$$

em que,

CCO – capacidade de campo operacional (ha h^{-1});

Ef – eficiência da operação (70% segundo Mialhe (1996)).

Para o cálculo do rendimento de campo teórico foi utilizada a equação 6.

$$\text{RCT} = \frac{\text{CCE}}{\text{CCT}} \times 100 \quad (\text{Equação 6})$$

em que,

RCT – rendimento de campo teórico (%).

3.4.4. Ruído no posto do operador

As avaliações basearam-se no método descrito na NBR-9999 (ABNT, 1987). Segundo esta norma, na posição e momento do ensaio de medição do nível de

potência sonora, a temperatura ambiente deve estar entre -5 e 30 °C e a velocidade do vento devem ser inferior a $5,0$ m s⁻¹. Os dados meteorológicos foram observados por meio de uma estação meteorológica no Campus de Ciências Agrárias. No dia do experimento (12/11/2011) a velocidade do vento e a temperatura eram de $3,7$ m s⁻¹ e $26,7$ °C, respectivamente, atendendo as solicitações da norma. Como a velocidade do vento estava próxima do limite, para o aparelho que atende a norma IEC 651 utilizou-se o protetor de vento.

Para realizar as medições colocou-se o medidor de nível de potência sonora próximo ao ouvido do operador, entre $0,79$ m acima, $0,15$ m à frente e $0,20$ m lateralmente em relação ao ponto de referência do assento (SIP – *Seat Index Point*), de acordo com a norma NBR 5353 (ABNT, 1999), ou seja, o microfone foi instalado do lado da cabeça do operador que foi submetido ao nível de pressão sonora (MIALHE, 1996) com as determinações coletadas a cada 5 s.

Os dados foram coletados na condição dinâmica nas quatro velocidades de deslocamento do conjunto trator-equipamento durante a operação de preparo do solo.

Os níveis de potência sonora encontrados foram comparados com os limites fixados pela norma regulamentadora NR15 (Tabela 3) (MTE, 2012a). Segundo a NR 17 – Ergonomia, o nível de ruído aceitável para efeito de conforto poderá ser classificado até 65 dB (A) e a curva de avaliação de ruído (NC) de valor não superior a 60 dB (MTE, 2012b).

Tabela 3. Resumo da máxima exposição diária permissível, segundo Norma Regulamentadora (NR 15) do Ministério do Trabalho e Emprego.

Nível de ruído (dB)	Máxima exposição diária permissível
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
90	4 horas
92	3 horas
95	2 horas
100	1 horas
105	30 minutos
110	15 minutos
115	7 minutos

3.5.5. Força de tração e potência estimadas

Para estimar a força de tração consumida pelo trator no momento da operação de preparo do solo utilizou-se a equação da ASAE (2003) (Equação 7).

$$F = S_i [A + B(v) + C(v)^2] L h \quad (\text{Equação 7})$$

em que,

F – força requerida para tração em N;

S_i – fator adimensional referente à textura do solo;

A, B e C – parâmetros específicos de cada grupo de equipamentos (Tabela 4);

v – velocidade efetiva em km h^{-1} ;

L – largura efetiva de trabalho em m;

h – profundidade efetiva de trabalho em cm.

Tabela 4. Parâmetros específicos de cada grupo de equipamentos.

Equipamento agrícola	Largura/ Unidade	Parâmetros de máquina		
		A	B	C
Escarificador	Hastes	107	6,3	0,0
Arado de aivecas	Metros	652	0,0	5,1
Grade off-set de discos de 0,56 m	Metros	364	18,8	0,0
Grade off-set de discos de 0,61 m	Metros	364	18,8	0,0

Fonte: Adaptado de ASAE, 2003.

A potência estimada foi determinada com o auxílio da equação 8.

$$P = F \times V \quad (\text{Equação 8})$$

em que,

P – potência em kW,

F – força de tração em kN.

V – velocidade em m s^{-1} .

3.5. Alguns atributos físicos do solo

3.5.1. Porcentagem de cobertura vegetal do solo

A porcentagem de cobertura vegetal do solo antes e após a operação de preparo foi determinada metodologia descrita por Laflen et al. (1981), onde em cada subparcela foram feitas duas leituras antes e após o preparo do solo. O equipamento usado foi um fio de cobre de comprimento igual a 15 m com marcações a cada 0,15 m totalizando 100 pontos. O uso foi feito distribuindo-o sobre a superfície a ser analisada, procedendo à contagem dos pontos marcados no fio, que ficaram em contato com o material vegetal. Dos cem pontos lidos, o total de pontos coincidentes com o material vegetal foi considerado como a porcentagem de cobertura sobre o solo.

O índice de cobertura vegetal foi determinado estabelecendo que quanto mais próximo de 1,0 (um) tem-se o preparo do solo com a menor incorporação da palha, determinado pela Equação 9.

$$ICV = \frac{CP}{CA} \times 100 \quad (\text{Equação 9})$$

em que,

ICV – índice de cobertura vegetal (%);

CP – cobertura após o preparo (%);

CA – cobertura antes do preparo (%).

3.5.2. Densidade do solo e porosidade total determinada

As amostras indeformadas para avaliação de densidade foram coletadas utilizando anéis volumétricos que apresentam uma das bordas cortantes, com volume de 128 cm³. As amostras de solo foram coletadas em um ponto aleatório dentro de cada subparcela nas profundidades de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 m. Após serem coletadas, as amostras de solo foram secas em estufa à temperatura de 105 - 110° C até a massa constante segundo metodologia da EMBRAPA (1997).

Depois de serem secas as amostras foram pesadas, para a obtenção dos valores necessários no cálculo da densidade do solo empregando a equação 10.

$$D_s = \frac{M}{V} \text{ em que } M = M_{II} - TA \quad (\text{Equação 10})$$

em que,

D_s – densidade em (g cm^{-3});

V – volume total (cm^3);

M – massa do solo (g);

M_{II} – massa seca do solo mais o peso do anel (g);

TA – peso do anel sem solo (g).

A porosidade total determinada do solo foi obtida após os anéis volumétricos terem sido colocados em uma bandeja com água por um período de 24 horas para saturação e sendo pesados novamente; utilizando-se a equação 11, segundo Camargo et al. (1986).

$$P_t = \frac{(V_t - V_s)}{V_t} \times 100 \quad \text{onde } V_s = V_t - V_v \quad \text{e } V_v = (M_{\text{sat}} - M_{\text{sec}}) \quad (\text{Equação 11})$$

em que,

P_t – porosidade total determinada do solo (%);

V_t – volume total (g);

V_s – volume de sólidos (g);

V_v – volume de vazios (g);

M_{sat} – massa do anel com solo saturado com água (g);

M_{sec} – massa seca de solo com o anel (g).

3.5.3. Umidade no solo e resistência mecânica do solo à penetração

Para a determinação da umidade no solo utilizou-se de amostras deformadas coletadas nas profundidades de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,0-0,30 e

0,30-0,40 m de modo aleatório na área empregando-se o método gravimétrico. O cálculo da umidade no solo está demonstrado conforme equação 12.

$$US = \frac{(MI - MII)}{(MII - TA)} \times 100 \quad (\text{Equação 12})$$

em que,

US – umidade no solo em %;

MI – massa úmida de solo mais o peso do anel (g);

MII – massa seca de solo mais o peso do anel (g);

TA – peso do anel em (g).

Para a coleta de dados pontual (Figura 3) referente à resistência mecânica do solo a penetração foi utilizado penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar - Stolf desenvolvido por Stolf et al. (1983). Os dados foram coletados nas profundidades de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,0-0,30 e 0,30-0,40 m; posteriormente transformados para MPa conforme Stolf (1990;1991) descreve na equação 13.

$$RP = \frac{5,6 + 6,89 N}{10,2} \quad (\text{Equação 13})$$

em que,

RP – resistência à penetração (MPa);

N – número de impactos.

Em função da largura de trabalho de cada equipamento avaliou-se o perfil da área de preparo com o penetrômetro eletrônico (Figura 3), sendo a coleta transversal ao deslocamento da máquina a cada 0,15 m e nas profundidades de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,0-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,50 e 0,50-0,60 m.

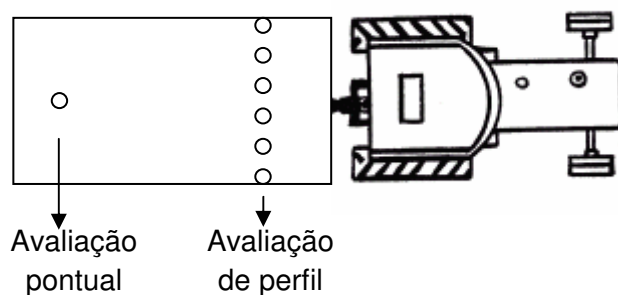


Figura 3. Esquema para coleta de dados pontual e de perfil.

3.6. Avaliação da cultura do sorgo

Os dados da emergência das plântulas até a estabilização do número de plântulas emergidas foram coletados para a determinação do número médio de dias para emergência e com o auxílio da equação 14 (EDMOND; DRAPALA, 1958), até a estabilização, ou seja, em torno de 3 dias consecutivos de mesma medição.

$$\text{NDE} = \frac{[(N_1 \cdot G_1) + (N_2 \cdot G_2) + \dots + (N_n \cdot G_n)]}{(G_1 + G_2 + \dots + G_n)} \quad (\text{Equação 14})$$

em que,

NDE – número médio de dias para a emergência das plântulas

N1 – número de dias entre a semeadura e a primeira contagem de plântulas;

G1 – número de plântulas emergidas na primeira contagem;

N2 – número de dias entre a semeadura e a segunda contagem de plântulas;

G2 – número de plântulas emergidas entre a primeira e a segunda contagem;

Nn – número de dias entre a semeadura e a última contagem de plântulas, e

Gn – número de plântulas emergidas entre a penúltima e a última contagem.

Na determinação dos estandes inicial e final foi utilizada uma marcação de comprimento igual a dois metros delimitada com piquetes e assim, efetuou-se a contagem do número de plântulas neste espaço. As contagens foram feitas na fileira

central de cada subparcela e a porcentagem de sobrevivência calculada pela diferença entre o estande inicial e final.

A altura de plantas foi efetuada pela contagem de cinco medições (plantas), em cada subparcela, especificamente na marcação para determinação de estande e os valores expressos em média por subparcela; tomando-se como referencial a base do colo da planta (± 5 cm de altura) até a curvatura da folha bandeira. Essas medidas foram realizadas aos 30, 60, 90 e 110 dias após a emergência (DAE). Posteriormente, ao final do ciclo da cultura do sorgo determinou-se o diâmetro do colmo, sendo a coleta efetuada em cinco plantas de sorgo de cada subparcela, tomando como base a região do colo da planta.

Para a determinação da biomassa da cultura, realizadas aos 60, 90 e 110 DAE, coletou-se um metro de plantas consecutivas cortadas na região basal, por subparcela que foram pesadas, ainda em campo para obtenção de valores de biomassa verde e que após secagem em estufa a 70 °C até atingir massa constante forneceu os valores de biomassa seca; posteriormente estimados em Mg ha⁻¹.

3.7. Análise dos dados

A análise dos dados em parcela subdividida (sistemas de preparo do solo *versus* velocidade de deslocamento) e subsubdividida (sistema de preparo do solo *versus* velocidade de deslocamento *versus* camadas do solo) por meio da análise de variância e posteriormente com o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias. Quando da ocorrência de significância do fator quantitativo – velocidade promoveu-se a análise de regressão.

Para verificação da dependência espacial a interpolação dos dados de resistência mecânica à penetração no perfil do solo e construção de mapas empregou-se à análise geoestatística. Foi construído o semivariograma, partindo das pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca e do cálculo da função semivariância. Calculou-se, também, o semivariograma para analisar a dependência espacial. O ajuste do semivariograma foi observado pelo maior valor do coeficiente de determinação (R^2), menor valor da soma de quadrados dos desvios (RSS) e maior valor do avaliador dependência espacial (ADE).

O ajuste do semivariograma foi realizado “a sentimento”, escolhendo-se um modelo e seus parâmetros, sobrepondo-o aos pontos estimados e verificando-se visualmente sua adequação. O semivariograma foi estimado pela equação 15.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (\text{Equação 15})$$

em que:

$N(h)$ – número de pares de valores medidos e

$Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$ – separados pelo vetor h .

O semivariograma forneceu estimativas dos parâmetros: efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C$) e alcance. O efeito pepita (C_0) é o parâmetro do semivariograma que indica a variabilidade não explicada dos modelos, considerando a distância de amostragem utilizada. O semivariograma apresenta efeito pepita puro quando a semivariância for igual para todos os valores de h . O patamar ($C_0 + C$) é o valor da semivariância onde a curva se estabiliza sobre um valor constante, sendo representado pelo ponto em que toda a semivariância da amostra é de influência aleatória. À medida que h aumenta a semivariância também aumenta até um valor máximo no qual se estabiliza. O alcance (a) da dependência espacial representa a distância na qual os pontos amostrais estão correlacionados entre si. A análise da dependência espacial (ADE) foi efetuada segundo a equação 16 desenvolvida por Landim (1998).

$$ADE = \frac{C}{(C + C_0)} 100 \quad (\text{Equação 16})$$

em que:

ADE – estimador da dependência espacial (%);

C – variância estrutural;

$C + C_0$ – patamar.

Em seguida à modelagem dos semivariogramas, foi realizada a interpolação por krigagem ordinária, sendo esta uma técnica de interpolação para estimativa de valores de uma propriedade em locais não amostrados. A krigagem, no entanto, faz

uso de um interpolador linear não tendencioso e de variância mínima, que assegura a melhor estimativa dos dados não amostrados. Por meio de interpolação por krigagem os mapas de isolinhas (bidimensionais) foram construídos para o detalhamento espacial dos atributos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Parâmetros relacionados ao conjunto trator-equipamento

4.1.1. Largura e profundidade efetiva de trabalho

A largura e profundidade de trabalho dos equipamentos agrícolas são dependentes da sua estrutura (projeto) e tipos de órgãos ativos. A largura e profundidade efetiva de trabalho (Tabela 5) foram significativas para os sistemas de preparo do solo ($P \leq 0,01$), e a largura efetiva significativa ($P \leq 0,05$) na interação com os sistemas de preparo do solo e velocidades. As velocidades de deslocamento individualmente para largura e profundidade efetiva de trabalho, bem como a interação da profundidade efetiva não foram significativas ($P > 0,05$) conforme também constatado por Machado et al. (1996).

Tabela 5. Largura e profundidade efetiva de trabalho em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD).

Fatores	Largura efetiva (m)	Profundidade efetiva (m)
Preparo (SP)		
GT + ESC	0,78 c	0,39 a
GT + AA	0,66 d	0,42 a
Grade GAM	1,63 a	0,20 c
Grade ATCR	1,45 b	0,28 b
Velocidades (VD)		
2,45 km h ⁻¹	1,15 a	0,32 a
3,88 km h ⁻¹	1,13 a	0,32 a
5,72 km h ⁻¹	1,14 a	0,31 a
6,50 km h ⁻¹	1,11 a	0,32 a
TESTE DE F		
SP	390,68 **	140,25 **
VD	1,24 ^{ns}	0,38 ^{ns}
Interação SP x VD	2,55 *	1,67 ^{ns}
CV (SP)	8,58	10,86
CV (VD)	5,06	7,43

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$); CV: coeficiente de variação (%). GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m.

As grades *off-set* obtiveram os melhores resultados para a largura efetiva de trabalho (Tabela 5) enquanto que no parâmetro profundidade efetiva, o escarificador (GT+ESC) e o arado de aivecas (GT+AA) apresentaram-se como sendo os

equipamentos que melhor representam este parâmetro para os sistemas de preparo do solo corroborando, desta maneira, com o estudo de Bentivenha et al. (2003) ao estudarem mobilização do solo e crescimento inicial do eucalipto em função do tipo de haste sulcadora, profundidade de trabalho e características do solo.

A análise do desempenho dos equipamentos em função das velocidades de deslocamento não foi estatisticamente significativa, provavelmente, por causa do efeito da flutuação, ou seja, menor velocidade de deslocamento favorece maiores profundidades; situação verificada por Furlani et al. (2010), os quais verificaram menor profundidade de semeadura para as maiores velocidades.

Na interação dos sistemas de preparo do solo e as velocidades de deslocamento (Tabela 6), observa-se que a largura efetiva para as grades *off-set* apresentam os melhores resultados para as quatro velocidades a que foram submetidas; e que a grade *off-set* de discos de 0,56 m (Grade GAM) é o equipamento com maior largura efetiva de trabalho tanto para os sistemas de preparo quanto para as velocidades de deslocamento. Dentre os sistemas de preparo de solo avaliados, o GT+AA foi o que apresentou menor largura efetiva de trabalho para a velocidade de 6,50 km h⁻¹ enquanto que para as demais velocidades, este equipamento não difere do GT+ESC, fato verificado por Carvalho Filho et al. (2007) e também justificado por Salvador et al. (1993), uma vez que, o arado de aivecas e escarificador são equipamentos agrícolas para mobilização e penetração do solo, respectivamente.

Tabela 6. Desdobramento da interação sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD) para a largura efetiva de trabalho dos equipamentos.

Preparo	Velocidades (km h ⁻¹)			
	2,45	3,88	5,72	6,50
	Largura efetiva (m)			
GT + ESC	0,78 cA	0,75 cA	0,79 cA	0,80 bA
GT + AA	0,66 cA	0,67 cA	0,67 cA	0,66 cA
Grade GAM	1,73 aA	1,66 aA	1,62 aAB	1,54 aB
Grade ATCR	1,42 bA	1,47 bA	1,46 bA	1,44 aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na COLUNA e maiúscula na LINHA não diferem entre si pelo teste de TUKEY a 5% de probabilidade. GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m.

Por haver apenas diferença significativa para a Grade GAM na observação quanto à significância dos sistemas de preparo para cada velocidade de

deslocamento; realizou-se deste modo, a análise de regressão (Figura 4), sendo a equação linear o modelo significativo no teste e apresentou o R^2 igual a 0,92, a que melhor representa a variação da largura efetiva de trabalho deste equipamento em função das velocidades de deslocamento; e com isto podendo-se verificar decréscimo da largura efetiva com o aumento da velocidade, mesmo sendo observado um aumento da largura efetiva na velocidade de $5,72 \text{ km h}^{-1}$, mas não sendo superior as duas primeiras velocidades ($2,45$ e $3,88 \text{ km h}^{-1}$).

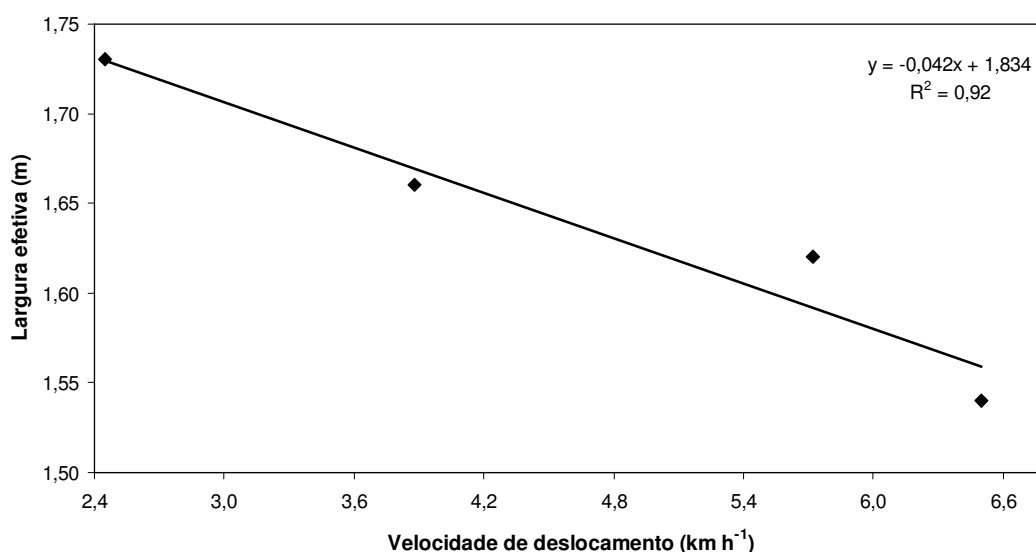


Figura 4. Largura efetiva de trabalho (m) da grade *off-set* de discos de 0,56 m (Grade GAM) para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).

4.1.2. Ruído no posto do operador

Os sistemas de preparo do solo e velocidade de deslocamento influenciaram o parâmetro ruído médio ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$) (Tabelas 7); entretanto, a interação sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD) não foi significativa ($P > 0,05$).

Quando se observa os sistemas de preparo do solo, pode-se verificar que o arado de aivecas (GT+AA) obteve o maior valor de ruído médio quando comparado ao escarificador (GT+ESC), valor este que está acima da norma do MTE - NR 15 que informa o limite de 85 dB (A) para a exposição de 08 horas sem proteção conforme MTE (2012a).

Tabela 7. Ruído médio em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD).

Fatores	Ruído médio
Preparo (SP)	dB (A)
GT + ESC	95,21 b
GT + AA	96,85 a
Grade GAM	95,76 ab
Grade ATCR	96,16 ab
Velocidades (VD)	
2,45 km h ⁻¹	95,22 b
3,88 km h ⁻¹	95,34 b
5,72 km h ⁻¹	97,85 a
6,50 km h ⁻¹	95,56 b
TESTE DE F	
SP	4,10 *
VD	15,88 **
Interação SP x VD	1,75 ^{ns}
CV (SP)	1,42
CV (VD)	1,31

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$); CV: coeficiente de variação (%). GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m.

Vitoria (2000) que avaliou os níveis de ruído emitido por tratores executando diferentes operações agrícolas, constatou que numa mesma rotação do motor, o trator apresentou as maiores médias dos níveis de ruído, quando se utilizaram as maiores velocidades e maiores profundidades; mesmo havendo menor demanda de potência, resultando com isto, em menores valores para as capacidades de campo.

Arcoverde et al. (2011) ao estudarem a influência da velocidade de trabalho e a condição do solo nas operações agrícolas na determinação dos níveis de potência sonora emitido pelo trator verificaram que os valores mais relevantes foram encontrados no trator e na operação de gradagem e que a exigência de potência no motor aumentou o nível de potência sonora. Assim, como também é afirmado por Fernandes (2003) que as operações agrícolas com subsolagem e aração se mostram mais ruidosas em razão dos grandes esforços do motor requeridos pelo equipamento.

Para as velocidades de deslocamento, observa-se que a velocidade de 5,72 km h⁻¹ apresentou maior valor de ruído médio enquanto que as demais velocidades (2,45; 3,88 e 6,50 km h⁻¹) não diferem estatisticamente entre si.

O ruído médio na análise de regressão (Figura 5) em função do incremento das velocidades de deslocamento tem comportamento ascendente dos valores até a velocidade de 5,72 km h⁻¹ e a partir desta, decréscimo dos valores do ruído médio, provavelmente por causa da estabilização do conjunto trator-equipamento. Sendo, a equação cúbica com R² igual a 0,99; a que melhor representa este fenômeno.

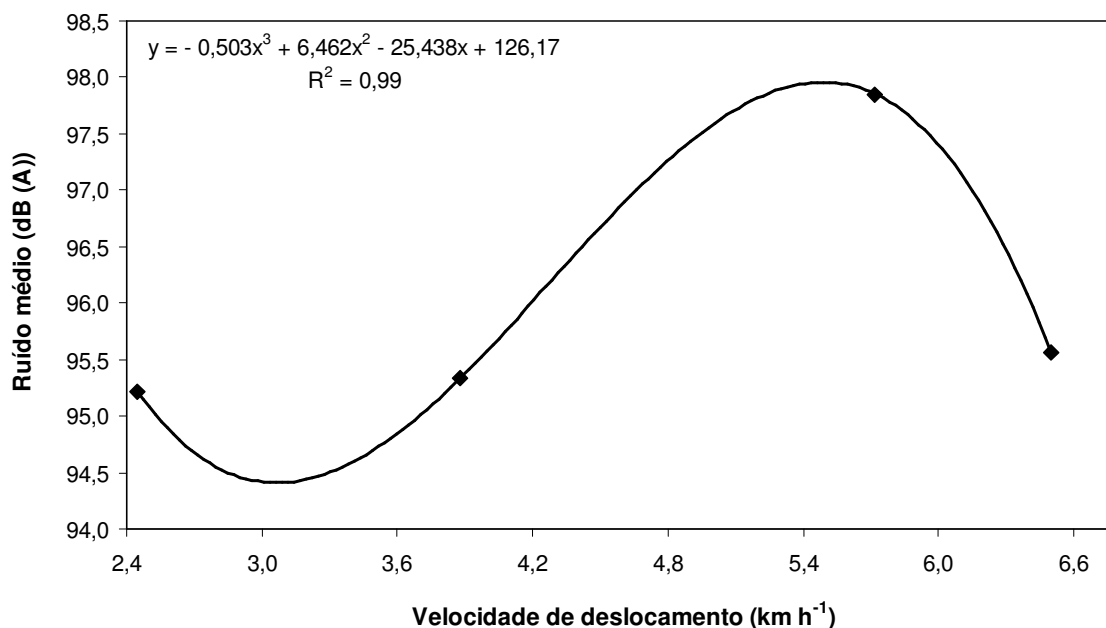


Figura 5. Ruído médio (dB (A)) em função das velocidades de deslocamento (VD).

4.1.3. Capacidades de campo

As capacidades de campo – efetiva e operacional foram significativas para os sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento, bem como a interação que envolvia estes fatores ($P \leq 0,01$) (Tabela 8).

O escarificador (GT+ESC) apresentou para capacidades de campo resultados estatisticamente similares ao arado de aivecas (GT+AA) ficando, portanto, abaixo dos valores encontrados para as grade *off-set* de discos de 0,56 m (Grades GAM) e grade *off-set* de discos de 0,61 m (Grade ATCR), respectivamente; situação semelhante foi verificada por Rodrigues e Gamero (2006) e também por Fernandes e Gamero (2010), uma vez que estes autores constataram que a largura de trabalho dos equipamentos agrícolas influencia positivamente os valores das capacidades de campo; justificando os melhores resultados para as grades *off-set*.

Tabela 8. Capacidades de campo em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD).

Fatores	Capacidade de campo	
	Efetiva	Operacional
Preparo (SP)	ha h⁻¹	
GT + ESC	0,38 c	0,27 c
GT + AA	0,30 c	0,21 c
Grade GAM	0,78 a	0,54 a
Grade ATCR	0,62 b	0,43 b
Velocidades (VD)		
2,45 km h ⁻¹	0,28 c	0,19 c
3,88 km h ⁻¹	0,44 b	0,30 b
5,72 km h ⁻¹	0,66 a	0,46 a
6,50 km h ⁻¹	0,71 a	0,49 a
TESTE DE F		
SP	121,82 **	121,21 **
VD	157,76 **	157,76 **
Interação SP x VD	9,58 **	9,58 **
CV (SP)	15,21	15,21
CV (VD)	12,02	12,02

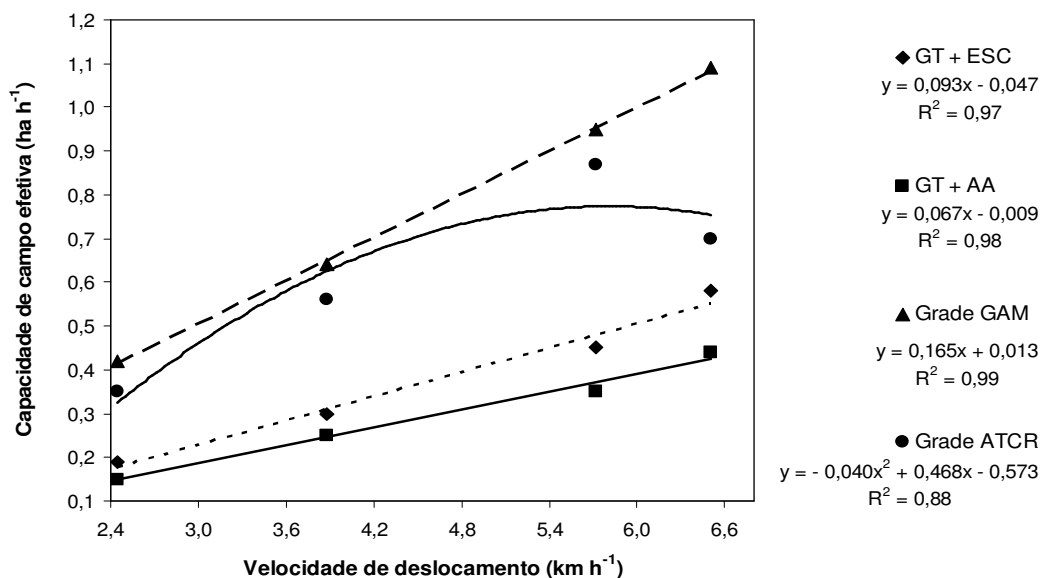
Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$); CV: coeficiente de variação (%). GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m.

Para as velocidades de deslocamento pode-se observar que as velocidades de 5,72 e 6,50 km h⁻¹ obtiveram os maiores valores de capacidades de campo enquanto que a velocidade de 2,45 km h⁻¹ apresentou o menor valor de capacidades de campo tanto efetiva quanto operacional; portanto, nota-se que com o incremento da velocidade de deslocamento ocorre também aumento das capacidades de campo.

Nas capacidades de campo - efetiva e operacional observa-se um comportamento semelhante conforme pode ser verificado pela similaridade dos coeficientes de variação para ambos os parâmetros e fatores estudados.

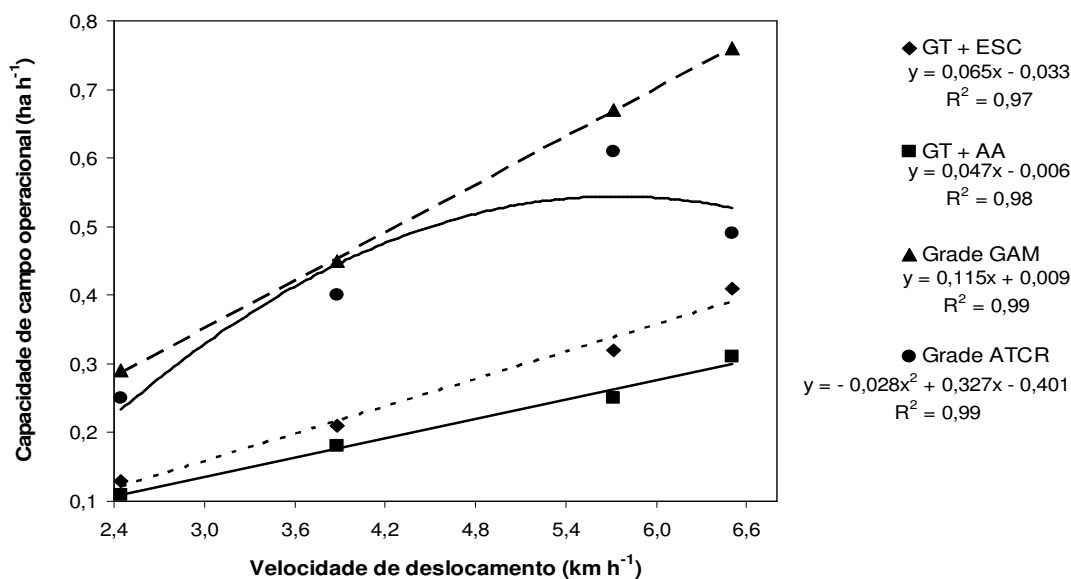
Pode-se observar (Figuras 6 e 7) que o GT+ESC, GT+AA e Grade GAM foram os equipamentos que apresentaram valores crescentes com o incremento das velocidades. Para a Grade GAM, a equação linear com R² igual a 0,99, a que melhor descreve o fenômeno para este equipamento; o GT+ESC e GT+AA, também, comportaram-se positivamente com o incremento da velocidade, entretanto com menores valores, tem a equação linear com R² igual a 0,97 e 0,98, respectivamente, a equação que melhor representa este comportamento. A Grade ATCR ocorreu diminuição dos valores para a velocidade de 5,72 km h⁻¹, diferentemente do exposto por Balastreire (1987), o qual afirma que há tendência de aumento das capacidades

de campo com o aumento da velocidade; a equação quadrática com R^2 igual a 0,88 e 0,99, respectivamente, para esta situação é a que melhor representa o comportamento de aumento dos valores de capacidades de campo até a velocidade de $5,72 \text{ km h}^{-1}$ e decréscimo dos valores para a velocidade de $6,50 \text{ km h}^{-1}$.



GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m.

Figura 6. Capacidade de campo efetiva (ha h^{-1}) do conjunto trator-equipamento para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).



GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m.

Figura 7. Capacidade de campo operacional (ha h^{-1}) do conjunto trator-equipamento para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).

Os valores médios de capacidade de campo efetiva e operacional (Figuras 6 e 7) da interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento, indicam de modo geral, que as grades *off-set* tiveram os melhores resultados para as quatro velocidades de deslocamento; o GT+AA foi o que apresentou os menores valores de capacidades de campo, uma vez que, apresentou a menor largura efetiva de trabalho conforme estudo de Fernandes e Gamero (2010) ao avaliarem desempenho de máquinas agrícolas, os mesmos autores encontraram maior capacidade de campo para equipamentos de maior largura efetiva. O GT+ESC apresentou resultados intermediários, provavelmente por ser constituído de três hastes.

4.1.4. Rendimento de campo teórico

Os sistemas de preparo do solo não influenciaram o rendimento de campo teórico (Rct) ($P > 0,05$) enquanto que as velocidades de deslocamento e a sua interação que envolvia este fator influenciaram o parâmetro Rct ($P \leq 0,01$) (Tabela 9).

Tabela 9. Rendimento de campo teórico em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD).

Fatores	Rendimento de campo teórico
Preparo (SP)	%
GT + ESC	70,28 a
GT + AA	66,56 a
Grade GAM	67,27 a
Grade ATCR	66,58 a
Velocidades (VD)	
2,45 km h ⁻¹	75,35 a
3,88 km h ⁻¹	71,70 ab
5,72 km h ⁻¹	67,16 b
6,50 km h ⁻¹	56,49 c
TESTE DE F	
SP	0,71 ^{ns}
VD	34,12 ^{**}
Interação SP x VD	3,99 ^{**}
CV (SP)	12,40
CV (VD)	8,27

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$); CV: coeficiente de variação (%). GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m.

O maior valor de rendimento de campo teórico (Rct) (Tabela 9) foi verificado para a menor velocidade (2,45 km h⁻¹) com valor de 75,35% de aproveitamento do potencial da máquina quando se compara principalmente com a velocidade de 6,50 km h⁻¹; permitindo inferir que ocorre mais de 75% de eficiência de campo conforme Mialhe (1974), uma vez que, o rendimento de campo teórico é a relação entre as capacidades de campo efetiva e teórica, expressa em porcentagem, que estima perdas de área trabalhada em decorrência do não aproveitamento total das dimensões dos órgãos ativos das máquinas. Com isto, os valores obtidos por meio de ensaio de Rct auxiliam na quantificação da utilização de órgãos ativos, ou seja, quanto realmente destes estão sendo utilizados. Os sistemas de preparo não diferem estatisticamente entre si.

O rendimento de campo teórico (Rct) (Tabela 10) na interação dos sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento apresenta resultados de maneira geral acima de 50%. Na velocidade de 2,45 km h⁻¹, todos os sistemas de preparo apresentaram valores acima de 70%, e não diferiram estatisticamente entre si; verifica-se também que o valor de Rct na velocidade de 6,50 km h⁻¹ para a grade *off-set* de discos de 0,61 m (Grade ATCR) apresenta a menor porcentagem de Rct. O escarificador (GT+ESC) mesmo com resultados satisfatórios, não diferiu estatisticamente dentre as velocidades estudadas, devido à baixa variação ao longo das velocidades.

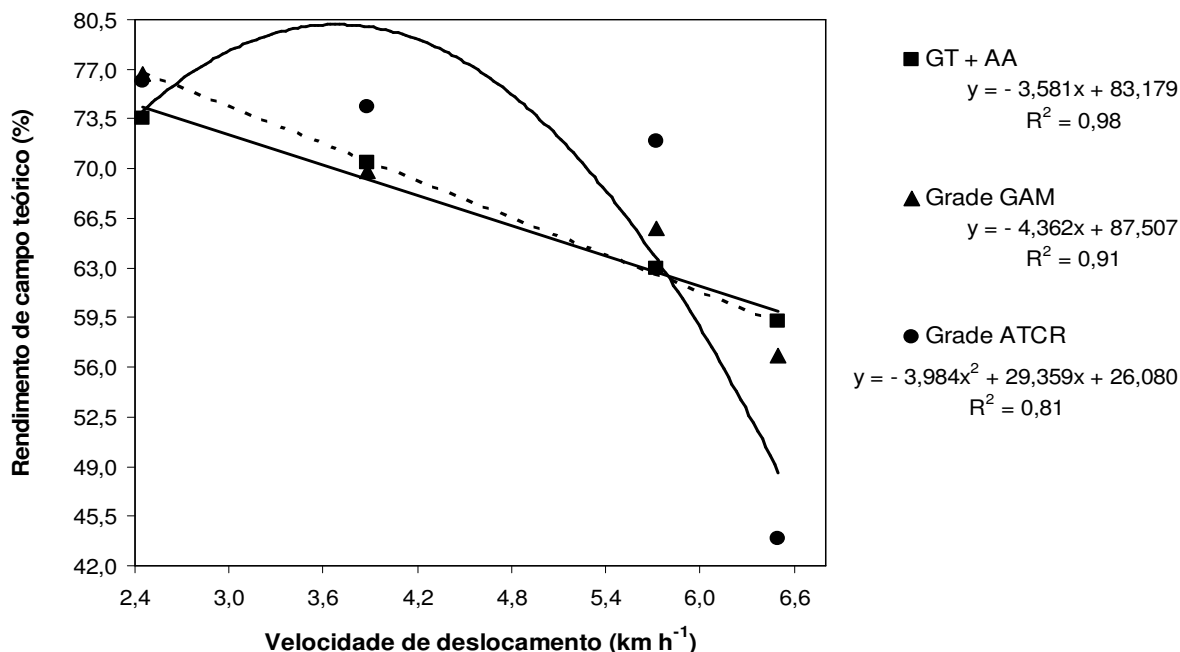
Tabela 10. Desdobramento da interação sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD) para o rendimento teórico de campo (%) do conjunto trator-equipamento.

Preparo	Rendimento de campo teórico (%)			
	Velocidades (km h ⁻¹)			
	2,45	3,88	5,72	6,50
GT + ESC	75,01 aA	72,12 aA	67,93 aA	66,07 aA
GT + AA	73,58 aA	70,46 aA	62,97 aAB	59,25 aB
Grade GAM	76,66 aA	69,84 aAB	65,82 aBC	56,77 aC
Grade ATCR	76,14 aA	74,39 aA	71,92 aA	43,90 bB

Médias seguidas de mesma letra minúscula na COLUNA e maiúscula na LINHA não diferem entre si pelo teste de TUKEY a 5% de probabilidade. GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m.

Na análise de regressão (Figura 8) dos equipamentos; o arado de aivecas (GT+AA) e grade *off-set* de discos de 0,56 m (Grade GAM), devido o seu comportamento a equação linear com R² igual a 0,98 e 0,91; respectivamente, representa melhor o decréscimo contínuo. Para a Grade ATCR observa-se

comportamento inicial crescente com o incremento da velocidade e decréscimo a partir da velocidade de 3,88 km h⁻¹, de maneira acentuada; assim a equação quadrática com R² igual a 0,81 representa melhor este comportamento, que pode ser devido à sobreposição de passadas.



GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m.

Figura 8. Rendimento de campo teórico (%) do conjunto trator-equipamento para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).

O declínio do rendimento de campo deve ter ocorrido devido a sobreposição da largura de trabalho do equipamento e pela pequena área de manobra para estabilização do conjunto, fato verificado por Araldi (2011) que estudou a importância do padrão de trajeto para eficiência de campo.

4.1.5. Variação da velocidade de trabalho

A variação da velocidade de trabalho foi significativa para os sistemas de preparo do solo ($P \leq 0,05$) e velocidades de deslocamento ($P \leq 0,01$), bem como a interação que envolvia estes fatores ($P \leq 0,01$) (Tabela 11).

Nos sistemas de preparo do solo (Tabela 11), observa-se que a grade *off-set* de discos de 0,61 m (Grade ATCR) apresentou maior variação de velocidade em

relação ao escarificador (GT+ESC), provavelmente em decorrência de requerimento de maior força de tração, uma vez que, Silveira et al. (2005) verificaram aumento significativo no requerimento de força de tração com o aumento da velocidade de deslocamento.

Tabela 11. Variação da velocidade de trabalho em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD).

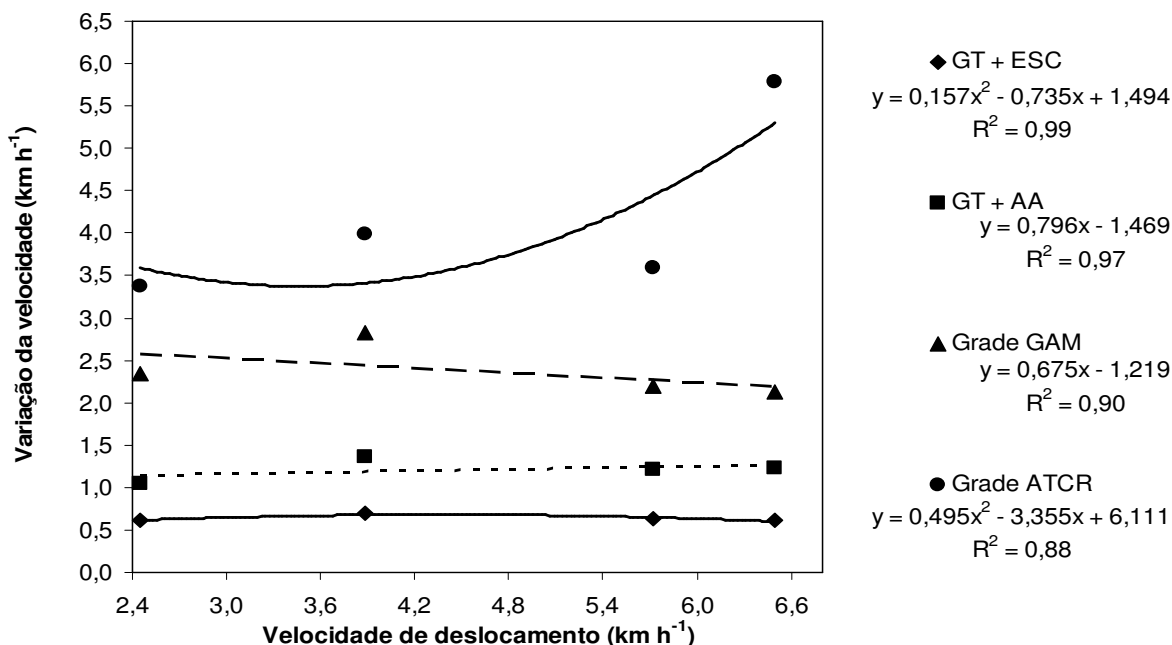
Fatores	Variação de velocidade
Preparo (SP)	km h⁻¹
GT + ESC	1,85 b
GT + AA	2,22 ab
Grade GAM	1,91 ab
Grade ATCR	2,44 a
Velocidades (VD)	
2,45 km h ⁻¹	0,64 d
3,88 km h ⁻¹	1,21 c
5,72 km h ⁻¹	2,37 b
6,50 km h ⁻¹	4,19 a
TESTE DE F	
SP	4,91 *
VD	182,38 **
Interação SP x VD	6,35 **
CV (SP)	23,61
CV (VD)	22,03

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$); CV: coeficiente de variação (%). GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m.

Para as velocidades de deslocamento (Tabela 11), verifica-se na velocidade de 2,45 km h⁻¹, o menor valor de variação de velocidade e que a velocidade de 6,50 km h⁻¹, o maior valor de variação. Observa-se também, que com o incremento da velocidade de deslocamento ocorre aumento da variação de velocidade de trabalho.

A variação da velocidade de trabalho na interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (Figura 9) observa-se que a Grade ATCR apresentou as maiores variações, principalmente, na velocidade de 6,50 km h⁻¹, tendo a equação quadrática com R² igual a 0,88, a melhor representação do comportamento evidenciado por este equipamento, uma vez que ocorre o aumento da variação conforme se aumenta a velocidade; enquanto que o GT+ESC apresentou as menores variações, verifica-se também que ocorreu decréscimo da variação de velocidade a partir da velocidade de 3,88 km h⁻¹; com isto, para

representa este comportamento tem-se a equação quadrática com R^2 igual a 0,99; mesmo que não seja aparente a curvatura da equação em função da pequena diferença entre os valores encontrados.



GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m.

Figura 9. Variação da velocidade de trabalho (km h^{-1}) do conjunto trator-equipamento para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).

O arado de aivecas (GT+AA) e a grade *off-set* de discos de 0,56 m (Grade GAM), na variação de velocidade tiveram resultados intermediários (Figura 9); entretanto, para o GT+AA ocorre decréscimo da variação com o aumento da velocidade de deslocamento, portanto a equação linear com R^2 igual a 0,97, ser a equação que melhor representa este comportamento descendente enquanto que a Grade GAM apresenta comportamento inverso, ou seja, com o aumento da velocidade de deslocamento ocorre também aumento da variação de velocidade de trabalho.

A Grade ATCR apresenta a variação da velocidade aumentando conforme se aumenta a velocidade de deslocamento; por isso, que a equação linear com R^2 igual a 0,90, ser a equação representativa para este comportamento ascendente acentuado.

Como a variação da velocidade é obtida pela diferença entre as velocidades teórica e efetiva, podendo-se inferir que a diferenciação na qualidade de trabalho

executado será maior conforme a variação (MIALHE, 1996); Silva et al. (2000b) também afirmam que a variação influencia na qualidade do trabalho ao conduzirem estudo em solo com sistema de plantio direto para verificar o estabelecimento da cultura do milho.

4.1.6. Força de tração e potência estimadas

A força de tração e potência estimadas foram significativas para os sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento, bem como a interação que envolvia estes fatores ($P \leq 0,01$) (Tabela 12).

Tabela 12. Força de tração e potência estimadas em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD).

Fatores	Força de tração		Potência
	kN		kW
Preparo (SP)			
GT + ESC	15,67 b	40,26 ab	
GT + AA	14,81 b	35,42 b	
Grade GAM	17,24 b	42,19 a	
Grade ATCR	20,48 a	45,07 a	
Velocidades (VD)			
2,45 km h ⁻¹	15,86 c	19,81 d	
3,88 km h ⁻¹	16,47 bc	32,43 c	
5,72 km h ⁻¹	17,74 ab	52,02 b	
6,50 km h ⁻¹	18,15 a	58,68 a	
TESTE DE F			
SP	15,93 **	12,90 **	
VD	5,91 **	122,56 **	
Interação SP x VD	2,95 **	4,38 **	
CV (SP)	14,69	11,10	
CV (VD)	10,33	15,83	

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$); CV: coeficiente de variação (%). GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m.

Nos sistemas de preparo do solo (Tabela 12) para a força de tração, observa-se que a grade *off-set* de discos de 0,61m (Grade ATCR) foi o equipamento que apresentou o maior valor enquanto que para os demais equipamentos não houve diferença significativa; quanto a potência, as grades *off-set* demandaram maior potência em relação ao arado de aivecas (GT+AA).

Na análise da velocidade de deslocamento (Tabela 12), observa-se que na velocidade de 6,50 km h⁻¹ tem-se o maior valor de força de tração em relação às

velocidades de 2,45 e 3,88 km h⁻¹; e que nesta mesma velocidade de deslocamento tem a maior demanda por potência sobre as demais velocidades estudadas.

Os valores de força de tração (Tabela 13 e Figura 10) da interação dos sistemas de preparo e velocidades de deslocamento; indicam que para as velocidades de deslocamento, individualmente, as grades *off-set* demandaram na velocidade de 2,45 km h⁻¹, maior força de tração; entretanto, na velocidade de 3,88 km h⁻¹, apenas a Grade ATCR apresentou maior valor de força de tração. Na velocidade de 5,72 km h⁻¹, pode-se verificar que a grade ATCR apresentou maior valor força de tração quando se compara com o escarificador (GT+ESC) e GT+AA que possuem os menores valores; e na velocidade de 6,50 km h⁻¹, o GT+AA e grade *off-set* de discos de 0,56m (Grade GAM) apresentaram menores valores de força de tração em relação à Grade ATCR.

Para os sistemas de preparo do solo (Tabela 13), individualmente, observa-se que as grades *off-set* não diferem estatisticamente para as quatro velocidades de deslocamento estudadas. E, que o GT+ESC e GT+AA, na velocidade de 2,45 km h⁻¹, apresentam os menores valores de força de tração quando comparados com as grades *off-set*; provavelmente, por serem equipamentos que trabalham em profundidade, conforme estudos de Mello e Magalhães (1995), Siqueira et al. (2001) e Cortez et al. (2008).

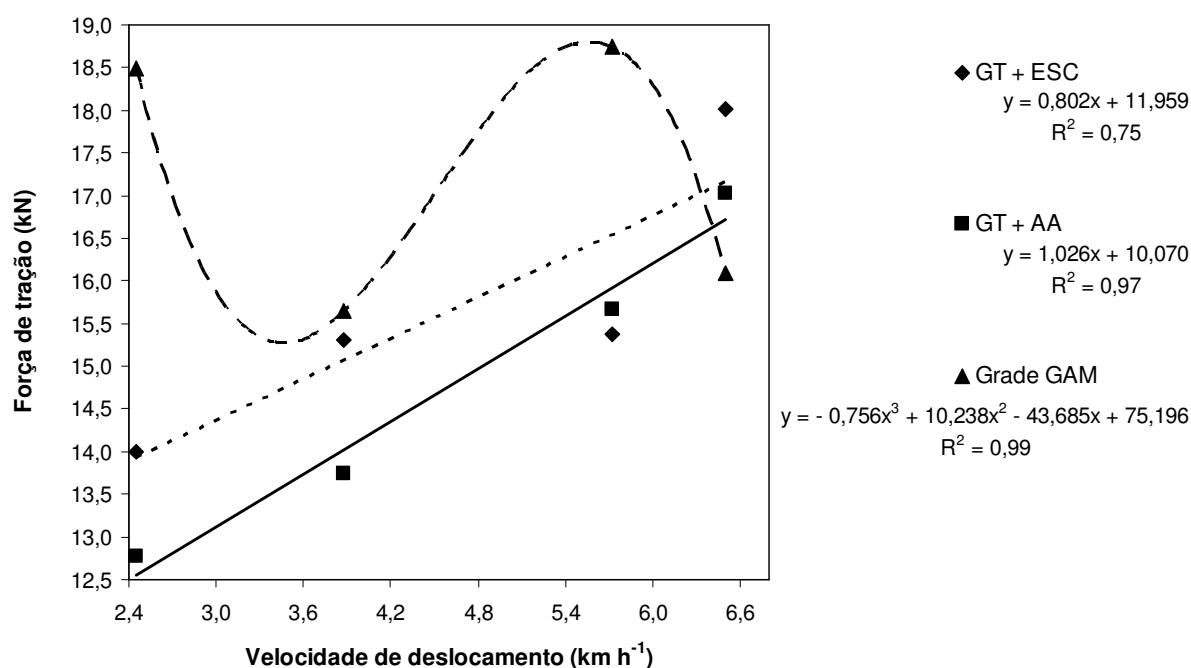
O GT+ESC e o GT+AA apresentaram resultados intermediários e similares estatisticamente, estando, portanto, de acordo com Silva (2000) visto que a velocidade influenciou a demanda de força de tração e potência para o aumento das velocidades.

Tabela 13. Desdobramento da interação sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD) para a força de tração (kN) do conjunto trator-equipamento.

Preparo	Força de tração (kN)			
	Velocidades (km h ⁻¹)			
	2,45	3,88	5,72	6,50
GT + ESC	13,99 bB	15,31 bAB	15,38 bAB	18,02 abA
GT + AA	12,78 bB	13,74 bAB	15,67 bAB	17,03 bA
Grade GAM	18,49 aA	15,64 bA	18,74 abA	16,09 bA
Grade ATCR	18,15 aA	21,17 aA	21,17 aA	21,45 aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na COLUNA e maiúscula na LINHA não diferem entre si pelo teste de TUKEY a 5% de probabilidade. GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m.

Observa-se a análise de regressão (Figura 10) após o teste de F do GT+ESC, GT+AA e Grade GAM, bem como os seus modelos equacionais. O GT+ESC e o GT+AA por apresentarem valores com variação semelhante por meio do incremento da velocidade têm-se a equação linear com R^2 igual a 0,75 e 0,97, respectivamente; a melhor representação de seus comportamentos. Entretanto, a Grade GAM por apresentar valores com comportamento sigmóide, tem-se a equação cúbica, a que melhor representa este fenômeno e com R^2 igual a 0,90; este comportamento, provavelmente, possa ser explicado pela variação da largura e profundidade efetivas nas diferentes velocidades.

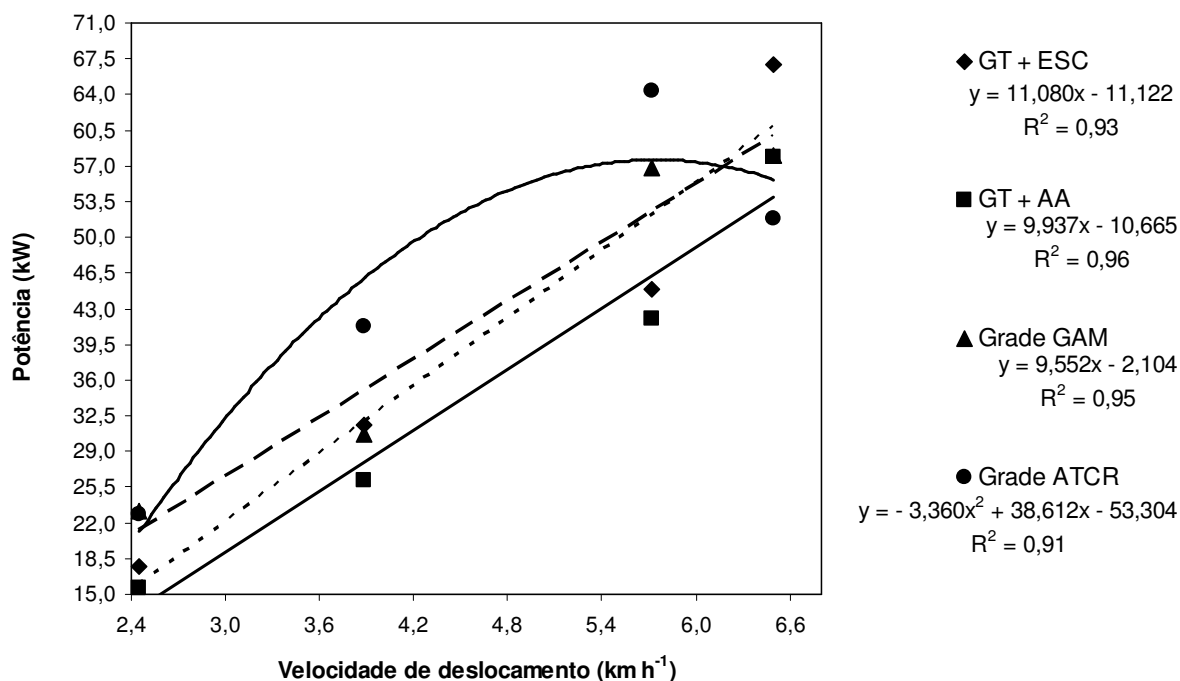


GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m.

Figura 10. Força de tração (kN) do conjunto trator-equipamento para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).

Os valores médios de potência (Figura 11) da interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento indicam de modo geral, que o GT+ESC, o GT+AA e a Grade GAM seguem o mesmo padrão de demanda de potência, ou seja, à medida que aumenta a velocidade, aumenta-se a potência; uma vez que o GT+ESC e GT+AA são associações que apresentaram maiores valores de profundidade efetiva de trabalho (0,39 m e 0,42 m) enquanto que a Grade GAM foi o equipamento com maior largura efetiva de trabalho (1,63 m). Assim, a equação que linear com R^2 igual a 0,93; 0,96 e 0,95, respectivamente; descrevem melhor este

comportamento. Entretanto, a Grade ATCR descreve um comportamento de aquisição de potência nas velocidades de 2,45; 3,88 e 5,72 km h⁻¹ e de decréscimo na demanda para a velocidade de 6,50 km h⁻¹; provavelmente resultante do efeito da flutuação conforme verificado por Furlani et al. (2010); sendo, portanto, a equação quadrática com R² igual a 0,91, a equação que melhor representa o comportamento crescente e decrescente deste equipamento.



GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m.

Figura 11. Potência (kW) do conjunto trator-equipamento para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).

4.2. Parâmetros relacionados ao solo

4.2.1. Porcentagem de cobertura vegetal do solo

A cobertura vegetal sobre o solo (antes e após o preparo do solo) (Tabela 14), bem como o Índice de Cobertura Vegetal (ICV) em função dos sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento.

A cobertura vegetal sobre o solo (Tabela 14) (antes do preparo) como forma de caracterização da área, não foi significativa ($P > 0,05$) para os sistemas de preparo

do solo e velocidades de deslocamento e a interação, assim qualquer diferença na cobertura vegetal foi atribuída aos tratamentos. A cobertura vegetal (após preparo) e o Índice de Cobertura Vegetal (ICV) foram significativos a $P \leq 0,01$ para os sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento, enquanto que a interação para cobertura vegetal (após preparo) mostrou-se significativa ($P \leq 0,05$).

Tabela 14. Cobertura vegetal antes e após o preparo e o Índice de Cobertura Vegetal (ICV) em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD).

Fatores	Cobertura vegetal sobre o solo (%)		
	Antes do preparo	Após preparo	ICV
Preparo (SP)			
GT + ESC	80,25 a	29,69 b	37,02 b
GT + AA	83,00 a	1,37 c	1,66 c
Grade GAM	81,00 a	23,50 b	28,97 b
Grade ATCR	78,25 a	24,06 b	33,32 b
SPP	90,56 a	90,56 a	100,00 a
Velocidades (VD)			
2,45 km h ⁻¹	82,60 a	37,55 a	44,94 a
3,88 km h ⁻¹	82,65 a	37,45 a	44,89 a
5,72 km h ⁻¹	82,65 a	30,20 b	35,77 b
6,50 km h ⁻¹	82,55 a	30,15 b	35,18 b
TESTE DE F			
SP	1,15 ^{ns}	116,79 ^{**}	52,73 ^{**}
VD	1,32 ^{ns}	5,71 ^{**}	5,34 ^{**}
SP x VD	1,32 ^{ns}	2,02 [*]	1,77 ^{ns}
CV (SP)	21,49	36,65	49,62
CV (VD)	0,23	23,40	26,25

Médias seguidas de mesma letra na COLUNA não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$). CV: coeficiente de variação (%). GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m, SPP: sem preparo primário.

A cobertura vegetal após o preparo do solo (Tabela 14) não diferiu para o escarificador (GT+ESC), grade *off-set* de discos de 0,56 m (Grade GAM) e grade *off-set* de discos de 0,61 m (Grade ATCR), o que não era de se esperar, pois o GT+ESC não inverte o solo e com isto, não incorpora grande quantidade de cobertura vegetal, enquanto que as grades *off-set* promovem o revolvimento do solo. O arado de aivecas (GT+AA) foi o sistema que apresentou a menor cobertura vegetal após o preparo, devido à inversão de camadas do solo até 0,42 m de profundidade. A incorporação de resíduos vegetais ao solo, segundo Volk et al. (2004) melhora a sua estrutura e serve como fonte de nutrientes à

microbiota terrestre promovendo o desenvolvimento radicular das plantas, resultando em condições favoráveis à agregação e estabilização do solo.

Para as velocidades de deslocamento (Tabela 14) observa-se que há diferença para a cobertura vegetal após o preparo, sendo que as menores velocidades de deslocamento (2,45 e 3,88 km h⁻¹) apresentam maior cobertura vegetal e as maiores velocidade de deslocamento (5,72 e 6,50 km h⁻¹) apresentam menor cobertura vegetal; diferentemente do estudo de Grotta et al. (2004) ao estudarem o desempenho de um subsolador em função da velocidade de trabalho e de espaçamento entre hastes em LATOSSOLO VERMELHO eutroférico típico, os quais constataram que as velocidades de 2,0; 4,0 e 6,0 km h⁻¹ não influenciaram a porcentagem de incorporação de resíduos vegetais.

O ICV (Tabela 14) foi menor para o sistema GT+AA com incorporação de 98,34%, situação semelhante foi observado por Carvalho Filho et al. (2007) ao estudarem os efeitos de sistemas de preparo periódico do solo sobre a capacidade de incorporação de resíduos vegetais em LATOSSOLO VERMELHO distrófico, e destacam que o arado de aivecas teve maior incorporação de resíduos vegetais (96,4%) quando comparado com o escarificador, enxada rotativa e grade aradora. Para este trabalho observou-se que os preparos com GT+ESC, Grade GAM e Grade ATCR não diferiram e incorporaram 62,98%, 71,03 e 66,68%, respectivamente. Observam-se em outros estudos resultados contrários (SILVA; BENEZ, 2005; CARVALHO FILHO et al., 2007) em que o escarificador incorpora menor quantidade de resíduos vegetais, portanto, atendendo as condições de manejo conservacionista. Para as velocidades de deslocamento o ICV apresentou os maiores valores nas velocidades de 2,45 e 3,88 km h⁻¹ e menores nas velocidades de 5,72 e 6,50 km h⁻¹.

A interação dos sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento foi significativa ($P \leq 0,05$) para a cobertura vegetal do solo após o preparo (Tabela 15). Para os sistemas de preparo do solo individualmente, os valores encontrados, para GT+AA, Grade ATCR e sem preparo primário (SPP) não diferem estatisticamente para as quatro velocidades de deslocamento estudadas. Furlani e Gamero (1998), ao trabalhar com arado de discos de 0,71 m em NITOSSOLO verificaram que a incorporação dos resíduos vegetais independe da velocidade de deslocamento do trator-arado.

Tabela 15. Desdobramento da interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento para a cobertura vegetal após o preparo do solo.

Preparo	Cobertura vegetal após preparo do solo (%)			
	Velocidades (km h ⁻¹)			
	2,45	3,88	5,72	6,50
GT + ESC	33,50 bAB	41,50 bA	21,75 bB	22,00 bB
GT + AA	1,25 cA	0,5 cA	1,75 cA	2,00 cA
Grade GAM	37,50 bA	24,00 bAB	16,50 bcB	16,00 bcB
Grade ATCR	25,00 bA	30,50 bA	20,25 bcA	20,50 bcA
SPP	90,50 aA	90,75 aA	90,75 aA	90,25 aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na COLUNA e maiúscula na LINHA não diferem entre si pelo teste de TUKEY a 5% de probabilidade. GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m, SPP: sem preparo primário

No entanto, o GT+ESC apresenta a maior cobertura vegetal na velocidade de 3,88 km h⁻¹, sendo maior que na velocidade de 5,72 e 6,50 km h⁻¹; e para a Grade GAM, a maior cobertura foi na velocidade de 2,45 km h⁻¹, sendo maior que na velocidade de 5,72 e 6,50 km h⁻¹.

Verifica-se para as velocidades de deslocamento, individualmente (2,45 e 3,88 km h⁻¹), que o sistema de preparo GT+AA apresentou a menor porcentagem de cobertura vegetal, devido à maior mobilização do solo, e nas velocidades de 5,72 e 6,50 km h⁻¹, o GT+AA não diferiu para Grade GAM e ATCR, uma vez que nas maiores velocidades observam-se menores valores de cobertura vegetal do solo; que segundo Mello (2004) ao estudar o desempenho de arado de discos, em função da velocidade de deslocamento e do ângulo horizontal dos discos em LATOSSOLO ROXO verificou que as menores incorporações de cobertura vegetal ocorrem nas baixas velocidades (3,5 e 4,9 km h⁻¹) e que com o aumento da velocidade (6,5 km h⁻¹), há um aumento significativo na incorporação dos restos vegetais. O SPP apresentou o maior valor de porcentagem de cobertura do solo devido a não mobilização do solo.

A Grade GAM apresentou significância na análise de regressão (Figura 12), a equação linear com R² igual a 0,91; a melhor representação deste equipamento; descrevendo o comportamento decrescente com o incremento das velocidades.

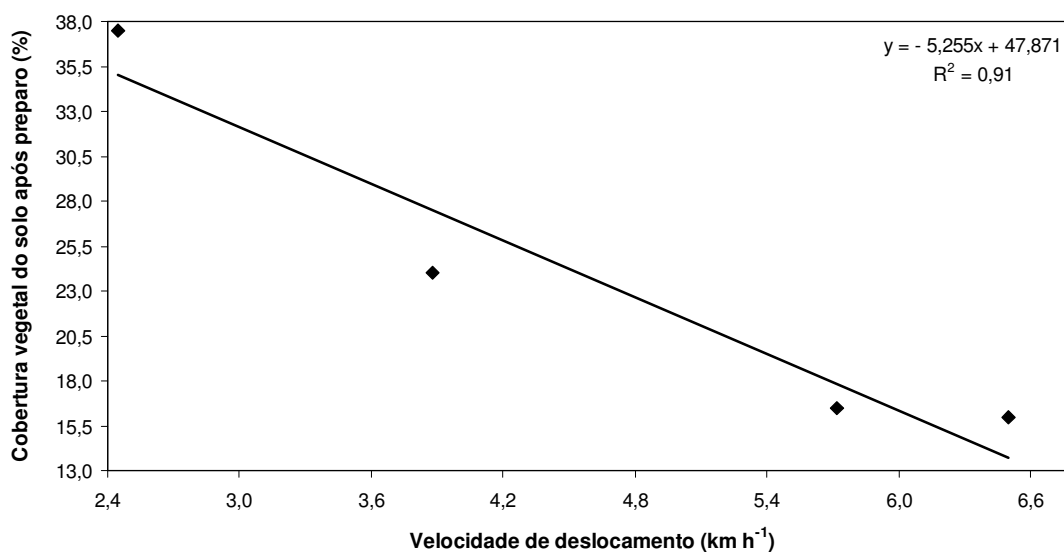


Figura 12. Cobertura vegetal sobre o solo após o preparo (%) da grade *off-set* de discos de 0,56 m (Grade GAM) para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).

A representação das velocidades de deslocamento para os valores de ICV (%) (Figura 13), pode-se observar com o incremento da velocidade de deslocamento ocorre diminuição nos valores de cobertura vegetal sobre o solo, por isso, a equação linear com R^2 igual a 0,88; seja a que melhor representa este comportamento descendente.

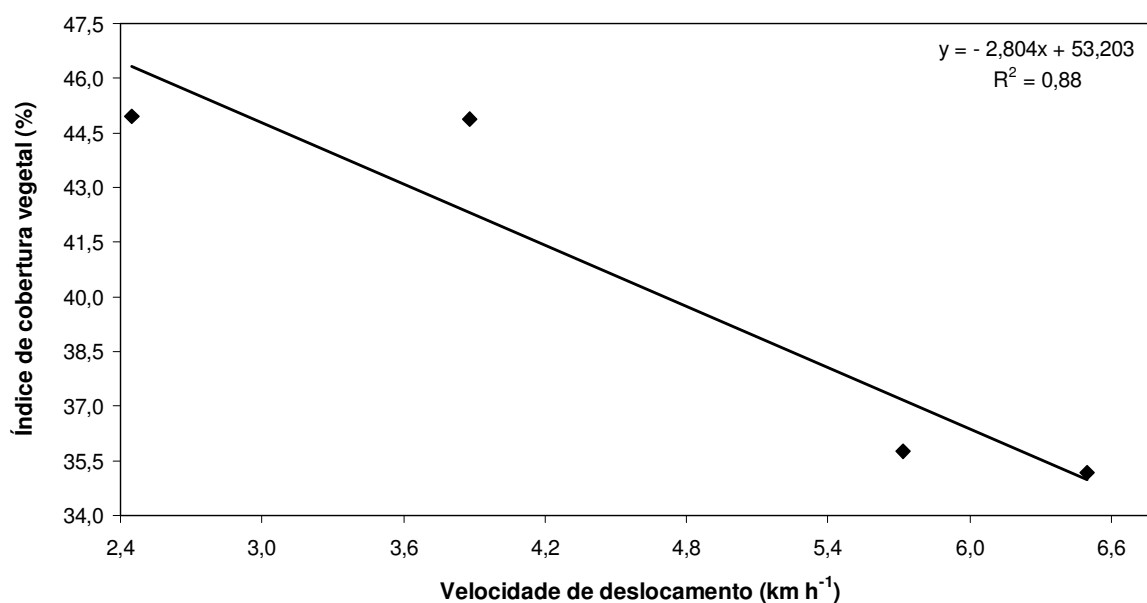


Figura 13. Índice de cobertura vegetal sobre o solo (%) em função das velocidades de deslocamento (VD).

4.2.2. Densidade do solo e porosidade total determinada do solo

Para a densidade do solo (Ds) e porosidade total determinada do solo (Pt), os sistemas de preparo do solo foram significativos ($P \leq 0,01$) enquanto que as velocidades de deslocamento (Tabela 16) e as interações que a envolviam não diferiram estatisticamente diferentemente dos resultados encontrados por Schlosser et al. (2000) ao estudarem o efeito de dois arados (aivecas e discos) e duas velocidades de trabalho (5 e 7 km h⁻¹) sobre o diâmetro médio geométrico dos agregados de um LUVISSOLO em Santa Maria - RS, verificaram que com o incremento de velocidade, o efeito desagregante da estrutura é maior, aumentando a produção de agregados menores que favorecem a maior Ds e menor Pt.

Tabela 16. Densidade do solo (Ds) e porosidade total determinada do solo (Pt) em função dos sistemas de preparo do solo (SP), das velocidades de deslocamento (VD) e camadas do solo (CS).

Fatores	Ds (Mg m ⁻³)	Pt (m ³ m ⁻³)
Sistemas de Preparo (SP)		
GT + ESC	1,48 ab	0,40 ab
GT + AA	1,46 b	0,43 a
Grade GAM	1,50 ab	0,39 b
Grade ATCR	1,44 b	0,42 ab
SPP	1,54 a	0,41 ab
Velocidades (VD)		
2,45 km h ⁻¹	1,50 a	0,41 a
3,88 km h ⁻¹	1,50 a	0,41 a
5,72 km h ⁻¹	1,48 a	0,41 a
6,50 km h ⁻¹	1,46 a	0,42 a
Camadas do solo (CS)		
0,00 – 0,10 m	1,34 c	0,46 a
0,10 – 0,20 m	1,53 b	0,40 b
0,20 – 0,30 m	1,58 a	0,38 c
TESTE DE F		
SP	4,73 *	3,97 *
VD	2,05 ^{ns}	0,89 ^{ns}
CS	87,73 **	63,14 **
SP x VD	0,72 ^{ns}	0,59 ^{ns}
SP x CS	3,95 **	5,00 **
VD x CS	0,50 ^{ns}	0,91 ^{ns}
SP x VD x CS	0,60 ^{ns}	0,56 ^{ns}
CV (SP)	8,21	11,38
CV (VD)	7,22	11,33
CV (CS)	7,92	10,80

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$). CV: coeficiente de variação (%). GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m, SPP: sem preparo primário.

Nos sistemas de preparo do solo (Tabela 16), o sem preparo primário (SPP) apresentou maior Ds em comparação ao arado de aivecas (GT+AA) e grade *off-set* de discos de 0,61 m (Grade ATCR); quanto a Pt, o GT+AA apresentou maior valor quando comparado com a grade *off-set* de discos de 0,56 m (Grade GAM). Para as velocidades de deslocamento tanto Ds quanto Pt não diferem estatisticamente entre si para as quatro velocidades estudadas. Nas camadas do solo, pode-se observar que a Ds aumenta e Pt diminui conforme aumenta-se a profundidade, uma vez que estes parâmetros são grandezas inversamente proporcionais; sendo a camada de 0,00-0,10 m a apresenta menor Ds e maior Pt e a camada de 0,20-0,30 m com maior Ds e menor Pt.

A densidade do solo (Ds) e porosidade total determinada do solo (Pt), apresentaram a interação significativa ($P \leq 0,01$) para os sistemas de preparo do solo versus camadas do solo. Para as camadas de solo, individualmente (Tabela 17), observa-se que o escarificador (GT+ESC), Grade GAM e ATCR para Ds na camada de 0,00-0,10 m apresentam os menores valores quando comparados com o SPP, enquanto que na camada de 0,10-0,20 m, a Grade ATCR apresenta à menor Ds em relação à Grade GAM e SPP e quanto à camada de 0,20-0,30 m tem-se o GT+AA com o menor valor de Ds na comparação com a Grade GAM, visto que o arado de aivecas trabalhou até a profundidade de 0,42 m.

Tabela 17. Desdobramento da interação sistemas de preparo do solo e camadas do solo para a densidade do solo e porosidade total determinada do solo.

Camadas do solo (m)	Sistemas de preparo do solo				
	GT+ESC	GT+AA	Grade GAM	Grade ATCR	SPP
Densidade do solo ($Mg\ m^{-3}$)					
0,00 - 0,10	1,30 bB	1,39 abB	1,31 bB	1,27 bC	1,43 aB
0,10 - 0,20	1,54 abcA	1,47 bcAB	1,57 abA	1,44 cB	1,59 aA
0,20 - 0,30	1,57 abA	1,50 bA	1,63 aA	1,60 abA	1,57 abA
Porosidade total determinada do solo ($m^3\ m^{-3}$)					
0,00 - 0,10	0,46 abA	0,46 abA	0,47 aA	0,47 aA	0,41 bA
0,10 - 0,20	0,39 abB	0,41 aB	0,36 bB	0,42 aB	0,40 abA
0,20 - 0,30	0,34 cC	0,41 aB	0,36 bcB	0,37 abcC	0,40 abA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na LINHA e maiúscula na COLUNA não diferem entre si pelo teste de TUKEY a 5% de probabilidade. GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m; SPP: sem preparo primário.

Mazurana et al. (2011) verificaram para o ARGISSOLO VERMELHO que a densidade do solo foi menor nos sistemas de preparo com maior grau de

mobilização do solo, sendo os maiores valores observados para o sistema de semeadura direta e os menores para o sistema escarificação com gradagem.

Para os sistemas de preparo do solo, individualmente (Tabela 17), observa-se que o GT+ESC, Grade GAM e SPP apresentam comportamentos semelhantes de Ds; a Grade ATCR apresenta o menor valor de Ds na camada de 0,00-0,10 m; enquanto o GT+AA apresenta aumento gradual de Ds com a profundidade, provavelmente em decorrência da acomodação das partículas do solo após a irrigação por aspersão. Panachuki (2003) ao estudar a infiltração de água no solo e erosão hídrica, sob chuva simulada, em sistema de integração agricultura-pecuária verificou que a Ds não diferiu significativamente nas camadas de 0,00-0,05 m e 0,05-0,20 m. Enquanto que Oliveira et al. (2011) em ARGISSOLO AMARELO verificaram que a camada de 0,00-0,20 m foi mais suscetível a compactação do que a camada de 0,20-0,40 m, quando submetido a manejos com irrigação em preparo convencional com grade pesada, e que o uso da vinhaça aumentou a capacidade de suporte do solo.

Para as camadas do solo, individualmente (Tabela 17), observa-se que Pt nas Grades GAM e ATCR para a camada de 0,00-0,10 m apresentam os maiores valores quando comparado com o SPP; entretanto na camada de 0,10-0,20 m, o GT+AA e Grade ATCR apresentam os maiores valores de Pt com relação a Grade GAM, uma vez que esta tem profundidade de trabalho até 0,15 m. Para os sistemas de preparo do solo, individualmente, observa-se que o GT+ESC e Grade ATCR foram os preparos que apresentaram valores significativos para a variação de Pt nas camadas de solo analisadas; onde a camada de 0,00-0,10 m apresentam os maiores valores de Pt e a camada de 0,20-0,30 m, os menores valores; ou seja, na camada superficial havia maior porosidade do que na camada subsuperficial, devido a mobilização do solo mais efetiva na superfície.

Ao contrário Mazurana et al (2011) em ARGISSOLO VERMELHO encontraram maiores valores de Pt na camada de 0,12-0,20 m para o preparo com escarificador com rolo destorrador, e atribui este fato ao aumento dos macroporos do solo promovidos pela ação do equipamento no solo. O GT+AA e Grade GAM apresentam resultados semelhantes, entretanto, pode-se verificar que na camada de 0,00-0,10 m tem-se as maiores Pt e na camada de 0,10-0,30 m, as menores Pt. No SPP, a Pt não diferiu para todas as camadas do solo por causa da não mobilização.

4.2.3. Resistência mecânica do solo à penetração

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) é um parâmetro para avaliação da compactação do solo (Tabela 18); a RP para os sistemas de preparo do solo, camadas do solo e sua interação foram significativas ($P \leq 0,01$) enquanto que para as velocidades de deslocamento não houve significância ($P > 0,05$).

O sistema sem preparo primário (SPP) por não ocorre mobilização primária da área, foi o que apresentou maior RP quando comparado com o escarificador (GT+ESC) e arado de aivecas (GT+AA).

Tabela 18. Resistência mecânica do solo à penetração (RP pontual) em função dos sistemas de preparo do solo (SP), velocidades de deslocamento (VD) e camadas do solo (CS).

Fatores	RP pontual (MPa)
Preparo (SP)	
GT + ESC	1,15 b
GT + AA	0,57 c
Grade GAM	1,60 ab
Grade ATCR	1,23 ab
SPP	1,66 a
Velocidades (VD)	
2,45 km h ⁻¹	1,26 a
3,88 km h ⁻¹	1,19 a
5,72 km h ⁻¹	1,31 a
6,50 km h ⁻¹	1,21 a
Camadas do solo (CS)	
0,00 – 0,10 m	0,63 c
0,10 – 0,20 m	0,80 c
0,20 – 0,30 m	1,34 b
0,30 – 0,40 m	2,20 a
TESTE DE F	
SP	15,06 **
VT	0,92 ^{ns}
CS	114,07 **
SP x VD	0,98 ^{ns}
SP x CS	9,32 **
VD x CS	0,53 ^{ns}
SP x VD x CS	1,04 ^{ns}
CV (SP)	71,78
CV (VD)	39,18
CV (CS)	47,42

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$); CV: coeficiente de variação (%). GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m; SPP: sem preparo primário.

Falleiro et al. (2003) ao verificarem alterações provocadas pelos sistemas de preparo do solo sobre propriedades físicas e químicas de ARGISSOLO da Zona da Mata mineira concluíram que a maior densidade do solo em semeadura direta deveu-se ao acomodamento natural do solo, dada a ausência de seu revolvimento. O GT+AA apresentou menor RP devido a reversão do solo até a profundidade de 0,42 m, assim como observado por Tormena (2002) ao avaliarem propriedades físicas de um LATOSSOLO VERMELHO distrófico cultivado com mandioca, após dois anos de implantação de diferentes sistemas de preparo do solo constataram que a mobilização do solo com arado de aivecas reduz substancialmente a RP em comparação com o sistema plantio direto, independentemente da umidade do solo; e Mernes et al. (2003) quando estudaram a influência de diferentes métodos de preparo do solo (plantio direto, arado de aivecas, arado de disco, arado de aivecas + grade pesada, arado de disco + grade pesada, grade pesada) na resistência mecânica à penetração de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO constataram que o revolvimento do solo com arado de aivecas, arado de disco (isolados ou em associação com a grade pesada) propiciou menor RP.

As velocidades de deslocamento (Tabela 18) não diferiram estatisticamente entre si. Entretanto, esperava-se que com o aumento da velocidade houvesse diminuição da RP, pois haveria também diminuição do tempo de pressão no solo. Toledo et al. (2009) ao estudarem e caracterizarem o comportamento da variabilidade espacial da RP, da demanda energética e do desempenho operacional do conjunto trator-semeadora, atuando com 5% de biodiesel etílico destilado de amendoim, em operação de semeadura em solo sob preparo convencional concluíram que a RP não apresenta correlação com a velocidade de deslocamento.

Para as camadas de solo analisadas (Tabela 18) pode-se observar que com o aumento da profundidade ocorre também aumento de RP, devido provavelmente aos sistemas de preparo empregados; uma vez que Souza e Alves (2003) quando avaliaram as modificações do movimento de água de um LATOSSOLO VERMELHO distrófico sob vegetação de cerrado, para diferentes condições de uso e manejo do solo (vegetação natural, cultivo mínimo, pastagem, preparo convencional, plantio direto e área com seringueira) salientam que adequadas práticas de manejo apresentam maiores capacidades de infiltração e condutividade hidráulica e menor RP e conforme Pedrotti et al. (2001b) quando avaliaram o estado de compactação

de um PLANOSSOLO submetido a diferentes sistemas de cultivo de arroz irrigado por meio da RP; e Abreu et al. (2004) ao estudarem o efeito de sistemas de manejo em propriedades físico-hídricas e mecânicas e ao avaliarem a ruptura de camadas compactadas, usando escarificação e plantas com sistema radicular agressivo sob ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico em Santa Maria/RS, onde os autores puderam identificar as camadas compactadas num perfil de solo devido ao seu manejo.

Na interação sistemas de preparo do solo e camadas do solo para a RP (Tabela 19) pode-se observar que a RP para a camada de 0,00-0,10 m em todos os sistemas de preparo do solo analisados não diferem entre si; entretanto na camada de 0,10-0,20 m, o SPP apresenta maior valor de RP, quando comparado ao GT+ESC, GT+AA e grade *off-set* de discos de 0,61m (Grade ATCR), devido a não mobilização e que a maioria dos equipamentos trabalhou até esta profundidade promovendo mobilização.

Tabela 19. Desdobramento da interação sistemas de preparo do solo (SP) e camadas do solo (CS) para a resistência mecânica do solo à penetração (RP pontual – MPa).

Preparo	Resistência mecânica do solo à penetração (MPa)			
	Camadas (m)			
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40
GT + ESC	0,57 aB	0,61 bB	1,03 bcB	2,42 bA
GT + AA	0,57 aA	0,57 bA	0,57 cA	0,61 cA
Grade GAM	0,57 aC	0,82 abC	1,87 aB	3,14 aA
Grade ATCR	0,57 aC	0,61 bC	1,32 abB	2,42 bA
SPP	0,90 aC	1,41 aBC	1,91 aAB	2,42 bA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na COLUNA e maiúscula na LINHA não diferem entre si pelo teste de TUKEY a 5% de probabilidade. GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m; SPP: sem preparo primário.

Hillel (1982) *apud* Mazurana et al. (2011) citam que as tensões aplicadas pelos rodados se concentram na profundidade equivalente a 1/3 a 1/5 da largura dos pneus, assim para este trabalho na área SPP as tensões deveriam se concentrar na profundidade de 0,09 a 0,16 m; o que se confirmou, pois a área sem preparo havia sofrido tráfego do trator deste experimento para a colheita de sorgo. Na camada de 0,20-0,30 m, os maiores valores de RP foram para o SPP e a grade *off-set* de discos de 0,56m (Grade GAM) com relação ao GT+ESC e GT+AA, explicado por não mobilização e a menor profundidade de trabalho (<0,20 m), respectivamente. Na

camada de 0,30-0,40 m, o maior valor de RP foi apresentado pela Grade GAM, provavelmente pela formação de “pé-de-grade”, uma vez que este equipamento possui uma profundidade efetiva menor que 0,20 m; diferentemente do GT+AA que trabalhou a uma profundidade efetiva de 0,42 m, o qual apresentou o menor valor de RP.

Para os sistemas de preparo do solo (Tabela 19), individualmente, observa-se que a RP do GT+AA apresenta valores que não diferem entre si para as camadas analisadas por causa da profundidade de trabalho até 0,42 m. O SPP teve a RP maior com aumento da profundidade, que pode estar associado ao aumento da densidade do solo. O GT+ESC, Grade GAM e ATCR para a RP nas camadas analisadas diferem significativamente, sendo que a camada de 0,30-0,40 m apresenta os maiores valores de RP.

Os valores de RP encontrados estão muito abaixo do limite indicado de 6,0 MPa para solos arenosos (Sene et al., 1985), portanto, verifica-se que não há camadas compactadas restritivas. Entretanto, a Ds e Pt têm seus valores semelhantes aos encontrados por Silva et al. (2002) e Cortez et al. (2011) ao estudarem estes atributos em ARGISSOLOS AMARELOS na região de Petrolina-PE, que variaram entre 1,46 a 1,50 Mg m⁻³ e 1,30 a 1,46 Mg m⁻³ para Ds e Pt variando de 0,42 a 0,44 m³ m⁻³ e 0,43 a 0,47 m³ m⁻³, respectivamente.

4.2.4. Geoestatística para a análise de resistência mecânica à penetração no perfil do solo

Para a análise da resistência mecânica à penetração (RP) no perfil do solo utiliza-se o semivariograma, pois conforme Faraco (2006), esta é uma técnica estatística que permite estudar a dispersão natural das variáveis regionalizadas, sendo construído para explicar o comportamento dessas variáveis numa dada direção. Portanto, torna-se importante a sua utilização, por causa da representação da dependência espacial que descreve a associação espacial dos pontos amostrais para as distâncias entre eles.

Para regionalizar a dispersão dos pontos amostrados promoveu-se a análise do semivariograma de RP perfil (Tabela 20), observa-se que o modelo esférico foi o

que melhor se ajustou para os sistemas de preparo e velocidades de deslocamento; tendo estes ajustes apresentado altas porcentagens de significância que pode ser observado por meio dos coeficientes de determinação (R^2) variando de 0,85 a 0,99.

O efeito pepita (Co) variou de 0,001 a 0,290; inferindo que o grau de dependência espacial (ADE) pode ser classificado conforme Zimback (2001) em forte, por estarem acima de 0,75 e uma vez que, os valores variam de 0,87 a 1,00. Como os valores do efeito pepita estão próximos a zero, aumenta-se a exatidão de estimativas por meio da krigagem estando de acordo com Vieira (2000), onde o autor explica que quanto menor a variação ao acaso, mais exata é a estimativa. O GT+AA foi o sistema que apresentou maiores valores de Co , variando de 0,090 a 0,290 enquanto que a Grade ATCR apresentou uma constância nos valores, 0,010; e na velocidade de 6,50 km h⁻¹ foi observado o maior valor médio de Co .

Tabela 20. Dados do semivariograma para a resistência mecânica do solo à penetração (RP) nas camadas de solo avaliadas para os sistemas de preparo (SP) em função das velocidades de deslocamento (VD).

Velocidades (VD)	Modelo	Co	Co + C	a (m)	R ²	SQR	ADE	Classe
Preparo (SP)								
GT + ESC								
2,45 km h ⁻¹	Esférico	0,001	2,69	0,56	0,85	1,130	1,00	Forte
3,88 km h ⁻¹	Esférico	0,184	1,60	0,54	0,93	0,110	0,88	Forte
5,72 km h ⁻¹	Esférico	0,060	2,09	0,51	0,96	0,090	0,97	Forte
6,50 km h ⁻¹	Esférico	0,060	3,52	0,53	0,99	0,050	0,98	Forte
GT + AA								
2,45 km h ⁻¹	Esférico	0,130	1,06	0,38	0,88	0,047	0,87	Forte
3,88 km h ⁻¹	Esférico	0,090	2,02	0,55	0,99	0,013	0,95	Forte
5,72 km h ⁻¹	Esférico	0,260	2,45	0,53	0,99	0,025	0,89	Forte
6,50 km h ⁻¹	Esférico	0,290	3,06	0,56	0,98	0,077	0,90	Forte
Grade GAM								
2,45 km h ⁻¹	Esférico	0,010	3,26	0,61	0,98	0,158	0,99	Forte
3,88 km h ⁻¹	Esférico	0,010	4,99	0,62	0,97	0,552	0,99	Forte
5,72 km h ⁻¹	Esférico	0,010	4,78	0,60	0,97	0,557	0,99	Forte
6,50 km h ⁻¹	Esférico	0,010	4,41	0,60	0,97	0,460	0,99	Forte
Grade ATCR								
2,45 km h ⁻¹	Esférico	0,010	3,82	0,55	0,96	0,451	0,99	Forte
3,88 km h ⁻¹	Esférico	0,010	4,10	0,52	0,98	0,185	0,99	Forte
5,72 km h ⁻¹	Esférico	0,010	4,17	0,52	0,95	0,707	0,99	Forte
6,50 km h ⁻¹	Esférico	0,039	2,65	0,53	0,98	0,089	0,98	Forte
SPP								
	Esférico	0,240	2,42	0,49	0,98	0,036	0,90	Forte

Co = efeito pepita; Co + C = patamar; a = alcance; R^2 = coeficiente de determinação; SQR = soma dos quadrados dos desvios; ADE = avaliador da dependência espacial. GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m; SPP: sem preparo primário.

Nos alcances (a) obtidos verifica-se uma variação entre 0,38-0,62 m, o que permite afirmar que a malha amostral poderia ser de no mínimo 0,38 m de distância horizontal, uma vez que foi utilizada a de distância de 0,15 m; ou seja, para a obtenção da mesma precisão dos dados amostrados, as malhas estudadas poderiam ter sido de no mínimo de 0,38 m e máximo de 0,62 m de distância entre os pontos horizontais amostrados ao longo da seção transversal de trabalho dos equipamentos agrícolas utilizados.

Nas Figuras 14, 15, 16, 17 e 18; são apresentados os gráficos do semivariograma em que os ajustes feitos por meio de análise citada como “a sentimento”, onde pode-se escolher o modelo e seus parâmetros utilizando-se dos pontos estimados e a melhor adequação visual gráfica, ou seja, observando-se a maior quantidade de pontos próximos ou sobre a curva.

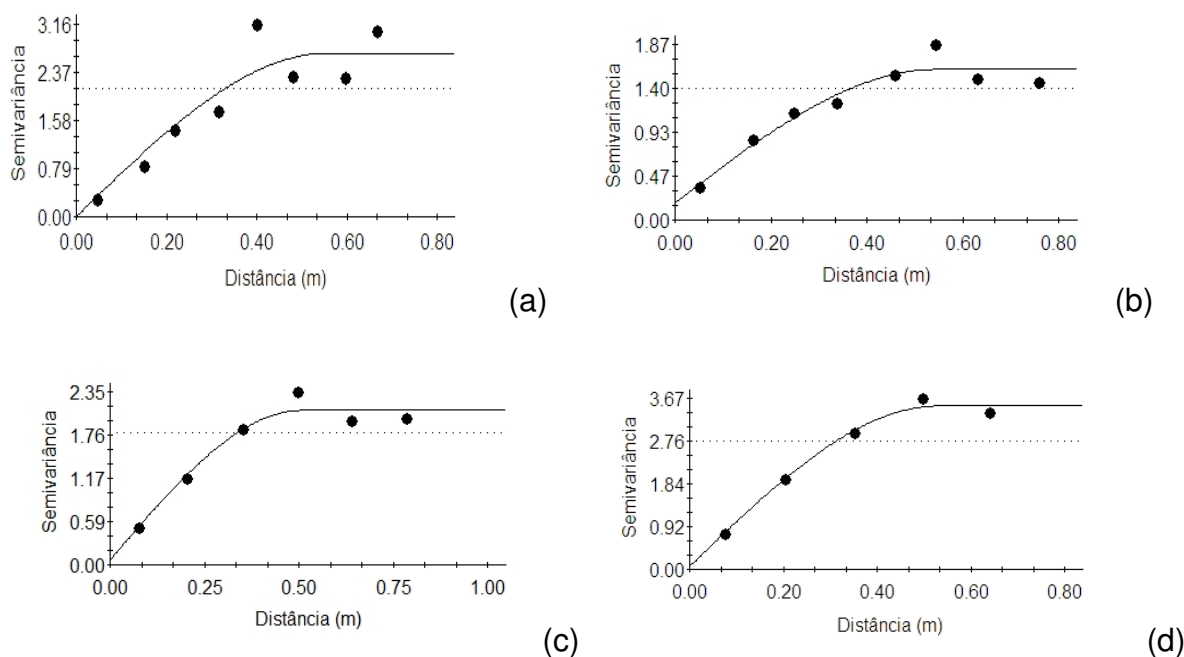


Figura 14. Semivariograma do escarificador (GT+ESC) para RP perfil (MPa) nas velocidades de deslocamento: (a) $2,45 \text{ km h}^{-1}$ (b) $3,88 \text{ km h}^{-1}$ (c) $5,72 \text{ km h}^{-1}$ e (d) $6,50 \text{ km h}^{-1}$.

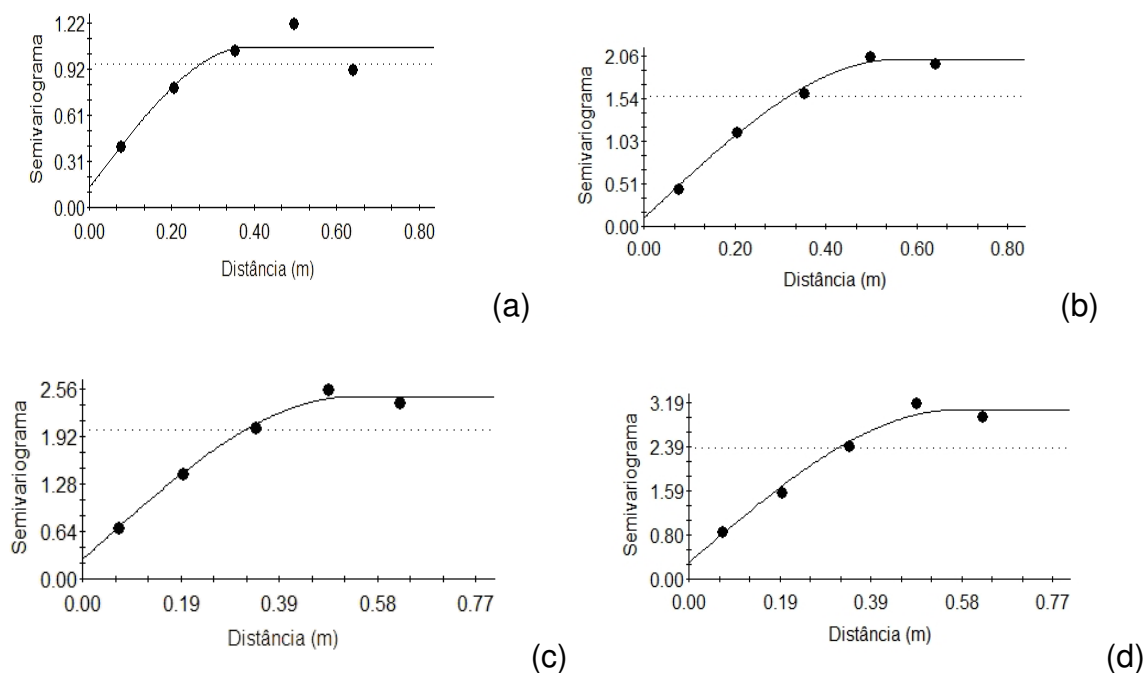


Figura 15. Semivariograma do arado de aivecas (GT+AA) para RP perfil (MPa) nas velocidades de deslocamento: (a) 2,45 km h⁻¹; (b) 3,88 km h⁻¹; (c) 5,72 km h⁻¹ e (d) 6,50 km h⁻¹.

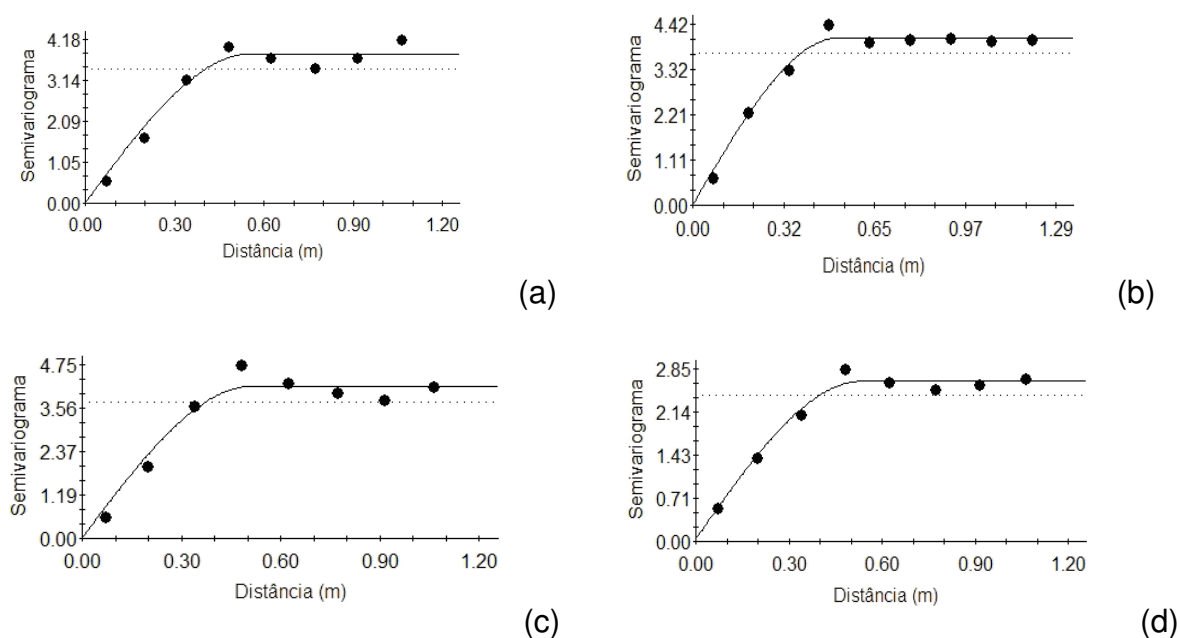


Figura 16. Semivariograma da grade *off-set* de discos de 0,56 m (Grade GAM) para RP perfil (MPa) nas velocidades de deslocamento: (a) 2,45 km h⁻¹; (b) 3,88 km h⁻¹; (c) 5,72 km h⁻¹ e (d) 6,50 km h⁻¹.

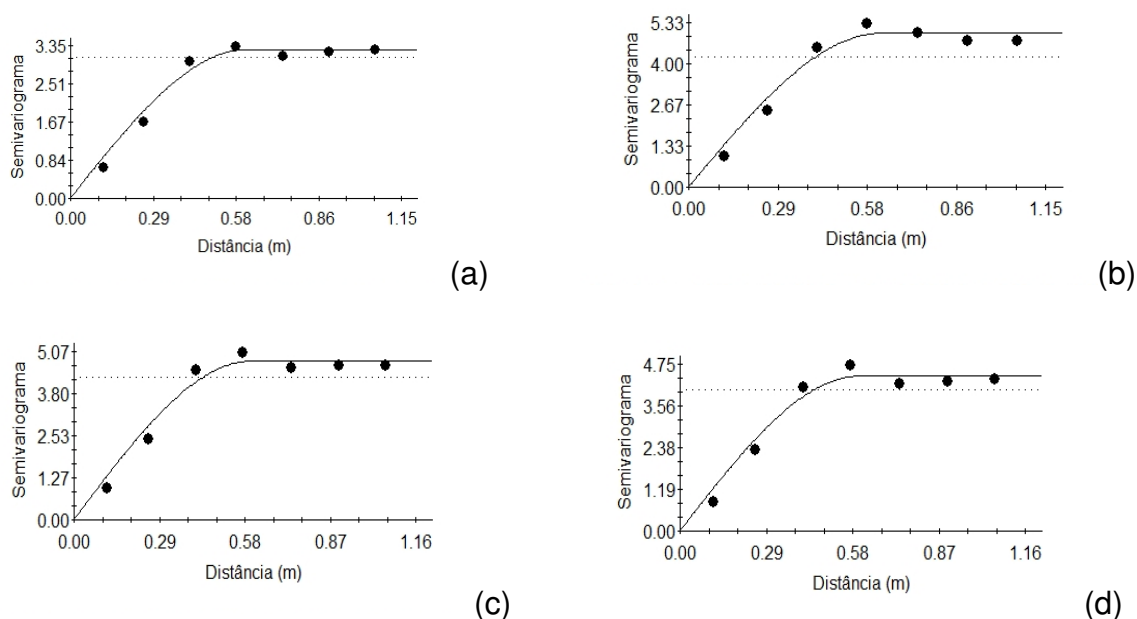


Figura 17. Semivariograma da grade *off-set* de discos de 0,61 m (Grade ATCR) para RP perfil (MPa) nas velocidades de deslocamento: (a) 2,45 km h⁻¹; (b) 3,88 km h⁻¹; (c) 5,72 km h⁻¹ e (d) 6,50 km h⁻¹.

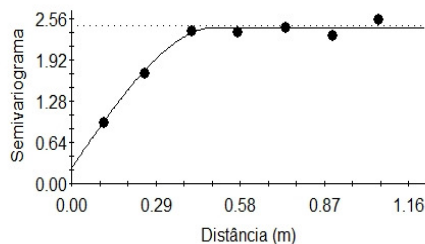


Figura 18. Semivariograma do sistema sem preparo primário (SPP) para RP perfil (MPa).

Na avaliação dos erros de estimativa promoveu-se a validação cruzada dos dados de RP, permitindo a comparação de valores, estimados e amostrados, por meio das informações disponíveis (Tabela 21).

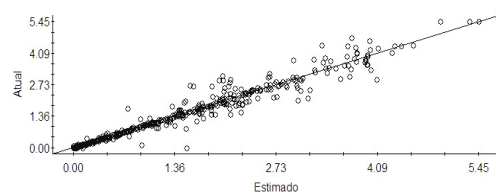
Verifica-se que os coeficientes angulares nos sistemas de preparo do solo para as quatro velocidades de deslocamento apresentam-se próximos ou iguais a 1,0; o que indica proporcionalidade entre os valores amostrados e estimados conforme afirmado por Carvalho et al. (2006).

Pode-se observar, ainda, que o coeficiente de determinação (R^2) foi elevado para as velocidades de deslocamento que apresentaram valor igual a 1,0 para o coeficiente angular e a intersecção (A) mais próxima de zero; por isso nas Figuras 19, 20, 21, 22 e 23 não é observada variação expressiva da reta.

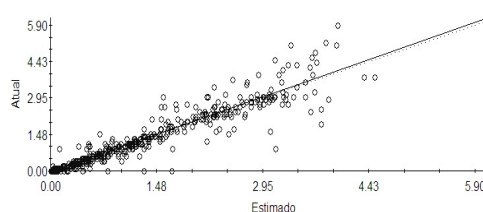
Tabela 21. Dados da validação cruzada para a resistência mecânica à penetração do solo (RP) nas camadas de solo avaliadas para os sistemas de preparo do solo (SP) em função das velocidades de deslocamento (VD).

Velocidades (VD)	Validação cruzada		
	R ²	A	b
Preparo (SP)			
GT + ESC			
2,45 km h ⁻¹	0,97	-0,001	1,00
3,88 km h ⁻¹	0,90	-0,027	1,02
5,72 km h ⁻¹	0,88	0,017	0,98
6,50 km h ⁻¹	0,96	-0,013	1,01
GT + AA			
2,45 km h ⁻¹	0,86	-0,025	1,03
3,88 km h ⁻¹	0,97	-0,017	1,02
5,72 km h ⁻¹	0,89	-0,033	1,03
6,50 km h ⁻¹	0,94	-0,031	1,03
Grade GAM			
2,45 km h ⁻¹	0,96	0,016	0,99
3,88 km h ⁻¹	0,97	-0,004	1,00
5,72 km h ⁻¹	0,96	-0,010	1,00
6,50 km h ⁻¹	0,98	-0,003	1,00
Grade ATCR			
2,45 km h ⁻¹	0,97	-0,001	1,00
3,88 km h ⁻¹	0,97	-0,004	1,00
5,72 km h ⁻¹	0,96	-0,010	1,00
6,50 km h ⁻¹	0,98	-0,003	1,00
SPP			
	0,91	-0,027	1,01

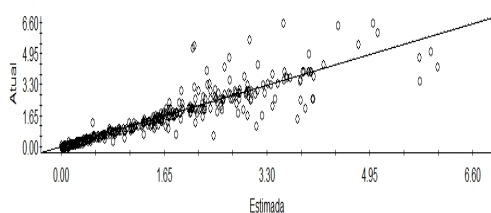
R² = coeficiente de determinação; A = intersecção; b = coeficiente angular. GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m; SPP: sem preparo primário.



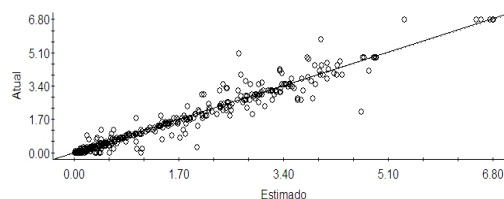
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 19. Validação cruzada da Krigagem para RP (MPa) do escarificador (GT + ESC) nas velocidades de deslocamento: (a) 2,45 km h⁻¹; (b) 3,88 km h⁻¹; (c) 5,72 km h⁻¹ e (d) 6,50 km h⁻¹.

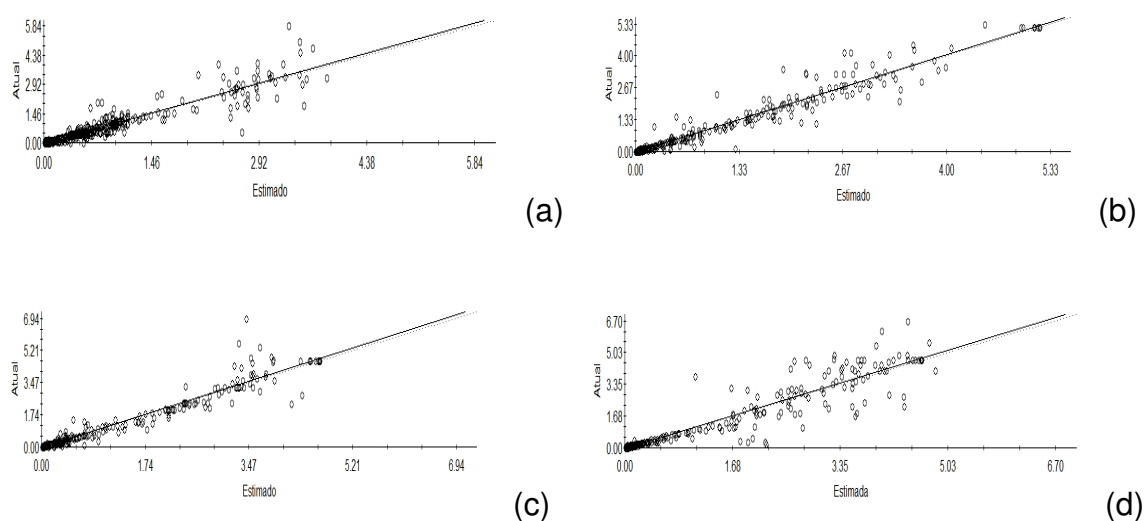


Figura 20. Validação cruzada da Krigagem para RP (MPa) do arado de aivecas (GT+AA) nas velocidades de deslocamento: (a) 2,45 km h⁻¹; (b) 3,88 km h⁻¹; (c) 5,72 km h⁻¹ e (d) 6,50 km h⁻¹.

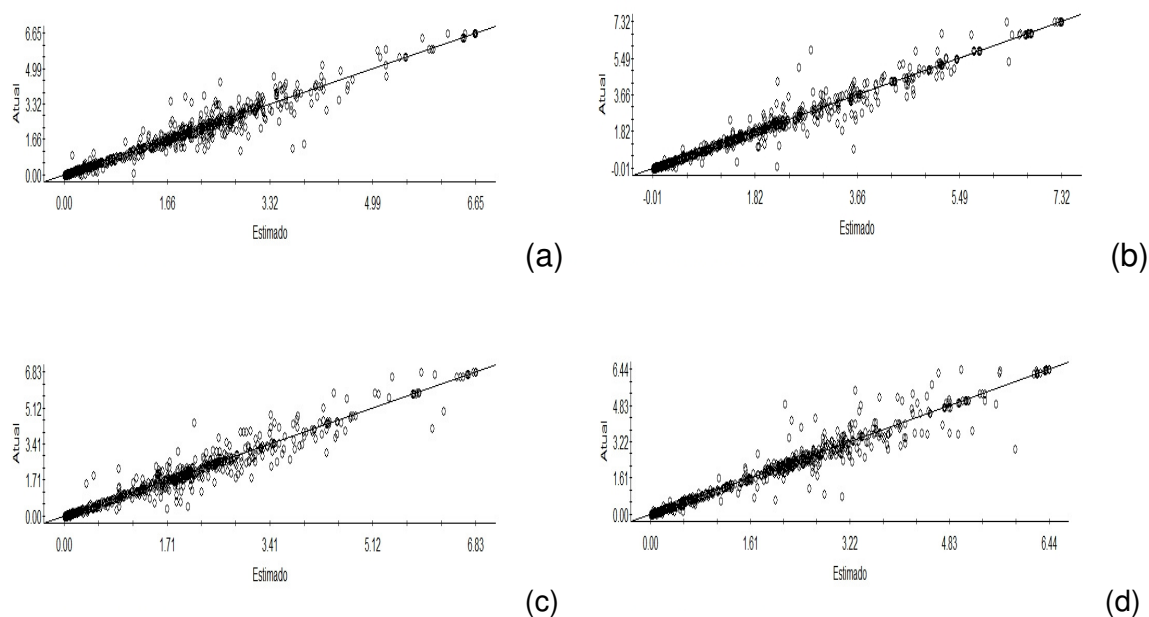


Figura 21. Validação cruzada da Krigagem para RP (MPa) da grade *off-set* de discos de 0,56 m (Grade GAM) nas velocidades de deslocamento: (a) 2,45 km h⁻¹; (b) 3,88 km h⁻¹; (c) 5,72 km h⁻¹ e (d) 6,50 km h⁻¹.

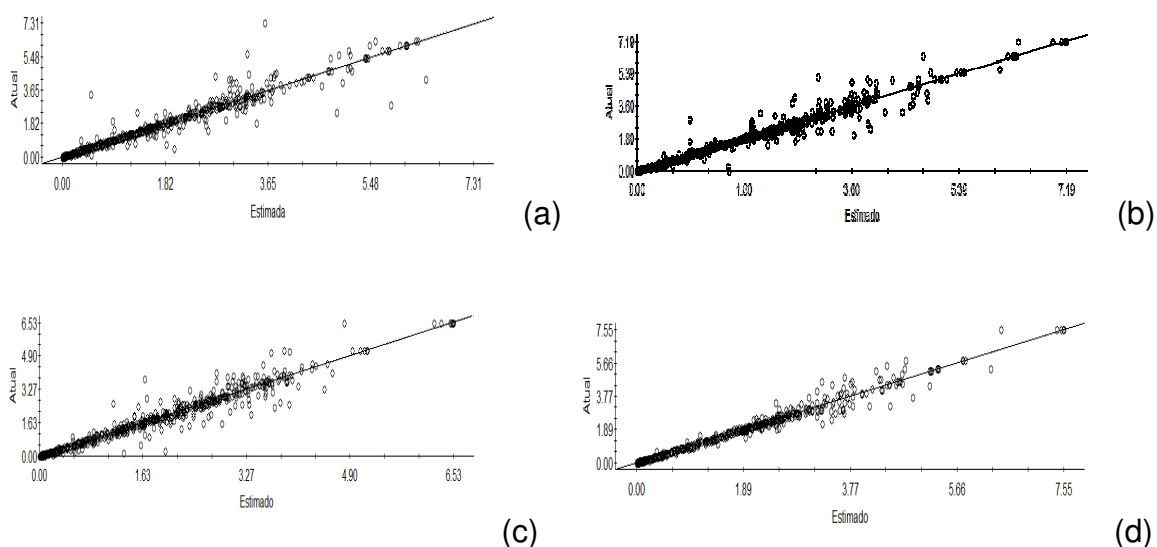


Figura 22. Validação cruzada da Krigagem para RP (MPa) da grade *off-set* de discos de 0,61 m (Grade ATCR) nas velocidades de deslocamento: (a) 2,45 km h⁻¹; (b) 3,88 km h⁻¹; (c) 5,72 km h⁻¹ e (d) 6,50 km h⁻¹.

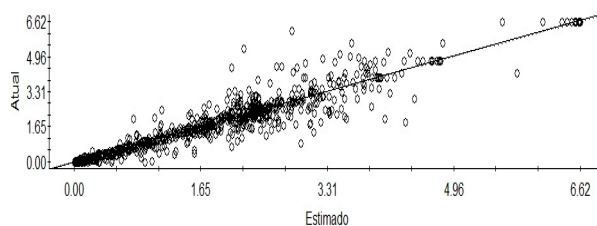


Figura 23. Validação cruzada da Krigagem para RP (MPa) do sistema sem preparo primário (SPP).

Os mapas de isolinhas construídos por meio da interpolação por krigagem para a representação da RP nos sistemas de preparo do solo para velocidades de deslocamento são apresentados nas Figuras 24, 25, 26, 27 e 28 estando os valores de RP agrupados em 05 classes de cores de ordem crescente.

Com os mapas podem-se verificar os padrões de RP no perfil do solo após o preparo do solo com diferentes equipamentos e velocidades de deslocamento; com isto, predizer qual o sistema de preparo do solo mais eficiente para a mobilização do solo sem que haja ocorrência de formação de camada compactada e/ou depauperamento dos atributos do solo.

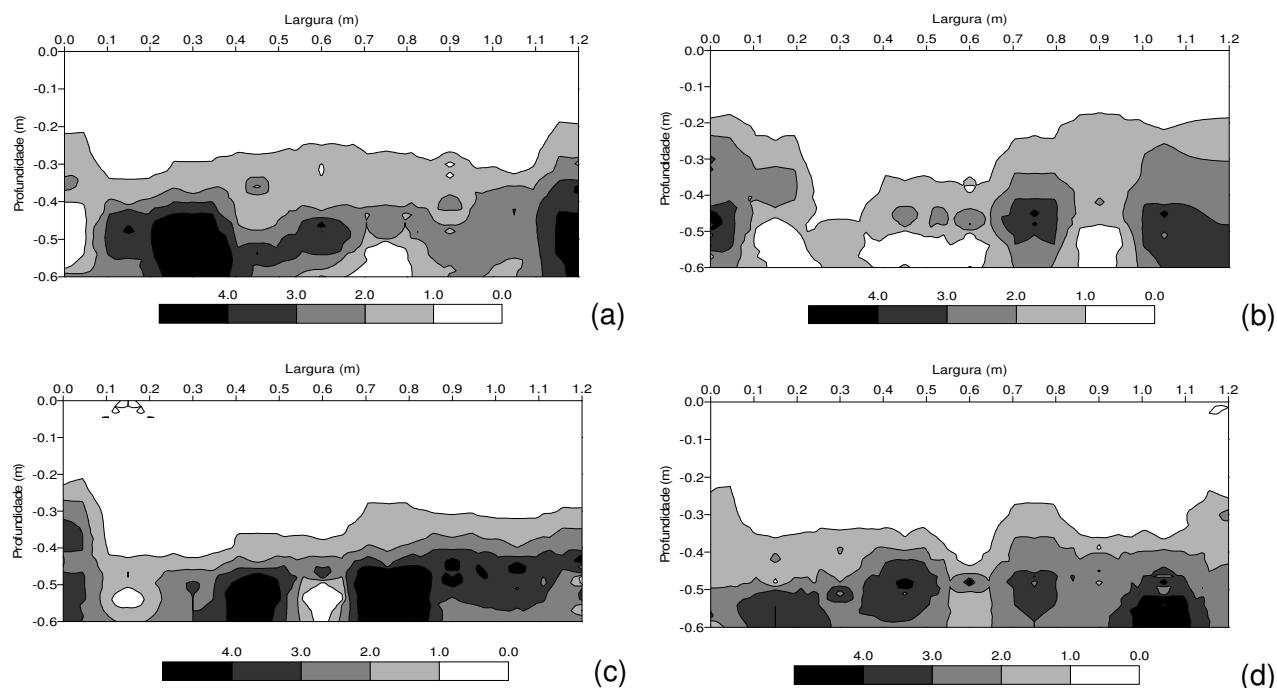


Figura 24. Mapas de isolinhas do escarificador (GT + ESC) para RP perfil (MPa) nas velocidades de deslocamento: (a) $2,45 \text{ km h}^{-1}$ (b) $3,88 \text{ km h}^{-1}$ (c) $5,72 \text{ km h}^{-1}$ e (d) $6,50 \text{ km h}^{-1}$

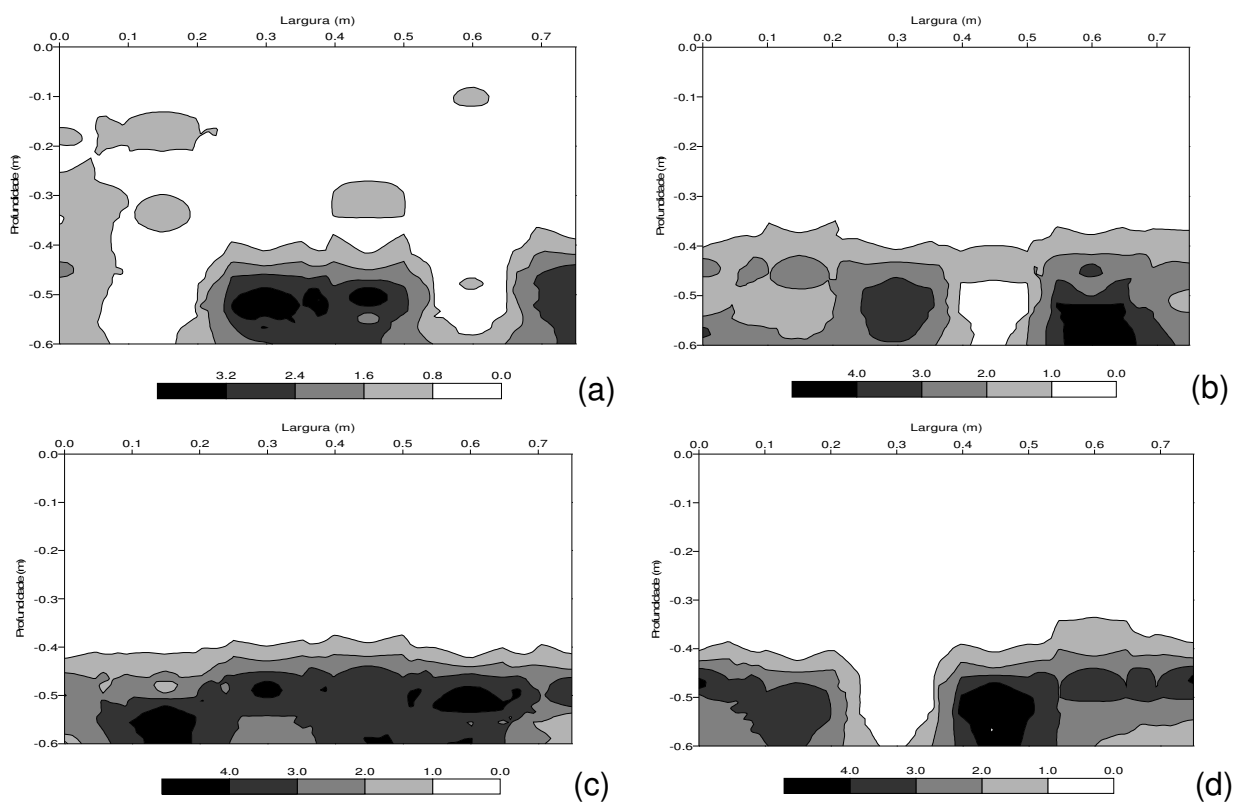


Figura 25. Mapas de isolinhas do arado de aivecas (GT + AA) para RP perfil (MPa) nas velocidades de deslocamento: (a) $2,45 \text{ km h}^{-1}$; (b) $3,88 \text{ km h}^{-1}$; (c) $5,72 \text{ km h}^{-1}$ e (d) $6,50 \text{ km h}^{-1}$.

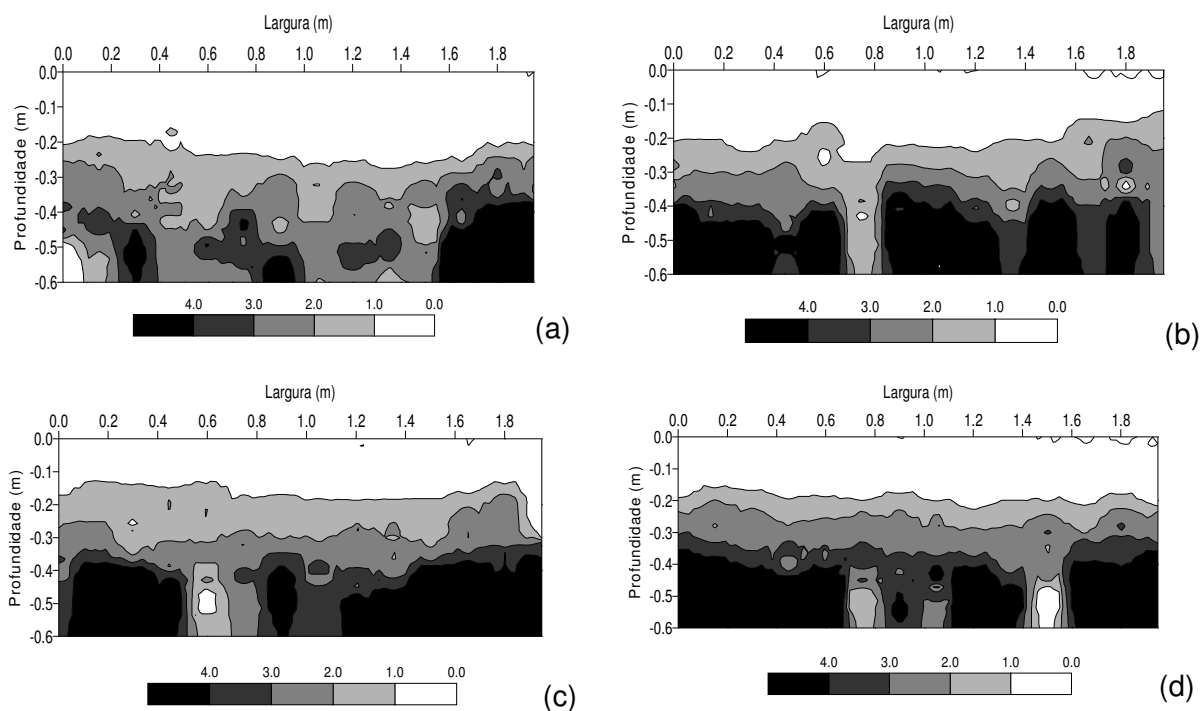


Figura 26. Mapas de isolinhas da grade *off-set* de discos de 0,56 m (Grade GAM) para RP perfil (MPa) nas velocidades de deslocamento: (a) 2,45 km h⁻¹; (b) 3,88 km h⁻¹; (c) 5,72 km h⁻¹ e (d) 6,50 km h⁻¹.

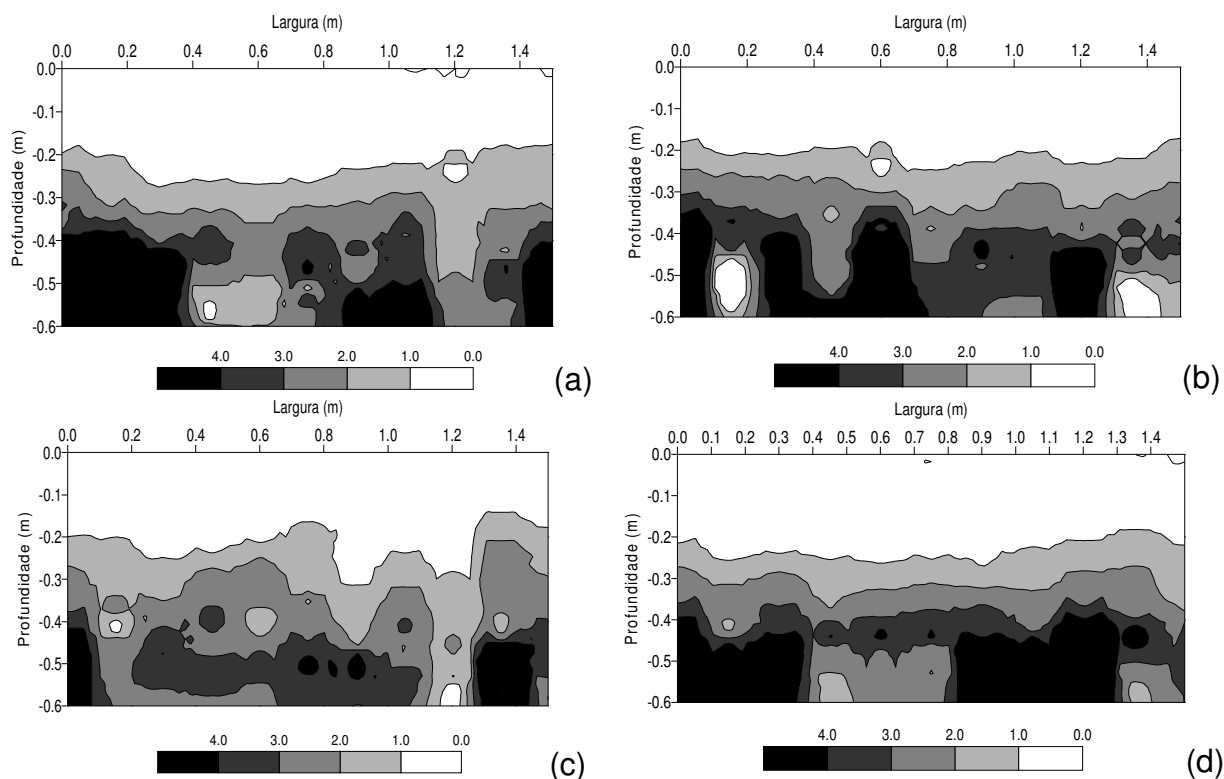


Figura 27. Mapas de isolinhas da grade *off-set* de discos de 0,61 m (Grade ATCR) para RP perfil (MPa) nas velocidades de deslocamento: (a) 2,45 km h⁻¹; (b) 3,88 km h⁻¹; (c) 5,72 km h⁻¹ e (d) 6,50 km h⁻¹.

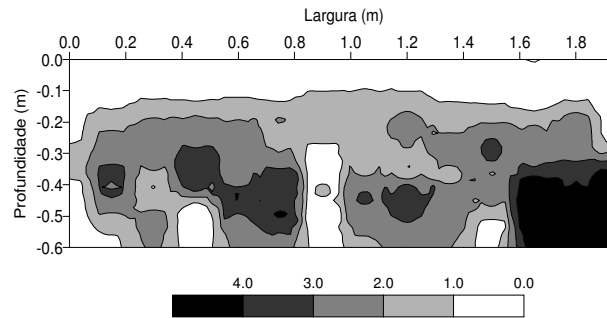


Figura 28. Mapa de isolinhas do sistema sem preparo primário (SPP) para RP perfil (MPa).

A partir desses mapas, também se pode verificar que a RP aumenta, à medida que a profundidade aumenta; provavelmente, devido à acomodação natural das argilas do solo, a gradual diminuição da matéria orgânica e da atividade microbiológica ao longo do perfil. Além, disso, os equipamentos com maior profundidade efetiva promoveram rompimento dessas zonas compactadas; enquanto que os equipamentos de maior largura efetiva propiciaram maior uniformização superficial da área mobilizada.

As grades *off-set* por possuírem órgãos ativos de menor penetração no solo, tem em seus mapas de isolinhas maior presença de zonas escuras, indicando aumento dos valores de RP, estando portanto de acordo com estudos de Tormena (2002) e Azevedo (2004). Em solos arenosos conforme Sene et al. (1985), o valor limite é de 6,0 MPa, ou seja, para as grades *off-set* considerando os valores encontrados pode-se verificar que estes estão abaixo deste valor limite.

Por meio dos mapas de isolinhas, é possível observar os equipamentos e suas respectivas profundidades de trabalho, sendo que o GT+ESC e GT+AA trabalharam abaixo de 0,30 e 0,40 m, respectivamente; enquanto, as grades *off-set* em torno de 0,20 m, e o SPP que teve o preparo com grade *tandem* (preparo secundário) foi menor que 0,15 m; com isto, atendem as regulagens pré-definidas.

Os valores de RP encontrados não restringem o desenvolvimento radicular do sorgo forrageiro BRS 610. Mas, todavia, deve-se atentar para o manejo da irrigação, uma vez que o horizonte B textural do ARGISSOLO AMARELO possui teor de argila maior que o horizonte A e com isto, podendo dificultar a infiltração da água resultando em saturação da camada superficial. Em áreas declivosas, pode ocorrer aceleração do processo de perdas de solo por erosão, quando mobilizados, sendo seu uso mais adequado para o cultivo de culturas perenes.

4.3. Parâmetros relacionados à planta - sorgo forrageiro BRS 610

4.3.1. Emergência de plântulas, estande - inicial e final e plantas sobreviventes

Os diferentes sistemas de manejo podem provocar alterações nas culturas; desta forma, tem-se os valores da germinação e estande de plantas de sorgo forrageiro BRS 610 (Tabela 22) para os sistemas de preparo e velocidades de deslocamento. A emergência e o estande (inicial, final e plantas sobreviventes (PS)) não foram significativos ($P > 0,05$) para os sistemas de preparo do solo e para a interação sistemas de preparo do solo com as velocidades de deslocamento; enquanto que as velocidades de deslocamento foram significativas para a porcentagem de plantas sobreviventes ($P \leq 0,05$).

Tabela 22. Números médios de dias para emergência de plântulas, estande e de plantas sobreviventes em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD).

Fatores	Emergência		Estande		Plantas sobreviventes
	NDE	Inicial ¹	Final ¹	%	
Preparo (SP)					
GT + ESC	4,17 a	130 a	114 a	88,84 a	
GT + AA	3,95 a	141 a	127 a	91,38 a	
Grade GAM	3,98 a	122 a	104 a	82,98 a	
Grade ATCR	4,07 a	143 a	118 a	82,57 a	
SPP	4,14 a	101 a	76 a	75,22 a	
Velocidades (VD)					
2,45 km h ⁻¹	4,07 a	125 a	98 a	75,55 b	
3,88 km h ⁻¹	4,22 a	124 a	110 a	88,74 a	
5,72 km h ⁻¹	4,01 a	130 a	109 a	84,87 ab	
6,50 km h ⁻¹	3,95 a	131 a	115 a	87,64 a	
TESTE DE F					
SP	0,23 ^{ns}	2,69 ^{ns}	2,47 ^{ns}	1,15 ^{ns}	
VD	0,49 ^{ns}	0,17 ^{ns}	1,05 ^{ns}	3,73 [*]	
Interação SP x VD	1,01 ^{ns}	1,93 ^{ns}	1,68 ^{ns}	1,31 ^{ns}	
CV (SP)	19,42	32,63	46,94	27,81	
CV (VD)	18,35	27,01	29,35	16,46	

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$); CV: coeficiente de variação (%); NDE: nº médio de dias para a emergência de plântulas; ¹: unidades de plantas/m. GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m; SPP: sem preparo primário.

A porcentagem de plantas sobreviventes foi menor na velocidade de 2,45 km h⁻¹ quando comparados as velocidades de 3,88 e 6,50 km h⁻¹ não diferindo

para a velocidade de 5,72 km h⁻¹. A análise de regressão das plantas sobreviventes (%) em função das velocidades de deslocamento não foi significativa ao Teste de F (P>0,05).

4.3.2. Altura de plantas e diâmetro de colmo

Aos 30, 60, 90 e 110 dias após emergência (DAE), a altura de plantas (Tabela 23) foi significativa para os sistemas de preparo (P≤0,01) e para as velocidades de deslocamento (P≤0,01 e P≤0,05). Na interação sistemas de preparo e velocidades de deslocamento, a altura de plantas aos 30 e 90 DAE foi significativa (P≤0,01); no entanto os valores médios de altura de plantas de sorgo são inferiores ao obtidos por Santos et al. (2011) que encontraram valores de médios de 2,10 m para a mesma cultivar em experimento desenvolvido na região de Petrolina/PE.

Tabela 23. Altura de plantas e diâmetro de colmo do sorgo BRS 610 em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD).

Fatores	Altura do sorgo BRS 610				Diâmetro de colmo (mm)
	(m)				
Preparo (SP)	30 DAE	60 DAE	90 DAE	110 DAE	
GT+ ESC	0,49 b	0,99 b	1,76 b	1,82 b	12,87 ab
GT + AA	0,66 a	1,30 a	2,06 a	2,04 a	13,02 ab
Grade GAM	0,47 b	0,98 b	1,80 b	1,79 b	13,43 ab
Grade ATCR	0,53 b	1,01 b	1,79 b	1,79 b	12,12 b
SPP	0,44 b	0,91 b	1,73 b	1,84 b	15,30 a
Velocidades (VD)					
2,45 km h ⁻¹	0,45 b	0,92 b	1,77 a	1,78 a	13,60 a
3,88 km h ⁻¹	0,54 a	1,08 a	1,88 a	1,88 a	13,86 a
5,72 km h ⁻¹	0,54 a	1,07 a	1,81 a	1,88 a	13,19 a
6,50 km h ⁻¹	0,54 a	1,08 a	1,86 a	1,87 a	12,73 a
TESTE DE F					
SP	14,87 **	15,13 **	8,93 **	7,72 **	3,91 *
VD	12,05 **	9,30 **	2,83 *	2,94 *	1,69 ns
Interação SP x VD	2,19 **	1,63 ns	2,61 **	0,54 ns	0,77 ns
CV (SP)	16,91	14,80	9,53	8,30	18,02
CV (VD)	11,22	10,66	7,07	7,03	12,68

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo (P>0,05); *: significativo (P≤0,05); **: significativo (P≤0,01); CV: coeficiente de variação (%); DAE: dias após emergência. GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m; SPP: sem preparo primário.

O diâmetro de colmo (Tabela 23) foi significativo ($P \leq 0,05$) para os sistemas de preparo, enquanto que para as velocidades de deslocamento e a interação sistemas de preparo e velocidades de deslocamento não foram significativas ($P > 0,05$).

Pode-se observar que a altura de plantas do sorgo (Tabela 23) nos sistemas de preparo com escarificador (GT+ESC), grades *off-set* de discos de 0,56m e 0,61m (Grades GAM e ATCR) e no sem preparo primário (SPP) não apresentaram diferenças estatísticas; enquanto que, o arado de aivecas (GT+AA) apresentou o maior valor de altura desde os 30 até 110 DAE. Quanto às velocidades de deslocamento pode-se verificar na velocidade de 2,45 km h⁻¹ para 30 e 60 DAE, menores valores de altura enquanto que nas demais velocidades e DAE não houve diferença significativa. Entretanto, para todas as velocidades de deslocamento aos 90 e 110 DAE pode-se observar que não houve variação como a observada aos 30 e 60 DAE. As diferenças observadas aos 30 e 60 DAE, pode ser resultado da influência da adubação de cobertura, pois conforme Rabelo et al. (2012), o sorgo é uma cultura que se apresenta altamente responsiva a adubação com NPK, notando-se o acréscimo de 1 cm para cada 1 g m⁻¹ linear de NPK aplicado. Pode-se afirmar, também, que o híbrido BRS 610 estabiliza a altura por volta de 90 dias após a emergência.

Para o diâmetro de colmo do sorgo (Tabela 23) observa-se, também, que o SPP foi o que apresentou o maior diâmetro de colmo em comparação com a Grade ATCR, provavelmente devido ao menor estande final; e os demais sistemas obtiveram valores intermediários e estatisticamente semelhantes. Albuquerque et al. (2009) ao avaliarem diâmetro de colmo do sorgo encontraram resultado em que houve aumento no diâmetro de colmo com a redução da população de planta independentemente dos genótipos e espaçamentos utilizados, e diferindo de Andrade et al. (2011), uma vez que, utilizaram-se de diferentes fontes de nutrientes para avaliar o diâmetro de colmo e também de Avelino et al. (2011) que encontraram valor médio de diâmetro de colmo igual a 15,20 mm para os híbridos estudados. No presente estudo, nas velocidades de deslocamento avaliadas, o diâmetro de colmo para cultura do sorgo não foi significativo e tendo os valores obtidos abaixo dos encontrados por Avelino et al. (2011).

Na interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (Tabela 24) para altura de plantas aos 30 DAE. Pode-se observar para os sistemas de preparo, individualmente, que o GT+AA não difere significativamente para as quatro velocidades de deslocamento estudadas; assim, como também pode ser observado para a Grade ATCR e SPP. O GT+ESC obteve a menor altura de planta para a velocidade de 2,45 km h⁻¹, não diferenciando estatisticamente nas velocidades de 5,72 e 6,50 km h⁻¹ na comparação com os demais sistemas de preparo.

Para as velocidades de deslocamento (Tabela 24), individualmente, observa-se que nas velocidades de 2,45 e 5,72 km h⁻¹, o GT+AA com os melhores resultados de altura de plantas em relação aos demais sistemas de preparo estudados; na velocidade de 3,88 km h⁻¹, a Grade GAM e SPP, não diferem entre si e apresentam os menores valores de altura de planta em relação ao GT+AA enquanto que na velocidade de 6,50 km h⁻¹, o GT+ESC, Grade GAM e SPP apresentam os menores valores quando comparados com o GT+AA.

Tabela 24. Desdobramento da interação sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD) para a altura do sorgo BRS 610 aos 30 dias após emergência.

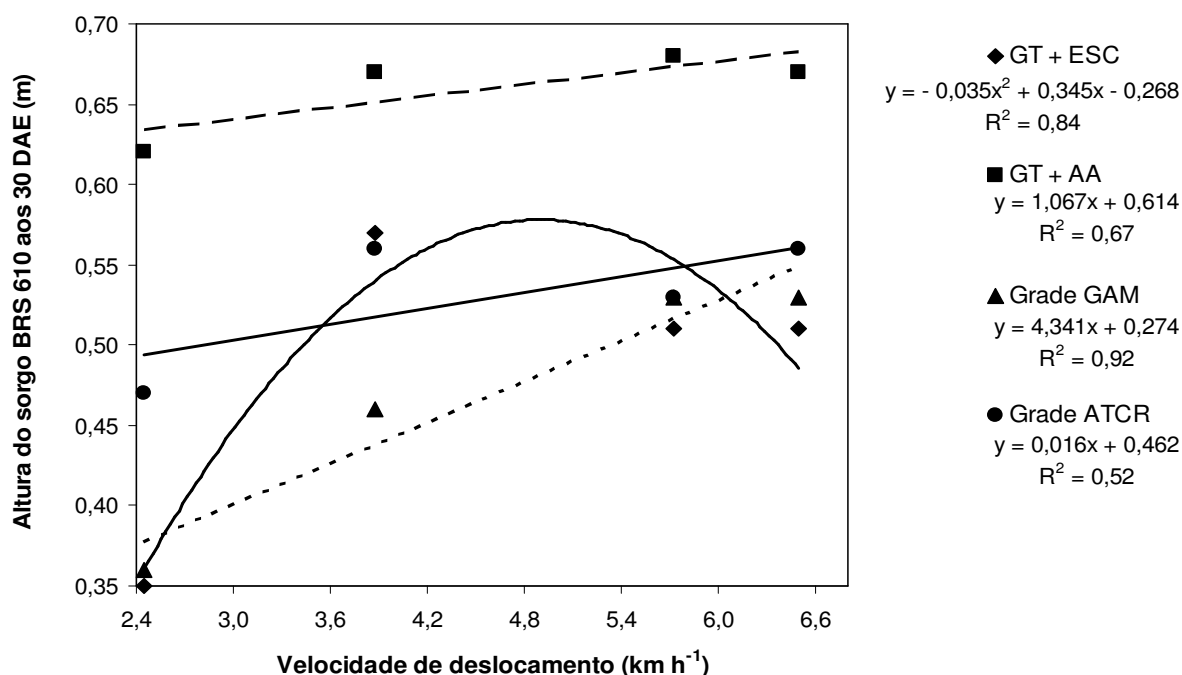
Preparo	Altura do sorgo BRS 610 aos 30 DAE (m)			
	Velocidades (km h ⁻¹)			
	2,45	3,88	5,72	6,50
GT + ESC	0,35 bB	0,57 abA	0,51 bA	0,51 bA
GT + AA	0,62 aA	0,67 aA	0,68 aA	0,67 aA
Grade GAM	0,36 bB	0,46 bAB	0,53 bA	0,53 bA
Grade ATCR	0,47 bA	0,56 abA	0,53 bA	0,56 abA
SPP	0,44 bA	0,44 bA	0,44 bA	0,44 bA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na COLUNA e maiúscula na LINHA não diferem entre si pelo teste de TUKEY a 5% de probabilidade. GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m; SPP: sem preparo primário.

Provavelmente, os valores obtidos corroborem com os de Nascimento (2008), que concluiu que o crescimento das plantas de sorgo forrageiro é afetado acentuadamente pela baixa disponibilidade de água; uma vez que, o solo foi preparado com diferentes equipamentos e a existência de um sistema sem preparo primário, resultando em diferentes meios de infiltração e armazenamento de água no solo. Outros trabalhos como o de Andrade Neto et al. (2010) verificaram que plantas de sorgo tiveram o aumento da altura de forma semelhante para todos

os tratamentos e que a testemunha proporcionou os menores valores; e de Albuquerque et al. (2009) quando avaliaram altura do sorgo em diferentes espaçamentos entre fileira e densidade de semeadura.

Pode-se verificar que o GT+AA e as Grades GAM e ATCR apresentam comportamento que descrevem aumento da altura com o incremento da velocidade (Figura 29), portanto, a equação linear com R^2 igual a 0,67; 0,92 e 0,52; respectivamente; ser a equação que melhor representa este comportamento. Enquanto que o GT+ESC, o comportamento crescente e decrescente pode ser melhor representado por uma equação quadrática com R^2 igual a 0,84.



GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m.

Figura 29. Altura do sorgo BRS 610 aos 30 DAE para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).

A representação das velocidades de deslocamento para os valores de altura medidos aos 60 DAE (Figura 30); pode-se observar que com o incremento da velocidade ocorre aumento nos valores de altura, por isso, a equação linear com R^2 igual a 0,64 representa melhor esta situação.

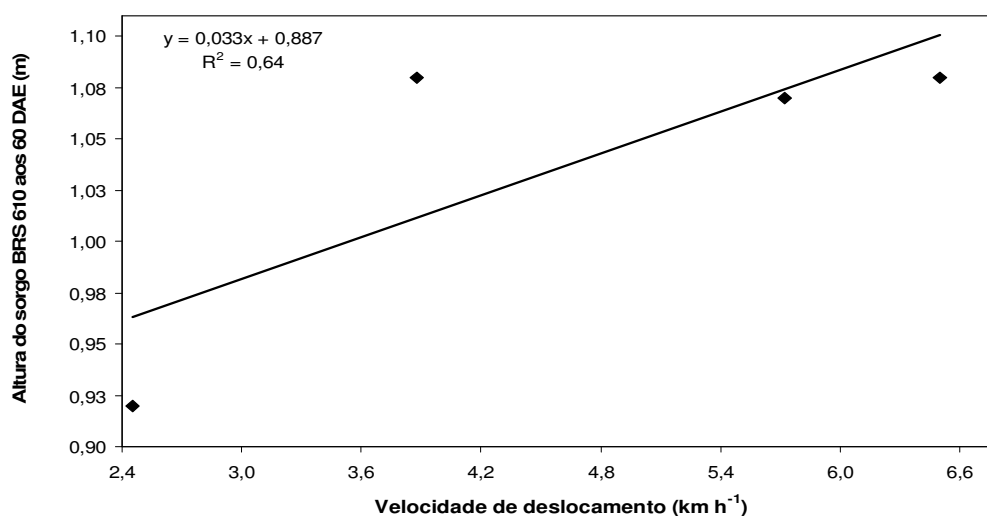


Figura 30. Altura do sorgo BRS 610 aos 60 DAE em função das velocidades de deslocamento (VD).

Na interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (Tabela 25) para altura de planta aos 90 DAE. Pode-se observar para os sistemas de preparo, individualmente, que o GT+ESC apresenta menor valor de altura de planta na velocidade de 2,45 km h⁻¹ e não diferindo nas demais velocidades de deslocamento; entretanto, o GT+AA, Grades GAM e STCR e SPP não diferem estatisticamente para as velocidades de deslocamento estudadas.

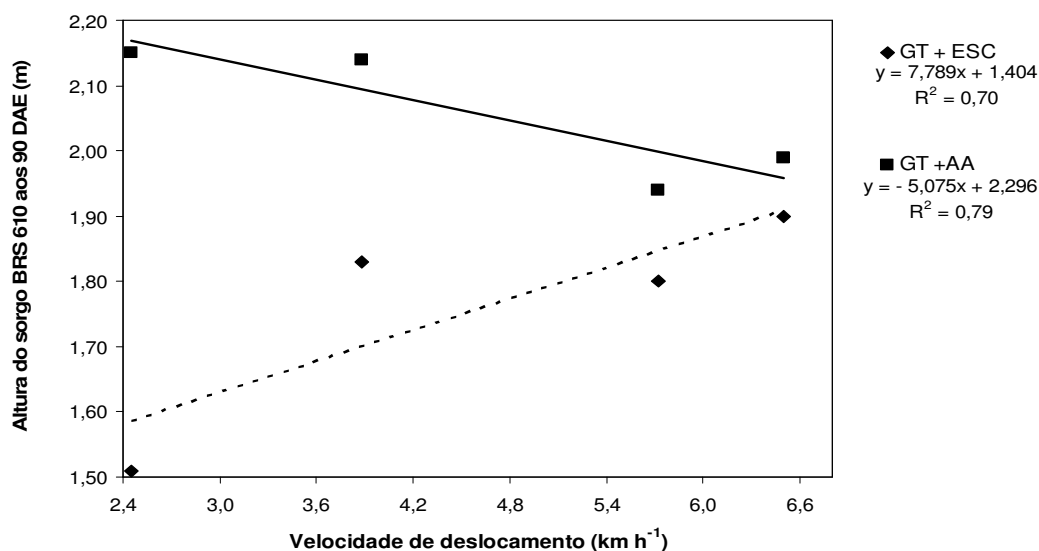
Para as velocidades de deslocamento (Tabela 25), individualmente, observa-se que nas velocidades de 2,45 e 3,88 km h⁻¹, o GT+AA com os melhores resultados de altura de plantas em comparação com os demais sistemas de preparo e que os mesmos não apresentam diferença significativa. Nas velocidades de 5,72 e 6,50 km h⁻¹, os sistemas de preparo do solo não diferem estatisticamente.

Tabela 25. Desdobramento da interação sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD) para a altura do sorgo BRS 610 aos 90 dias após emergência.

Preparo	Altura do sorgo BRS 610 aos 90 DAE (m)			
	Velocidades (km h ⁻¹)			
	2,45	3,88	5,72	6,50
GT + ESC	1,51 bB	1,83 bA	1,80 aA	1,90 aA
GT + AA	2,15 aA	2,14 aA	1,94 aA	1,99 aA
Grade GAM	1,71 bA	1,82 bA	1,90 aA	1,78 aA
Grade ATCR	1,73 bA	1,85 bA	1,68 aA	1,89 aA
SPP	1,73 bA	1,73 bA	1,73 aA	1,73 aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na COLUNA e maiúscula na LINHA não diferem entre si pelo teste de TUKEY a 5% de probabilidade. GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m; SPP: sem preparo primário.

O GT+AA apresenta decréscimo para altura aos 90 DAE com o incremento da velocidade (Figura 31), portanto, a melhor representação ser a equação linear com R^2 igual a 0,79. No entanto, o GT+ESC apresentou comportamento crescente, onde para explicar tal fenômeno tem-se a equação linear com R^2 igual a 0,70.



GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas.

Figura 31. Altura do sorgo BRS 610 aos 90 DAE para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).

Na análise de regressão da altura do sorgo forrageiro BRS 610 aos 110 DAE em função das velocidades de deslocamento (Figura 32), verifica-se o comportamento crescente-decrescente da altura conforme o incremento da velocidade; assim, a equação quadrática com R^2 igual a 0,98, a que melhor representa esta situação ascendente-descendente.

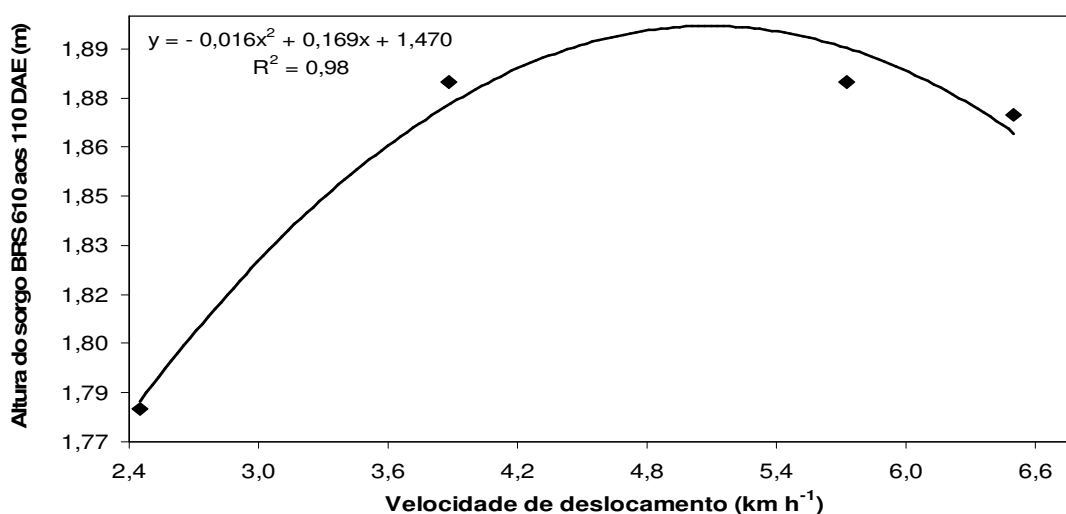


Figura 32. Altura do sorgo BRS 610 aos 110 DAE em função das velocidades de deslocamento (VD).

4.3.3. Biomassa verde e seca

A biomassa representa a quantidade de material orgânico vegetal produzido numa determinada área. Para os valores médios de biomassa verde e seca do sorgo forrageiro BRS 610 em função dos sistemas de preparo e velocidades de deslocamento (Tabela 26), tem-se aos 60 DAE valores significativos ($P \leq 0,01$), enquanto que aos 90 e 110 DAE, a biomassa tanto verde quanto seca não foi significativa ($P > 0,05$) para os sistemas de preparo do solo.

As velocidades de deslocamento foram significativas ($P \leq 0,05$) para a biomassa verde aos 90 DAE e seca aos 60 DAE; para os demais DAE da biomassa, as velocidades de deslocamento não foram significativas ($P > 0,05$). Quanto à interação sistemas de preparo e velocidades de deslocamento, apenas aos 90 DAE a biomassa verde foi significativa ($P \leq 0,05$), ao passo que as demais interações e DAE não foram significativas ($P > 0,05$).

Tabela 26. Biomassa verde e seca do sorgo BRS 610 em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD).

Fatores	Biomassa (Mg ha ⁻¹)					
	Verde			Seca		
	60 DAE	90 DAE	110 DAE	60 DAE	90 DAE	110 DAE
Preparo (SP)						
GT + ESC	43,82 b	59,99 a	65,11 a	20,32 b	28,98 a	30,14 a
GT + AA	73,57 a	79,22 a	85,92 a	35,42 a	40,36 a	41,89 a
Grade GAM	45,37 b	60,88 a	63,56 a	21,41 b	29,56 a	32,84 a
Grade ATCR	51,42 b	60,59 a	65,49 a	23,60 b	29,52 a	34,63 a
SPP	45,37 b	69,02 a	66,50 a	21,62 b	34,00 a	32,50 a
Velocidades (VD)						
2,45 km h ⁻¹	45,08 a	60,34 b	65,02 a	20,43 b	30,11 a	30,52 a
3,88 km h ⁻¹	56,50 a	66,59 ab	69,99 a	26,41 a	32,40 a	36,08 a
5,72 km h ⁻¹	55,58 a	70,92 a	72,03 a	26,96 a	35,13 a	34,80 a
6,50 km h ⁻¹	50,49 a	65,90 ab	70,21 a	24,09 ab	32,29 a	36,20 a
TESTE DE F						
SP	10,81 **	1,85 ns	2,81 ns	10,28 **	2,41 ns	1,75 ns
VD	2,75 ns	3,88 *	1,08 ns	3,57 *	2,04 ns	1,55 ns
Interação SP x VD	1,55 ns	2,15 *	0,60 ns	1,78 ns	1,43 ns	0,89 ns
CV (SP)	29,18	37,01	32,14	31,77	38,42	39,33
CV (VD)	27,33	14,95	18,64	28,69	19,83	27,73

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$); CV: coeficiente de variação (%). GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m; SPP: sem preparo primário.

Para os sistemas de preparo do solo (Tabela 26), o arado de aivecas (GT+AA), aos 60 DAE, apresenta o maior valor de biomassa verde e seca quando

se compara com os demais sistemas de preparo, sendo que os valores dos mesmos não diferem entre si aos 90 e 110 DAE. Para as velocidades de deslocamento, observa-se que aos 60 e 110 DAE, biomassa verde e aos 90 e 110 DAE, biomassa seca, os valores não foram significativos. Enquanto que, aos 90 DAE, a biomassa verde na velocidade de $5,72 \text{ km h}^{-1}$ foi maior quando comparada com a velocidade de $2,45 \text{ km h}^{-1}$; para as demais velocidades não há diferença estatística entre si. Quanto à biomassa seca, aos 60 DAE, verifica-se que as velocidades de $3,88$ e $5,72 \text{ km h}^{-1}$ apresentam os maiores valores de biomassa seca com relação à velocidade de $2,45 \text{ km h}^{-1}$, e estas não diferiram para a velocidade de $6,50 \text{ km h}^{-1}$.

Verifica-se, que os valores obtidos de biomassa verde e seca são superiores aos verificados por Dalla Chiesa et al. (2008) quando avaliaram os aspectos agrônômicos dos híbridos de sorgo AG 2005E, AG 60298 e BR 101 que encontraram valores médios de $55,15 \text{ Mg ha}^{-1}$ (biomassa verde) e $25,40 \text{ Mg ha}^{-1}$ (biomassa seca) e, também, por Santos et al. (2011) ao avaliarem a produtividade de matéria verde, matéria seca, matéria seca digestível e altura das plantas de cinco genótipos de sorgo forrageiro indicados para a região semiárida (BRS Ponta Negra, BRS 655, BR 601, BRS 506 e BRS 610) visando a produção de silagem, obtiveram para o híbrido BRS 610 valores de $55,30 \text{ Mg ha}^{-1}$ (biomassa verde) e $17,70 \text{ Mg ha}^{-1}$ (biomassa seca). Pedreira et al. (2005) ao estudarem as características agrônômicas e nutricionais dos híbridos de sorgo (BR 700, AG 2005, Massa 03, 699005, 699001, 698005, 698007 e 498111), cultivados em duas localidades encontraram valores médios de biomassa seca de $14,28 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Resultados semelhantes de biomassa verde e seca, aos 90 e 110 DAE foram verificados por Borghi et al. (2007) ao estudarem a produtividade e a qualidade da forragem de milho em função da adubação por área e por planta, em diferentes populações, nos sistemas de preparo convencional, mínimo e plantio direto, concluíram que o sistema de manejo do solo não altera a produção de forragem. Os dados médios da produtividade de biomassa verde e seca (Tabela 26) não significativos indicam que devido à presença de umidade no solo ao longo de todo o cultivo, fornecido pelo sistema linear, houve interferência em possível ação de algum sistema de preparo do solo na produtividade. Este fato da não diferença na produtividade pode, também, esta associada à alta população de plantas.

Para os sistemas de preparo do solo para a biomassa verde aos 90 DAE (Tabela 27), individualmente, observa-se que o escarificador (GT+ESC) na velocidade de 5,72 km h⁻¹ acumulou maior biomassa verde em comparação com a velocidade de 2,45 km h⁻¹ enquanto que na velocidade de 3,88 e 6,50 km h⁻¹ não diferem estatisticamente entre si. A grade *off-set* de discos de 0,56 m (Grade GAM), nas velocidades de 5,72 e 6,50 km h⁻¹, apresentou valores que não diferem entre si estatisticamente, entretanto, superiores ao obtido na velocidade de 3,88 km h⁻¹. A grade *off-set* de discos de 0,61 m (Grade ATCR) apresentou maior acúmulo de biomassa verde na velocidade de 3,88 km h⁻¹ em relação à velocidade de 2,45 km h⁻¹, menor valor. Enquanto que os GT+AA e sem preparo primário (SPP) não diferiram estatisticamente para as quatro velocidades de deslocamento estudadas.

Tabela 27. Desdobramento da interação sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de deslocamento (VD) para a biomassa verde do sorgo BRS 610 (Mg ha⁻¹) aos 90 dias após emergência.

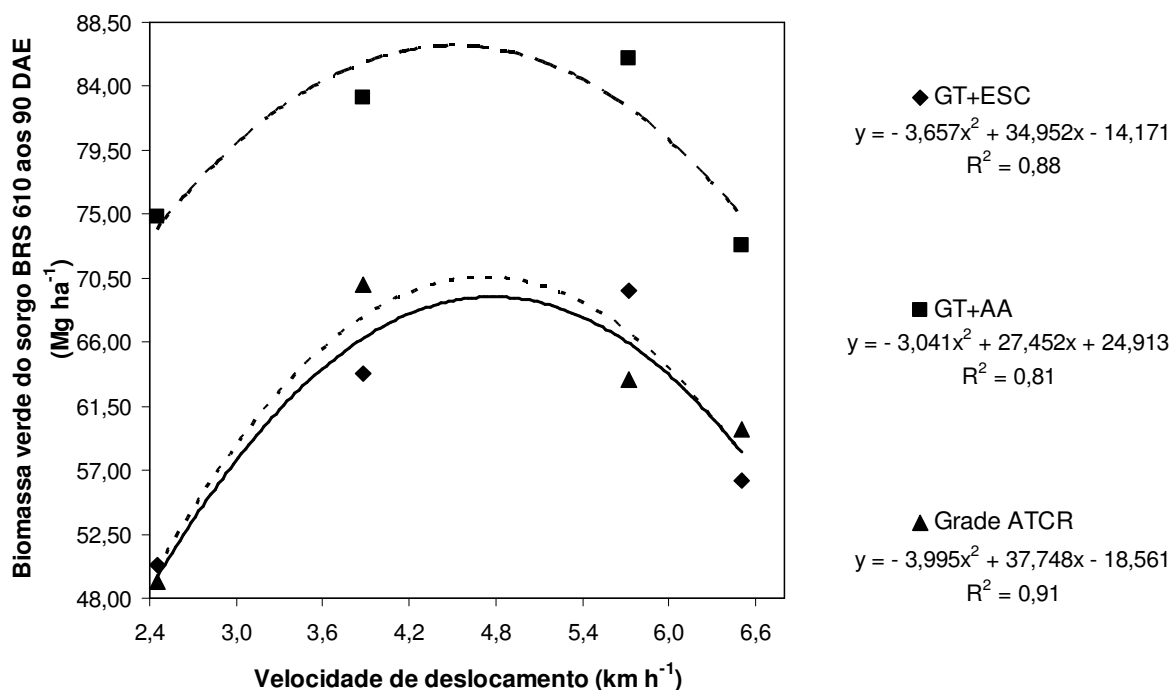
Preparo	Biomassa verde do sorgo BRS 610 aos 90 DAE (Mg ha ⁻¹)			
	Velocidades (km h ⁻¹)			
	2,45	3,88	5,72	6,50
GT + ESC	50,35 aB	63,77 abAB	69,60 aA	56,22 aAB
GT + AA	74,80 aA	83,22 aA	86,00 aA	72,85 aA
Grade GAM	58,42 aAB	46,95 bB	66,65 aA	71,52 aA
Grade ATCR	49,12 aB	70,00 abA	63,35 aAB	59,87 aAB
SPP	69,02 aA	69,02 abA	69,02 aA	69,02 aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na COLUNA e maiúscula na LINHA não diferem entre si pelo teste de TUKEY a 5% de probabilidade. GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade GAM: grade *off-set* – discos de 0,56 m; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m; SPP: sem preparo primário.

Na análise das velocidades de deslocamento para a biomassa verde aos 90 DAE (Tabela 27), verifica-se que somente a velocidade de 3,88 km h⁻¹ apresentou diferença significativa, sendo que a Grade GAM apresentou menor acúmulo de biomassa verde que o GT+AA, as demais não diferiram entre si.

Albuquerque et al. (2009) ao avaliarem a composição da matéria seca de híbridos de sorgo para silagem em diferentes arranjos de plantas, afirmam que a produção de matéria natural e seca esta positivamente correlacionada com a altura da planta. Santos et al. (2011) ao avaliarem a produtividade (biomassa verde) para a cultivar BRS 610 encontraram valores de 55,3 Mg ha⁻¹ no final do ciclo da cultura, sendo portanto, menores do que deste trabalho.

O GT+ESC, GT+AA e Grade ATCR apresentaram significância na análise de regressão, e a representação de seus comportamentos para biomassa verde aos 90 DAE (Figura 33) demonstra um comportamento de forma crescente-decrescente, tendo a equação quadrática com R^2 igual a 0,88; 0,81 e 0,91; ser a equação que melhor representa. Pode-se, observar que os valores para o GT+AA são os maiores e que o GT+ESC e Grade ATCR apresentaram valores bem próximos e menores.



GT+ESC: grade *tandem* + escarificador; GT+AA: grade *tandem* + arado de aivecas; Grade ATCR: grade *off-set* – discos de 0,61 m.

Figura 33. Biomassa verde do sorgo BRS 610 aos 90 DAE para a interação sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento (SP x VD).

A biomassa seca aos 60 DAE em função das velocidades de deslocamento não apresentou significância para a análise de regressão ($P > 0,05$).

5. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos e nas condições em que foi desenvolvido este trabalho, conclui-se que:

Os sistemas de preparo do solo e velocidades de deslocamento influenciaram os parâmetros desempenho do conjunto trator-equipamento, largura e profundidade efetiva de trabalho, ruído médio, capacidades de campo efetiva e operacional, variação de velocidade de trabalho, força de tração e potência; devido à conformação de seus órgãos ativos;

Quanto aos parâmetros do solo, os sistemas de preparo do solo influenciaram os atributos físicos, cobertura vegetal do solo, densidade do solo, porosidade total determinada e resistência mecânica do solo à penetração tanto pontual quanto no perfil. A velocidade de deslocamento influenciou a cobertura vegetal do solo, principalmente o sistema com grade *tandem* mais arado de aivecas;

Para os parâmetros de planta, os sistemas de preparo do solo influenciaram a altura de plantas, especificamente o sistema grade *tandem* mais arado de aivecas e diâmetro de colmo. As velocidades de deslocamento influenciaram a porcentagem de plantas sobreviventes;

O sistema grade *tandem* mais escarificador foi o sistema de preparo do solo que apresentou ser mais adequado para o cultivo do sorgo BRS 610 quando se considera o manejo conservacionista dos atributos físicos do solo e a eficiência da mecanização nas condições em que se realizou este estudo.

6. REFERÊNCIAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo Franco-Arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 519-531, 2004.

AGUIAR, M. I. M. S. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 91f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; VON PINHO, R. G.; BRANT, R. S.; MENDES, M. C.; REZENDE, P. M. Composição da matéria seca do sorgo forrageiro em diferentes arranjos de plantas no Semiárido de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Tecnologia aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 2, n. 2, p. 115-125, 2009.

ALMEIDA, D. P. F. **Apontamentos de produção agrícola**: elementos de apoio às aulas. Escola Superior de Biotecnologia, Universidade Católica Portuguesa, Porto, 2004. 19p.

ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C.; NOVOTNY, E. H. **Cultivo do milho**: preparo convencional do solo. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2002. 4p. (Comunicado Técnico nº 40).

AMARAL, F. C. S.; SILVA, E. F.; MELO, A. S. **Caracterização pedológica e estudos de infiltração da água no solo em perímetros irrigados no Vale do São Francisco**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 104p.

ANDRADE, A. R. S.; MACHADO, C. B.; VILELA, E. L.; CAMÊLO, D. L.; SILVA, L. C. C. Desenvolvimento da cultura do sorgo em um Latossolo Amarelo submetido à adubação orgânica. **Revista Brasileira de Tecnologia aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 4, n. 2, p. 137-151, 2011.

ANDRADE NETO, R. C.; MIRANDA, N. O.; DUDA, G. P.; GÓES, G. B.; LIMA, A. S. Crescimento e produtividade do sorgo forrageiro BR 601 sob adubação verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 124-130, 2010.

ARALDI, P. F. **Avaliação da eficiência operacional na colheita mecanizada em lavouras de arroz irrigado**. 2011. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

ARCOVERDE, S. N. S.; CORTEZ, J. W.; PITANGA JUNIOR, C. O.; NAGAHAMA, H. J. Nível de potência sonora emitido nas operações agrícolas. **Revista Nucleus**, Ituverava, v. 8, n. 1, p. 277-287, 2011.

ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M. E.; CRUSCIOL, C. A. C.; FERREIRA, J. C. R. Preparo do solo, irrigação por aspersão e rendimento de engenho de arroz em terras altas. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 321-326, 2002.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 425-435, 2005.

ASAE - American Society of Agricultural Engineers. **ASAE EP291.1**: standards engineering practices data. St. Joseph: ASAE, 1997. p.254-275.

ASAE - American Society of Agricultural Engineers. **ASAE D497.4**: agricultural machinery management data. 47th ed. St. Joseph: ASAE, 2003. p.350-357.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Medição do nível de ruído no posto de operação de tratores e máquinas agrícolas: NBR 9999**. Rio de Janeiro, 1987. 21p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Máquinas rodoviárias, tratores e máquinas agrícolas e florestais - ponto de referência do assento: NBR NM-ISO 5353**. Rio de Janeiro, 1999. 5p.

ANUNCIÇÃO FILHO, C. J.; MONTEIRO, M. C. D.; OLIEVIRA, F. J.; TABOSA, J. N.; BASTOS, G. Q.; REIS, O. V. Produção de matéria seca e conteúdo de proteína bruta em genótipos de sorgo forrageiro. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 25, n.2, p. 59-63, 2004.

APPS - Associação Paulista de Produtores de Sementes e Mudas. **Evolução da área e produção de sorgo no Brasil**. Disponível em:
www.apps.agr.br/upload/de_1009201203221800_area_sorgo_11_12doc.pdf.
Acesso em 10 out. 2012.

AVELINO, P. M.; NEIVA, J. N. M.; ARAÚJO, V. L.; ALEXANDRINO, E.; SANTOS, A. C.; RESTLE, J. Características agronômicas e estruturais de híbridos de sorgo em função de diferentes densidades de plantio. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 534-541, 2011.

AZEVEDO, E. C. **Uso de geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no Estado de Mato Grosso**. 2004. 132f. Tese (Doutorado em Água e Solo) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo, Editora Manole LTDA, 1987. 310p.

BENTIVENHA, S. R. P. Mobilização do solo e crescimento inicial do eucalipto em função do tipo de haste subsoladora, profundidade de trabalho e características do solo. In: SEMINÁRIO SOBRE MÉTODOS E EQUIPAMENTOS DE PREPARO DE SOLO PARA PLANTIO DE FLORESTAS, Piracicaba, 2000. **Resumos**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 62-99.

BENTIVENHA, S. R. P.; GONÇALVES, J. L. M.; SASAKI, C. M. Mobilização do solo e crescimento inicial do eucalipto em função do tipo de haste sulcadora, profundidade de trabalho e características do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 588-605, 2003.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; CASSOL, E. A. Distância entre terraços usando o comprimento crítico de rampa em dois preparos conservacionistas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 417-425, 2000.

BERTOL, O. J.; AMADO, T. J. C.; SCHLOSSER, J. F.; REINERT, D. J. Desempenho de mecanismos sulcadores de semeadura sob condições de preparo reduzido do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 257-269, 1997.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A. Influência dos restos culturais no teor de água e na qualidade física de um Latossolo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas, 33, 2011, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: SBCS, 2011. CD-ROM.

BOARETTO, A. E. A evolução da população mundial, da oferta de alimentos e das ciências agrárias. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 4, p. 513-526, 2009.

BOLLER, W.; FAVORETTO, R. Eficiência energética da cultura do feijão sob diferentes sistemas de manejo do solo. In: BALBUENA, R.H.; BENEZ, S.H.; JORAJURIA, D. (Org.). **Ingeniería rural y mecanización agraria em el ámbito latino americano**. La Plata: Editora de la Universidad Nacional de La Plata, 1998. p. 154-158.

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

BUSO, W. H. D.; MORGADO, H. S.; SILVA, L. B.; FRANÇA, A. F. S. Utilização do sorgo forrageiro na alimentação animal. **PUBVET**, Londrina, v. 5, n. 23, p. 1-29, 2011.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades do solo**. 7. ed. Rio de Janeiro. Freitas Bastos. 1989. 893p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco**. Recife: SUDENE, 1973. 354 p (SUDENE. Boletim técnico nº 26).

CÁCERES, F. **História Geral**. São Paulo: Editora Moderna, 1999. 314p.

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A.; SIMON, M. A.; LAJUS, C. R. Dinâmica de restos culturais na superfície do solo em semeadura direta escarificado. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 4, 2002, Porto Alegre. **Resumo expandido**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. p. 43.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 94p. (Boletim Técnico nº 106).

CARNEIRO, H. **Comida e sociedade: uma história da alimentação**. Rio de Janeiro, Editora Campus, 2003. 185p.

CARVALHO FILHO, A.; CENTURION, J. F.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A.; CARVALHO, L. C. C. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 229-237, 2007.

CARVALHO, F. L. C.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de doses e formas de manejo do resíduo cultural de trigo na redução da erosão hídrica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 2, p. 227-234, 1990.

CARVALHO, G. J.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; MARTINS, M. V. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 765-771, 2006.

CASSOL, E. A.; CANTALICE, J. R. B.; REIHERT, J. M.; MONDARDO, A. Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 685-690, 2004.

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

CFSEMG – Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 4ª aproximação, Lavras: 1989. 176p.

COAN, O. **Sistema de preparo do solo: efeito sobre a camada mobilizada e no comportamento das culturas do Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e do milho (*Zea mays* L.) conduzidas em rotação**. 1995. 138f. Tese (Livre-docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade estadual Paulista, Jaboticabal.

CORTEZ, J. W.; ALVES, A. D. S.; MOURA, R. D.; OLSZEWSKI, N.; NAGAHAMA, H. J. Atributos físicos do Argissolo amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1207-1216, 2011.

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

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 527-537, 2003.

DALLA CHIESA, E.; ARBOITTE, M. Z.; BRONDANI, I. L.; MENEZES, L. F. G.; RESTLE, J.; SANTI, M. A. M. Aspectos agronômicos de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) no desempenho e economicidade de novilhos confinados. **Acta Scientiarum Animal Sciences**. Maringá, v. 30, n. 1, p. 67-73, 2008.

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

DUARTE JÚNIOR, J. B.; GARCIA, R. F. COELHO, F. C.; AMIM, R. T. Desempenho de trator-implemento na cana-de-açúcar em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 653-658, 2008.

EDMOND, J. B.; DRAPALA, W. L. The effects of temperature, sand and soil acetone on germination of okra seed. **Proceeding of American Society Horticulture Science**, Alexandria, v. 71, n. 2, p. 428-434, 1958.

EHLERS, E. **Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma**. 2ª ed. Guaíba: Agropecuária, 1999. 175p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: 1997. 212p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo de Arroz e Feijão**. Sistemas de Produção, n. 7. Versão eletrônica. 2006a. Disponível em <http://www.sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/arrozefeijao>. Acesso em: 15 fev. 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 2006b. 370p.

FALKER. PenetroLOG PLG1020 - **Medidor Eletrônico de Compactação do Solo**. Disponível em: < <http://www.falker.com.br/download.php> > . Acesso em: 23 set. 2010.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1097-1104, 2003.

FARACO, M. A. **Qualidade do ajuste de modelos geoestatísticos utilizados na agricultura de precisão**. 2006. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.

FERNANDES, J. C. Barulho ensurdecedor. **Revista Cultivar Máquinas**. Pelotas, v. 17, p. 06-08, 2003.

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

FIGUEIREDO, P. R. A.; MAGALHÃES, P. S. G. Otimização do desempenho de uma máquina de preparo mínimo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21, 1992, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SBEA, 1992, p. 1405-1418.

FURLANI, C. E. A.; GAMERO, C. A. Arado de disco: desempenho operacional em função do tipo de disco e da velocidade de deslocamento. In: II CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERÍA RURAL E V CONGRESSO ARGENTINO DE INGENIERÍA RURAL, 1998, La Plata. **Anais...** La Plata: Editorial de La U. N. L. P., 1998. p. 196-200. CD-ROM.

FURLANI, C. E. A.; LOPES, A.; ABRAHÃO, F. Z.; LEITE, M. A. S. Influência da velocidade da semeadora na cultura do milho (*Zea mays*) em diferentes condições de preparo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, 1999, Pelotas. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 1999.

FURLANI, C. E. A.; LOPES, A.; SILVA, R. P. Avaliação de semeadora-adubadora de precisão trabalhando em três sistemas de preparo do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 458-464, 2005.

FURLANI, C. E. A.; PAVAN JUNIOR, A.; CORTEZ, J. W.; SILVA, R. P.; GROTTA, D. C. C. Influência do manejo da cobertura vegetal e da velocidade de semeadura no estabelecimento da soja (*Glycine max*). **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 18, n. 3, p.227-233, 2010.

GAMERO, C. A.; LANÇAS, K. P. Ensaio e certificação das máquinas de mobilização periódica do solo. In: MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaio e certificação**. Piracicaba: CNPq - PADCT/TIB - FEALQ, 1996. p. 463-514.

GAMERO, C. A.; SIQUEIRA, R.; LEVIEN, R.; SILVA, S. L. Decomposição da aveia-preta (*Avena strigosa* Schre.) manejada com rolo-faca e triturador de palhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: SBEA, 1997. CD-ROM.

GONZAGA, R. L. **Efeito de sistemas de preparo e manejo do solo, culturas de cobertura e rotação nas propriedades físico-químicas do solo e na cultura do milho**. 2009. 82f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade estadual Paulista, Ilha Solteira.

GROTTA, D. C. C.; LOPES, A.; FURLANI, C. E. A.; BRANQUINHO, K. B.; REIS, G. N.; SILVA, R. P. Subsolador: avaliação do desempenho em função da velocidade de trabalho e espaçamento entre hastes. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 21-26, 2004.

IEC - International Electrotechnical Commission. **Sound Level Meters**. 1 st ed., Geneva: IEC, 1979.

IGLÉSIAS, F. **A Revolução Industrial**. São Paulo, Brasiliense. 1990. 10 ed. 114p.

KANEKO, F. H.; ARF, O.; GITTI, D. C.; TARSITANO, M. A. A.; KAPASSI, R. M. A.; VILELA, R. G. Custos e rentabilidade do milho em função do manejo do solo e da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 1, p. 102-109, 2010.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: CERES, 1979. 262p.

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

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 857-867, 2002.

KLUTHCOUSKI, J. **Efeito do manejo em alguns atributos de um Latossolo Roxo sob cerrado e nas características produtivas do milho, soja, arroz e feijão, após oito anos de semeadura direta.** 1998. 179f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

LAFLEN, J. M.; AMEMIYA, M.; HINTZ, E. A. Measuring crop residue cover. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 36, n. 6, p. 341-343, 1981.

LANÇAS, K. P. **Subsolador: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiros e número de hastes.** 1998. 171f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos.** São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998. 226p. (Ciência e tecnologia).

LEVIEN, R.; GAMERO, C. A.; FURLANI, C. E. A. Manejo convencional e reduzido em solo argiloso e diferentes condições de cobertura de inverno. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 277-289, 2003.

LOPES, P. R. C.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 71-75, 1987.

LOSEKANN, M. E. **Caracterização, classificação e indicadores de qualidade do solo em localidade de agricultura familiar do Estado do Rio Grande do Sul.** 2009. 88f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MAAR, J. H. Justus von Liebig, 1803 - 1873. Parte 1: vida, personalidade, pensamento. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 5, p. 1129-1137, 2006.

MACHADO, A. M. M.; FAVARETTO, N. Atributos físicos do solo relacionados ao manejo e conservação dos solos. In: LIMA, M. R. et al. **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos.** Curitiba: UFPR/Setor de Ciências Agrárias, 2006. p. 234-254.

MACHADO, R. F.; BARROS, A. C. S. A.; ZIMMER, P. B.; AMARAL, A. S. Reflexos do mecanismo de ação de herbicidas na qualidade fisiológica de sementes e na atividade enzimática em plântulas de arroz. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n. 3, p. 151-160, 2006.

MACHADO, R. L. T.; MACHADO, A. L. T.; TURATTI, A. L.; REIS, A. V.; ALONÇO, A. S. Avaliação do desempenho de escarificador em Planossolo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 2, n. 3, p. 151-154, 1996.

MAHL, D. **Desempenho de semeadoras-adubadoras de milho (*Zea mays* L.) em sistema de semeadura direta**. 2002. 160f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade estadual Paulista, Botucatu.

MARQUELLI, R. P. **O desenvolvimento sustentável na agricultura do cerrado brasileiro**. 2003. 54f. (Monografia - MBA em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada, área de concentração Planejamento Estratégico). ISAE - FGV/ECOBUSINESS SCHOOL, Brasília.

MATOS, M. A. **Modelo informatizado para o planejamento operacional e econômico de sistemas mecanizados com consideração da pontualidade**. 2007. 88f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. São Paulo: Editora UNESP, 2010. 568p.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MULLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1197-1206, 2011.

MELLO, R. C. Alterações físicas em um Latossolo Roxo em função da velocidade de aração e do ângulo horizontal dos discos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 35-40, 2004.

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

MENDES, F. G.; MELLONI, E. G.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220, 2006.

MERNES, F. J. V.; SOUZA, C. M. ; CARDOSO, A. A.; ROCHA, V. J.; GALVÃO, J. C. C.; PIRES, F. R. Influência de diferentes métodos de preparo do solo na sua resistência à penetração. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 50, n. 288, p. 143-153, 2003.

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

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificações**. Piracicaba: FEALQ, 1996. 722p.

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

MOLIN, J. P.; COELHO, J. L. D.; VASARHELYI, A. Programa computacional para análise de distribuição transversal em aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E I SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA DO CONE SUL, **Anais...** Santa Maria: SBEA 1992. CD-ROM.

MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo - sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: FUNEP, 2002. 225p.

MTE - Ministério do Trabalho e do Emprego. **Atividades e operações insalubres: NR-15**. Disponível: <http://www.mtb.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2012a.

MTE - Ministério do Trabalho e do Emprego. **Ergonomia – NR-17**. Disponível em: <http://www.mtb.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_17.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2012b.

NAGAOKA, A. K.; NOMURA, R. H. C.; JASPER, S. P.; GUERRA, S. P. S.; SILVA, P. R. A. Avaliação da cultura do sorgo em diferentes sistemas de manejo do solo e épocas de semeadura na Região de Lages - SC. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.22, n. 3, p. 102-108, 2007.

NASCIMENTO, R. Crescimento de plantas de sorgo sob diferentes disponibilidade de água no solo. **Revista educação Agrícola Superior**. Brasília, v. 23, n. 1, p. 53-54, 2008.

NOGUEIRA, A. C. L. **Mecanização na agricultura brasileira: uma visão prospectiva**. Caderno de Pesquisas em Administração, São Paulo, v. 8, n. 4, p. 77-87, 2001.

OLIVEIRA JÚNIOR, E. D.; SEIXAS, F.; BATISTA, J. L. F. Produtividade de *feller-buncher* em povoamento de eucalipto em relevo acidentado. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 39. n. 4, p. 905-912, 2009.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ-VENEGÁS, V. H. CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. Fertilidade do solo no sistema semeadura direta. In: ALVAREZ-VENEGÁS, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Eds). **Tópicos de Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2002, v. 2, p. 393-486.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 327-336, 2004.

OLIVEIRA, M. L.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 535-539, 2005.

OLIVEIRA, R. R.; SACCA, J. P.; MARINO JÚNIOR, E. Análise comparativa de custo do cultivo mínimo e cultivo convencional na implementação da cultura do eucalipto. **Revista Científica de Engenharia**, Graça, v. 13, n. 7, p. 1-12, 2009.

OLIVEIRA, V. S.; ROLIM, M. M.; COSTA, Y. D. J.; PEDROSA, E. M. R.; SILVA, E. F. F. Compressibilidade de um Argissolo Amarelo distrocoeso submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 435-442, 2011.

PANACHUKI, E. **Infiltração de água no solo e erosão hídrica, sob chuva simulada, em sistema de integração agricultura-pecuária**. 2003. 67f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Dourados, 2003.

PASQUAL, C. A.; PEDROZO, E. A. Características do negocio no setor de máquinas agrícolas. **RAE eletrônica**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1-22, 2007.

PEDREIRA, M. S.; GIMENES, N. S.; MOREIRA, A. L.; REGIS, R. A.; BERCHIELLI, T. T. Características agronômicas e bromatológicas de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), cultivados para produção de silagem. **ARS veterinária**, Jaboticabal, v. 21, suplemento, p. 183-192, 2005.

PEDROTTI, A.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. **Avanços em ciência do solo: a física do solo na produção agrícola e qualidade ambiental**. São Cristóvão, SE: Editora UFS, 2009. 209p.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S.; FERREIRTA, M. M.; DIAS JUNIOR, M. S.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 521-529, 2001a.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L.; CRESTANA, S. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e a compactação de um Planossolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 4, p. 709-715, 2001b.

PEREIRA, R. G.; SANTOS, M. N.; QUEIROGA, F. M.; LEMOS, M.; LEITE, G. A. Influência do manejo sobre alguns atributos físicos do solo após cinco anos de cultivo com melão (*Cucumis melo* [L.]). **Revista Verde**, Mossoro, v. 5, n. 2, p. 103-108, 2010.

PITOMBEIRA, J. B.; CASTRO, A. B.; POMPEU, R. C. F. F.; NEIVA, J. V. N. M. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de sorgo forrageiro em cinco ambientes do estado do Ceará. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 33, n. 1, p. 20-24, 2002.

POMPEU, R. C. F. F.; PITOMBEIRA, J. B.; OLIVEIRA FILHO, G. S.; COSTA, T. S. A.; NEIVA, J. N. M. Características agronômicas de cultivares de sorgo granífero no estado do Ceará. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBZ, 2005, v. 42, p. 1-4.

PORTUGAL, A. F.; ROCHA, V. S.; SILVA, A. G.; PINTO, G. H. F.; PINA FILHO, O. C. Rendimento de matéria seca e proteína de cultivares de sorgo forrageiro no primeiro corte e na rebrota. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 50, n. 289, p. 357-366, 2003.

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

RABELO, F. H. S.; RABELO, C. H. S.; DUPAS, E.; NOGUEIRA, D. A.; REZENDE, A. V. Parâmetros agronômicos do sorgo em razão de estratégias de semeadura e adubação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**. Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 47-66, 2012.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, SP: Editora Manoele Ltda, 2004. 478p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: condições físicas do solo agrícola. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003. CD-ROM.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REIVHERT, J. M. (Orgs). **Tópicos em ciência do solo. Viçosa**: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, v. 5, p. 49-134.

RODRIGUES, J. G. L.; FERNANDES, J. C.; NASCIMENTO, F. M.; GAMERO, C. A.; BICUDO, S. J. Caracterização física do solo e desempenho operacional de máquinas agrícolas na implantação de sorgo forrageiro. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 1813-1824, 2011.

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

RODRIGUES, R. A. F. **Efeito de tipos de manejos nos seus atributos físicos do solo e nas características fenológicas e produtividades do arroz de terras altas irrigado por aspersão**. 2001. 75f. Tese (Livre-docência) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

ROMEIRO, A. R. Revolução Industrial e mudança tecnológica na agricultura européia. **Revista de História**, São Paulo, n. 123-124, p. 5-33, 1991.

ROMEIRO, A. R. **Agricultura e ecodesenvolvimento**. In: ECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO. Rio de Janeiro: Aped, 1992. p. 207-233.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C. **Manutenção da fertilidade e recuperação dos solos na cultura da cana-de-açúcar**. Apta – Pólo Regional Centro-Sul, Piracicaba – Programa Cana-de-açúcar do IAC, 2008. 38p.

SALAZAR, G. T. **Administração geral: teoria e gerência das organizações**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 153p.

SALVADOR, N.; BENEZ, S. H.; BICUDO, S. J. Preparo periódico e mobilização do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC/SBEA, 1993, v. 3, p. 1710-1720.

SANTILLI, J. F. R. **Agrobiodiversidade e direitos dos agricultores**. 2009. 409f. Tese (Doutorado em Direito) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba.

SANTOS, H. F.; VALE, A. R. Modernização da agricultura e novas relações campo-cidade no atual período da globalização: algumas análises a partir do agronegócio cafeeiro no município de Alfenas-MG. In: JORNADA CIENTÍFICA DE GEOGRAFIA, 3, 2012, Alfenas. **Anais eletrônicos...** Alfenas: UNIFAL, 2012, v.1. Disponível em: <<http://www.unifal-mg.edu.br/jornadageografia/anais>>. Acesso em: 15 fev. 2012.

SANTOS, R. D.; NEVES, A. L. A.; PEREIRA, L. G. R.; ARAGÃO, A. S. L.; COSTA, C. T. F.; ARAUJO, G. G. L.; VOLTOLINI, T. V.; BARBOSA, A. E. S. Produtividade e características agrônômicas de cinco genótipos de sorgo. IN: Congresso Brasileiro de Zootecnia, 21, 2011, Macéio. **Anais...** Macéio: Associação Brasileira de Zootecistas, 2011, p. 1-3.

SAVIANI, D. O trabalho como princípio educativo frente às novas tecnologias. IN: FERRETI, C et al. **Novas tecnologias, trabalho e educação: em debate multidisciplinar**. Petrópolis: Editora Vozes, 1994.

SCHLOSSER, J. F. **Comparação entre duas técnicas de aração: trator com as rodas dentro e fora do sulco**. 1987. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SCHLOSSER, J. F.; BERTOL, O. J.; SOUSA FILHO, E. G.; MEZZOMO, C. P. L. Influência da velocidade de aração no diâmetro médio geométrico dos agregados. **Revista Agropecuária Técnica**, Areia, v. 21, n. 1, p. 9-17, 2000.

SENE, M.; VEPRASKAS, M. J.; NADERMAN, G. C.; DENTON, H. P. Relationship of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, n. 2, p. 422-427, 1985.

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

SILVA, A. G.; BARROS, A. S.; TEIXEIRA, I. R. Avaliação agrônômica de cultivares de sorgo forrageiro no sudoeste do Estado de Goiás em 2005. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 6, n. 1, p. 116-127, 2007b.

SILVA, A.R.B.; BENEZ, S.H. Cultivares de milho: produtividade em diferentes sistemas de manejo do solo e espaçamentos. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 20, n. 1, p. 77-90, 2005.

SILVA, A. R.; DIAS JÚNIOR, M. S.; LEITE, F. P. Camada de resíduos florestais e pressão de preconsolidação de dois latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n.1, p. 89-93, 2007a.

SILVA, E. A. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; ROCHA, J. V.; SOUZA, E. G. Um estimador robusto e o semivariograma cruzado na análise de variabilidade espacial de atributos do solo e planta. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 365-371, 2003.

SILVA, J. R.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVEIRA, P. M. Desempenho de uma semeadora-adubadora no estabelecimento e na produtividade da cultura do milho sob plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 7-12, 2000b.

SILVA, J. R.; MESQUITA, C. M.; KURACHI, S. A. H.; TESTA, A. **Avaliação de peças ativas de subsoladores quanto à exigência de tração**. Campinas: IAC, 1984. 15p. (Boletim técnico nº 94).

SILVA, L. G. **Ordem de gradagem e sistemas de aração do solo: desempenho operacional, alterações na camada mobilizada e respostas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1992. 180f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SILVA, M. S. L.; KLAMT, E.; CAVALCANTI, A. C.; KROTH, P. L. Adensamento subsuperficial em solos do semi-árido: processos geológicos e/ou pedogenéticos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 314-320, 2002.

SILVA, S. L. **Avaliação de semeadoras para semeadura direta: demanda energética, distribuição longitudinal e profundidade de deposição de sementes em diferentes velocidades de deslocamento**. 2000. 123f. Tese

(Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

SILVA, S. L.; BENEZ, S. H. Construção de um sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e equipamentos agrícolas em ensaio de campo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 12, n. 3, p. 10-18, 1997.

SILVA, S. L.; BENEZ, S. H.; LEVIEN, R.; SIQUEIRA, R. Força de tração obtida com integrador de força e sistema computadorizado, operando um rolo faca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. CD-ROM.

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

SILVEIRA, J. C. M.; MODOLO, A. J.; SILVA, S. L.; GABRIEL FILHO, A. 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**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 125-128, 2005.

SIMÕES, D.; SILVA, M. R.; FENNER, P. T. Desempenho operacional e custos da operação de subsolagem em área de implantação de eucalipto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 5, p. 692-700, 2011.

SIQUEIRA, R. **Sistemas de preparo em diferentes tipos de coberturas vegetais do solo**. 1999. 191f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SIQUEIRA, R.; ARAÚJO, A. G.; CASÃO JÚNIOR, R.; RALISCH, R. Desempenho energético de semeadoras-adubadoras de semeadura direta na implantação da cultura da soja (*Glycine max* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, 2001. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD-ROM.

SORANSO, A. M. **Desempenho de um trator agrícola utilizando biodiesel destilado etílico e metílico**. 2006. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Paraná - UNIOESTE, Cascavel.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo vermelho distrófico de Cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 18-23, 2003.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas de relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 937-944, 2004.

STOLF, R. Fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em força/unidade de área. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19, 1990, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1990. Vol. II, p. 823-37.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de formulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v15, p.229-235, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J. ; FURLANI NETO, V. Penetrômetro de impacto – modelo IAA/Planalsucar – STOLF. **STAB**, Piracicaba, v1, n.3, p.18-23, 1983.

STONE, A. J.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro - 1: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 207-212, 2002.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 5, p. 395-401, 2001.

TABOSA, J. N.; REIS, O. V.; BRITO, A. R. M. B.; MONTEIRO, M. C. D.; SIMPLICIO, J. B.; OLIVEIRA, J. A. C.; SILVA, F. G.; AZEVEDO NETO, A. D.; DIAS, F. M.; LIRA, M. A.; TAVARES FILHO, J. J.; NASCIMENTO, M. M. A.; LIMA, L. E.; CARVALHO, H. W. L.; OLIVEIRA, L. R. Comportamento de cultivares de sorgo forrageiro em diferentes ambientes agroecológicos dos estados de Pernambuco e Alagoas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, n. 2, p. 47-58, 2002.

TEIXEIRA, J. C. Modernização da agricultura no Brasil: impactos econômicos, sociais e ambientais. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, Três Lagoas, v. 2, n. 2, p. 21-42, 2005.

TOLEDO, A.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; LOPES, A.; DABDOUB, M. J. Comportamento espacial da demanda energética em semeadura de amendoim em Latossolo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 12, n. 30, p. 459-467, 2010.

TOLEDO, A.; TABILE, R. A.; GROTTA, D. C. C.; CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A. Desempenho de trator agrícola atuando com 5% de biodiesel em operação de semeadura. **Engenharia na Agricultura**. Viçosa, v. 17, n. 3, p. 205-215, 2009.

TORMENA, C. A. A compactação do solo em agroecossistemas agrícolas. IN: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 14, 2002, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. 4p. 1 CD-ROM.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M., Eds. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.2, p.195-276, 2002.

VARELLA, C. A. A.; PINTO, F. A. C.; QUEIROZ, D. M.; SENA JÚNIOR, D. G. Determinação da cobertura do solo por análise de imagens e redes neurais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 225-229, 2002.

VEIGA, J. E. **O desenvolvimento agrícola**: uma visão histórica. São Paulo: Edusp, Hucitec, 1991. (Estudos rurais nº 11). 219p.

VEIGA, J. E. **Economia socioambiental**. São Paulo: Editora SENAC, 2009. 384p.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.

VIAN, C. E. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. M. Evolução da indústria de máquinas agrícolas no mundo: origens e tendências. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 48, 2010, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SBE, 2010.

VICENTINO, C.; DORIGO, G. **História para o ensino médio: História Geral e do Brasil**. São Paulo: Scipione, 2005. Volume Único, 616p.

VIEIRA, E. P.; BRIZOLLA, M. M. B. A influência da mecanização da atividade agrícola na composição do custo de produção. In: CONGRESSO ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS CONTÁBEIS, 1, 2007. Gramado. **Anais eletrônicos...** Gramado: ANPCONT, 2007. Disponível em: <<http://www.anpcont.com.br/site/materia.php?id=33>>. Acesso em: 15 fev. 2012.

VIEIRA, M. R. **Produtividade, análises químico-bromatológicas e nutrição mineral de plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas salinas**. 2006. 97f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Fortaleza.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. IN: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R., eds. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, v. 1, p. 1-53.

VIEIRA, S. R.; GARCIA, M. A. G.; PAZ-GONÇÁLEZ, A.; SIQUEIRA, G. M. Variabilidade espacial e temporal do teor de água do solo sob duas formas de uso. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 181-190, 2010.

VITORIA, E. L. **Avaliação dos níveis de ruído emitido por tratores em diferentes operações agrícolas**. 2000. 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência da cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 763-774, 2004.

VON PINHO, R. G.; VASCONCELOS, R. C. **Cultura do Sorgo**. Lavras: Editora UFLA/FAEPE, 2002. 76p (Textos Acadêmicos).

XAVIER, A. **Comportamento da cultura da soja em função de resíduos culturais, mobilização do solo e irrigação, em semeadura direta**. 2005. 99f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

YANAI, K.; SILVEIRA, G. M.; LANÇAS, K. P.; CORRÊA, I. M.; MAZIERO, J. V. G. Desempenho operacional de trator com e sem acionamento da tração dianteira auxiliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 8, p. 1427-1434, 1999.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114f. Tese (Doutorado em Levantamento do Solo e Fotopedologia) - Universidade estadual Paulista, Botucatu, 2001.