

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Gilvan Moisés Bertollo

**DESEMPENHO E EMISSÕES DE TRATOR EM SEMEADURA COM
DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE SULCADORES EM ÁREA COM
TRÁFEGO CONTROLADO DE MÁQUINAS**

Santa Maria, RS

2018

Gilvan Moisés Bertollo

**DESEMPENHO E EMISSÕES DE TRATOR EM SEMEADURA COM DIFERENTES
CONFIGURAÇÕES DE SULCADORES EM ÁREA COM TRÁFEGO
CONTROLADO DE MÁQUINAS**

Tese apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Agrícola**.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Schlosser

Santa Maria, RS

2018

Bertollo, Gilvan Moisés

Desempenho e emissões de trator em semeadura com diferentes configurações de sulcadores em área com tráfego controlado de máquinas / Gilvan Moisés Bertollo. 2018.

139 p.; 30 cm

Orientador: José Fernando Schlosser

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2018

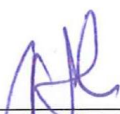
1. Plantio direto 2. Linhas de tráfego 3. Compactação do solo 4. Força de tração I. Schlosser, José Fernando II. Título.

Gilvan Moisés Bertollo

**DESEMPENHO E EMISSÕES DE TRATOR EM SEMEADURA COM
DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE SULCADORES EM ÁREA COM
TRÁFEGO CONTROLADO DE MÁQUINAS**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Agrícola**.

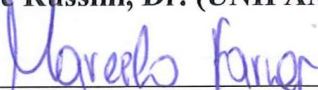
Aprovado em 02 de março de 2018:



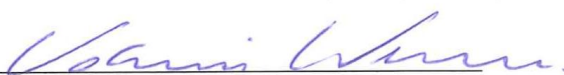
José Fernando Schlosser, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



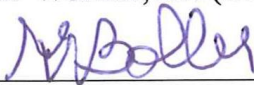
Alexandre Russini, Dr. (UNIPAMPA)



Marcelo Silveira de Farias, Dr. (UFSM)



Valmir Werner, Dr. (UFSM)



Walter Boller, Dr. (UPF)

Santa Maria, RS
2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, saúde, família, amigos e às oportunidades a mim concedidas, como esta de concluir o ciclo acadêmico.

Em especial, os meus pais, Adalto Bertollo e Algenir Bertollo, que despertaram em mim a vontade de estudar, aprender e conhecer a agricultura, agronomia e as máquinas. Agradeço por todos seus esforços, incentivos, dedicação e apoio durante todo o período, os quais foram imprescindíveis, dando-me forças para superar as dificuldades.

Aos meus irmãos, Adalzir e Altamir, e respectivas cunhadas Tainá e Tássia, que sempre me apoiaram nas decisões e foram verdadeiros irmãos e amigos, pelos incentivos, conselhos e ajudas concedidas durante a vida.

À minha namorada, Isadora Mayer Rosado, pela amizade e amor, incentivo, ajuda, paciência, dedicação e perseverança em alcançar objetivos, por dividir os momentos e estar sempre comigo.

Ao professor Eng^o Agr^o Dr. José Fernando Schlosser, pela orientação, amizade, ensinamentos, dedicação, ajudas, oportunidades, paciência e incentivos.

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pelas oportunidades e excelentes condições de estudo a mim oferecidas.

A todos os professores do ensino básico, fundamental, médio, graduação e pós-graduação, pela contribuição na minha formação pessoal e profissional, que incentivaram e ensinaram muito além dos conteúdos previstos, sendo referências em minha vida profissional.

Aos amigos e colegas, em especial Rovian Bertinatto, Gustavo Oliveira dos Santos, Jair João Bertollo, Geomar Mateus Corassa, Douglas Scheid, Carlos Bonini Pires e Tiago De Gregori Teixeira pelo incentivo, amizade e simplicidade de cada um dos momentos convividos.

Aos colegas do Laboratório de Agrotecnologia, em especial Rovian Bertinatto, Gustavo Oliveira dos Santos, Alfran Tellechea Martini, Iury Yago Port Rüdell, Marcelo Silveira de Farias, Eduardo Londero Druzian, Luis Fernando Vargas de Oliveira e Julio Schmitt Troois pela colaboração na execução das atividades, pela parceria e amizade.

A Marcos Souilljee pelo pioneirismo com o tráfego controlado de máquinas e disponibilizar colaboradores, área, máquinas e equipamentos utilizadas nas avaliações.

A todas as pessoas que contribuíram diretamente ou indiretamente, para que eu vencesse mais esta etapa de minha vida.

A todos vocês o meu MUITO OBRIGADO!

RESUMO

DESEMPENHO E EMISSÕES DE TRATOR EM SEMEADURA COM DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE SULCADORES EM ÁREA COM TRÁFEGO CONTROLADO DE MÁQUINAS

AUTOR: Gilvan Moisés Bertollo

ORIENTADOR: José Fernando Schlosser

Uma técnica para minimizar o problema da compactação do solo ocasionada pelo tráfego intenso de máquinas sobre o solo é o tráfego controlado, que consiste na padronização das bitolas das rodas das máquinas e implementos, permitindo que as mesmas se desloquem em locais pré-determinados. O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho em tração e as emissões de gases do motor de um trator agrícola em área com tráfego controlado de máquinas em diferentes intensidades, tracionando uma semeadora equipada com três configurações de sulcadores. O trabalho foi desenvolvido em área agrícola, localizada no município de Carazinho, RS. O delineamento experimental foi de blocos casualizados 3 x 3, sendo três situações de tráfego (tráfego do trator, tráfego do trator e colhedora, tráfego de trator e colhedora e pulverizador) e três configurações de sulcadores (disco duplo em todas as linhas de semeadora, disco duplo nas linhas sem tráfego e haste naquelas que recebem o tráfego e disco duplo nas linhas sem contato de pneu com ausência de sulcadores nas linhas de tráfego). As variáveis analisadas foram força de tração, potência na barra de tração, potência máxima, velocidade, patinamento das rodas motrizes, capacidade operacional, eficiência do motor. Com os valores de demanda de tração, foram aplicados o torque correspondente no dinamômetro para avaliação do consumo horário, consumo específico e emissões de NO, NO₂, NO_x, CO₂, O₂ e particulados. Conclui-se que a ausência de sulcadores do tipo haste, nas linhas de tráfego, reduzem a potência na barra de tração em 57,9% com tráfego do trator e colhedora e, 53,5% com o tráfego do trator e colhedora e pulverizador. Área isenta de tráfego, em relação ao tráfego aleatório com uso de sulcadores disco duplo e disco duplo sem haste, oferecem menor capacidade operacional e maior potência fornecida pelo motor e utilização do motor. A maior intensidade de tráfego proporciona redução no consumo horário de combustível de 1,8% em comparação a área sem tráfego de máquinas. O tráfego controlado na maior intensidade comparado a área sem tráfego proporcionam redução de 42,8% e 2,2% utilizando disco duplo e 66,7% e 2,6% com disco duplo sem haste de material particulado e óxidos de nitrogênio, respectivamente. O não cultivo da área destinada ao tráfego, representada neste trabalho por 18,2%, reduz em 72,8%, 12,1%, 16,9% no tráfego do trator e colhedora, e 80%, 11,6%, 15% com o tráfego do trator e colhedora e pulverizador a emissão de particulados, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono, respectivamente, comparado ao cultivo dessas linhas utilizando haste.

Palavras-chave: Plantio direto. Linhas de tráfego. Compactação do solo. Força de tração.

ABSTRACT

PERFORMANCE AND EMISSIONS OF TRACTOR IN SEEDING WITH DIFFERENT OPENING OF FURROW CONFIGURATIONS IN AREA WITH CONTROLLED TRAFFIC OF MACHINES

AUTHOR: Gilvan Moisés Bertollo

ADVISOR: José Fernando Schlosser

To minimize the problem of soil compaction caused by the heavy traffic of machines on the soil an alternative is the controlled traffic, which performs the standardization of the wheel gauges of the machines and implements, allowing them to move in predetermined places. The objective of this study was to evaluate the traction performance and the engine gas emissions of an agricultural tractor in an area with controlled traffic of machines at different intensities, traction of a seeder equipped with three configurations opening of furrow. An agricultural area located in the county of Carazinho, RS. The experimental design was a randomized block 3 x 3, with three traffic situations (tractor traffic; tractor and harvester traffic; tractor, harvester and sprayer traffic). Furthermore, three opening of furrow configurations (double disc in all seeder lines; double disc on lines without traffic and furrow rod in those receiving the traffic; and double disc in non-contact tire lines with furrow rod in traffic lines). The variables analyzed were traction force, power in the traction drawbar, maximum power, speed, skidding of the driving wheels, operational capacity, engine efficiency. With the traction demand values, the corresponding torque in the dynamometer was applied to evaluate the hourly consumption, specific consumption and emissions of NO, NO₂, NO_x, CO₂, O₂ and particulates. It is concluded that the absence of furrower rod in the traffic lines reduces the power in the drawbar by 57.9% with tractor and harvester traffic and 53,5% with tractor, harvester and sprayer traffic. Traffic-free area, in relation to random traffic with double disc and double disc without furrow rod offer lower operational capacity, higher power provided by the engine and high engine utilization. The higher traffic intensity provides a 1.8% reduction in fuel consumption compared to the area without machine traffic. Controlled traffic at the highest intensity compared to the traffic-free area provided a reduction of 42.8% and 2.2% when using double disc, and 66.7% and 2.6% with double disc without furrow rod of particulate matter and nitrogen oxides, respectively. The non-cultivation of the area destined to traffic, represented in this study by 18.2%, reduced by 72.8%, 12.1%, 16.9% in traffic of the tractor and harvester, and 80%, 11.6%, 15% with the traffic of the tractor, harvester and sprayer the emission of particulates, nitrogen oxides and carbon dioxide, respectively, compared to the cultivation of these lines using furrow rod.

Keywords: No-tillage. Traffic lines. Soil compaction. Traction force.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Operação de semeadura de culturas de inverno (A) com descompactação das linhas de tráfego (B), através de sulcadores do tipo disco duplo com haste nos locais sem tráfego de pneu.....	45
Figura 2 -	Linhas de tráfegos das máquinas agrícolas na área de realização do trabalho, distanciadas nove metros uma das outras.....	46
Figura 3 -	Máquinas utilizadas na propriedade: trator para tracionar a semeadora (A), trator para distribuição de fertilizantes (B), pulverizador (C) e colhedora de grãos (D).....	47
Figura 4 -	Cultivo de nabo forrageiro nas linhas de tráfego das máquinas no auxílio a descompactação.....	48
Figura 5 -	Trator Ford 8030 utilizado para distribuição de fertilizantes, equipado com receptor DGPS, piloto automático e monitores para o acompanhamento das operações.....	49
Figura 6 -	Trator Massey Ferguson 7415 Dyna6 TDA utilizado no experimento para tracionar o conjunto de semeadoras em tandem.....	50
Figura 7 -	Medida da massa total do trator com a utilização de balança digital portátil.	51
Figura 8 -	Conjunto de semeadoras da marca Semeato, modelo SSM 27 em sistema de tandem, utilizadas no experimento (A), lastragem da semeadora com uso de fertilizante (B).	52
Figura 9 -	Esquema das intensidades de tráfego sendo área sem tráfego (ST) (A), tráfego do trator + colhedora (TC) (B) e tráfego do trator + colhedora + pulverizador (TCP) (C)	54
Figura 10 -	Monitor do trator utilizado no experimento demonstrando a operação no modo piloto automático sobre as linhas de tráfego definidas.	54
Figura 11 -	Semeadora com a configuração de sulcadores disco duplo sem haste (DDsH) nas linhas que recebem o tráfego de máquinas no primeiro (A) e segundo (B) experimento.....	56
Figura 12 -	Configuração disco duplo com haste composta por linha de semeadura com disco de corte, sulcador disco duplo, rodas controladoras de profundidade e compactação (1A), linha de semeadura composta por disco de corte e haste sulcadora (1B), linha de semeadura composta por disco duplo mais roda controladora de profundidade (2A) e linha de semeadura composta por haste sulcadora (2B).	57
Figura 13 -	Croqui da distribuição das parcelas na área experimental com tráfego controlado de máquinas, iniciando pelo bloco 2, 1 e 3 em área ST (T1), TC (T2), TCP (T3) e DD (S1), DDcH (S2) e DDsH (S3).....	58
Figura 14 -	Balizas utilizadas para identificação das parcelas pelo operador e integrantes da equipe de trabalho, delimitando o início e fim da avaliação	59
Figura 15 -	Célula de carga (A), equipamento Amsler para imposição de cargas (B) e aferição dos valores coletados no datalogger e voltímetro (C).	61
Figura 16 -	Sensores indutivos nas rodas motrizes para medida do patinamento.....	64
Figura 17 -	Determinação da resistência ao rolamento com a utilização de outro trator para tracionar o trator teste (A) acoplado a célula de carga (B).....	65
Figura 18 -	Coleta de solo nas profundidades 0-0,05 m (A), 0,05-0,1 m, 0,1-0,15 m e 0,15-0,2 m, acondicionados em sacos plásticos (B) e posterior determinação da umidade gravimétrica em laboratório (C)	66
Figura 19 -	Determinação da massa seca no primeiro experimento com a cultura da aveia preta (A), e cultura da soja no segundo experimento (B).....	67

Figura 20 -	Demarcação da área de contato dos pneus dianteiros e traseiros (A) e obtenção das medidas (B).....	68
Figura 21 -	Avaliação da resistência a penetração com o uso de penetrômetro.....	69
Figura 22 -	Coleta dos gases no escapamento do motor do trator (A), analisador de gases (B) e analisador de opacidade (C)	70
Figura 23 -	Fluxômetro utilizado para medir o consumo de combustível, pressão (1) e temperatura do óleo Diesel (2)	73
Figura 24 -	Organização dos equipamentos utilizados na avaliação da emissão dos gases (A) com dinamômetro (1), opacímetro (2), Infrality (3) com as cargas inseridas no controlador de cargas (4) e visualizadas no visor digital (5) do painel de controle do dinamômetro (B) acoplado ao trator pela TDP (C).....	75
Figura 25 -	Força de tração (kN) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)	80
Figura 26 -	Resistência a penetração do solo (kPa) em profundidade no solo (mm), medidos em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC), com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) e tráfego aleatório de máquinas (TA).....	81
Figura 27 -	Velocidade de operação (km h^{-1}) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)	82
Figura 28 -	Área de contato (cm^2) dos pneus do trator em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP)	83
Figura 29 -	Resistência ao rolamento (kN) do trator agrícola em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP)	84
Figura 30 -	Potência na barra de tração (kW) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)	85
Figura 31 -	Capacidade operacional (ha h^{-1}) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)	86
Figura 32 -	Patinamento das rodas motrizes (%) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)	89
Figura 33 -	Potência fornecida pelo motor (kW) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)	89
Figura 34 -	Utilização do motor (%) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)	90

Figura 35 -	Força de tração (kN) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)	93
Figura 36 -	Patinamento (%) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH).....	94
Figura 37 -	Velocidade de deslocamento (km h^{-1}) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)	95
Figura 38 -	Potência na barra de tração (kW) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)	95
Figura 39 -	Potência fornecida pelo motor (kW) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)	96
Figura 40 -	Utilização do motor (%) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)	97
Figura 41 -	Capacidade operacional (ha h^{-1}) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)	98
Figura 42 -	Consumo específico de combustível (g (kW h)^{-1}) pelo motor do trator nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH), em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP).....	100
Figura 43 -	Consumo de combustível (L h^{-1}) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH).....	101
Figura 44 -	Consumo horário de combustível (L h^{-1}) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH).....	104

Figura 45 - Consumo específico de combustível ($\text{g (kW h}^{-1}\text{)}$) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)	105
Figura 46 - Emissão de particulados ($\text{(g (kW h}^{-1}\text{))}$ pelo motor do trator nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH) em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP).....	109
Figura 47 - Emissão de monóxido de nitrogênio (NO) ($\text{(g (kW h}^{-1}\text{))}$ pelo motor do trator nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH) em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP)	111
Figura 48 - Emissão de dióxido de nitrogênio (NO_2) ($\text{(g (kW h}^{-1}\text{))}$ pelo motor do trator nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH) em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP)	113
Figura 49 - Emissão de óxidos de nitrogênio (NO_x) ($\text{(g (kW h}^{-1}\text{))}$ pelo motor do trator nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH) em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP)	114
Figura 50 - Emissão de dióxido de carbono (CO_2) ($\text{(g (kW h}^{-1}\text{))}$ pelo motor do trator nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH) em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP)	115
Figura 51 - Emissão de oxigênio (%) pelo motor do trator nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH) em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP).....	116
Figura 52 - articulados ($\text{g (kW h}^{-1}\text{)}$) emitidos pelo motor em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcador disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)	120
Figura 53 - Monóxido de nitrogênio (NO) ($\text{g (kW h}^{-1}\text{)}$) emitidos pelo motor em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcador disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)	121
Figura 54 - Dióxido de nitrogênio (NO_2) ($\text{g (kW h}^{-1}\text{)}$) emitidos pelo motor em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcador disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)	121

- Figura 55 - Óxidos de nitrogênio (NO_x) (g (kW h⁻¹)) emitidos pelo motor em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcador disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)..... 122
- Figura 56 - Dióxido de carbono (CO₂) (g (kW h⁻¹)) emitidos pelo motor em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcador disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)..... 123
- Figura 57 - Oxigênio (%) emitidos pelo motor em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcador disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)..... 124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Resumo da ANOVA com os valores dos quadrados médios para os parâmetros força de tração (Ft), patinamento (δ), velocidade real (Vr), potência na barra de tração (NB), potência máxima fornecida pelo motor (NM), utilização do motor e capacidade operacional (COp), para as intensidades de tráfego, opções de sulcadores, sua interação, erro, coeficiente de variação e média geral	77
Tabela 2 -	Força de tração (kN), velocidade de deslocamento (km h^{-1}), potência na barra de tração (kW) e capacidade operacional (ha h^{-1}) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo, disco duplo com haste e disco duplo sem haste	79
Tabela 3 -	Patinamento das rodas motrizes (%), potência do motor (kW) e utilização do motor (%) para a área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)	88
Tabela 4 -	Força de tração (kN) patinamento (%), velocidade real (km h^{-1}), potência na barra de tração (kW), potência máxima fornecida pelo motor (kW), utilização do motor (%) e capacidade operacional (ha h^{-1}), para a área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcadores disco duplo, disco duplo com haste e disco duplo sem haste.....	91
Tabela 5 -	Resumo da ANOVA com os valores dos quadrados médios para o consumo horário (L h^{-1}) e consumo específico de combustível (g (kW h)^{-1}) para as intensidades de tráfego, opções de sulcadores, sua interação, erro, coeficiente de variação e média geral	99
Tabela 6 -	Consumo específico de combustível (g (kW h)^{-1}) para a área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo, disco duplo com haste e disco duplo sem haste	99
Tabela 7 -	Consumo horário de combustível (L h^{-1}) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH).....	101
Tabela 8 -	Consumo horário de combustível (L h^{-1}) e consumo específico de combustível (g (kW h)^{-1}), para a área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), com a diferença para o tráfego aleatório (TA) nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo, disco duplo com haste e disco duplo sem haste	103
Tabela 9 -	Resumo da ANOVA com os valores dos quadrados médios para particulados dos gases, óxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de carbono (CO_2) e oxigênio (O_2) expelidos nos gases do motor para as intensidades de tráfego, opções de sulcadores, sua interação, erro, coeficiente de variação e média geral	106

- Tabela 10 - Particulados ((g (kW h)⁻¹), monóxido de nitrogênio ((g (kW h)⁻¹), dióxido de nitrogênio ((g (kW h)⁻¹), óxidos de nitrogênio ((g (kW h)⁻¹), dióxido de carbono ((g (kW h)⁻¹) e oxigênio (%) para a área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), nas configurações de sulcadores disco duplo, disco duplo com haste e disco duplo sem haste. 107
- Tabela 11 - Particulados (g (kW h⁻¹)), monóxido de nitrogênio (g (kW h⁻¹)), dióxido de nitrogênio (g (kW h⁻¹)), óxidos de nitrogênio (g (kW h⁻¹)), dióxido de carbono (g (kW h⁻¹)) e oxigênio (%) para a área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcador disco duplo, disco duplo com haste e disco duplo sem haste 118

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Limites máximos de emissões de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) + óxidos de nitrogênio (NOx) e material particulado (MP) para motores de máquinas agrícolas e rodoviárias (PROCONVE MAR-1).....	38
Quadro 2 - Experimentos realizados no trabalho com a data de realização, objetivo e configurações de sulcadores utilizadas na semeadora.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise da Variância
ASAE	<i>American Society of Agricultural Engineers</i>
Ce	Consumo específico de combustível
Ch	Consumo horário de combustível
CO ₂	Dióxido de carbono
cv	Cavalo vapor
CV	Coefficiente de variação
DD	Disco duplo
DDcH	Disco duplo com haste
DDsH	Disco duplo sem haste
DGPS	<i>Differential Global Positioning System</i>
g (kWh) ⁻¹	Gramas por quilowatt-hora
GPS	Sistema de posicionamento global (<i>Global Positioning System</i>)
h	Hora
kg	Quilograma
kN	Quilonewton
kPa	Quilopascal
kW	Quilowatt
Lbf pol ²	Libra por polegada quadrada
m	Metro
MAR-1	Máquinas Agrícolas e Rodoviárias – Fase 1
Mg	Mega grama
N	Newton
Nm	Newton metro
NO	Monóxido de nitrogênio
NO ₂	Dióxido de nitrogênio
NO _x	Óxidos de nitrogênio (NO + NO ₂)
O ₂	Gás oxigênio
Pés	Unidade de medida (0,304 metros)
ppm	parte por milhão
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
rpm	Rotação por minuto
RTX	<i>Real-Time Extended</i>
ST	Sem tráfego
TA	Tráfego aleatório
TC	Trator e colhedora
TCP	Trator e colhedora e pulverizador
TDA	Tração dianteira auxiliar
TDP	Tomada de potência
vol	Volume
Ft	Força de tração
Vr	Velocidade real
NB	Potência na barra de tração
NM	Potência no motor
COp	Capacidade operacional
δ	Patinamento das rodas motrizes
HC	Hidrocarbonetos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	25
1.1 HIPÓTESES	26
1.2 OBJETIVOS	27
1.2.1 Objetivo geral.....	27
1.2.2 Objetivos específicos.....	27
1.3 CONTRIBUIÇÕES DA TESE	27
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1 TRÁFEGO CONTROLADO DE MÁQUINAS	29
2.2 COMPACTAÇÃO DO SOLO	31
2.3 COMPORTAMENTO DO TRATOR EM TRACÇÃO	33
2.4 EMISSÕES DE GASES POLUENTES DO MOTOR.....	36
2.5 SEMEADORAS	39
3. MATERIAL E MÉTODOS	43
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	43
3.2 ETAPAS DO TRABALHO	43
3.3 MÁQUINAS UTILIZADAS	47
3.3.1 Máquinas utilizadas na propriedade	47
3.3.2 Máquinas utilizadas no experimento	50
3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	53
3.4.1 Intensidades de tráfegos.....	53
3.4.2 Configuração dos sulcadores	55
3.5 EXECUÇÃO DO TRABALHO	58
3.6 VARIÁVEIS ANALISADAS	60
3.7 EMISSÕES DE GASES POLUENTES E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL.....	69
3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	76
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
4.1 DESEMPENHO DO TRATOR	77
4.1.1 Tráfego controlado de máquinas agrícolas	77
4.1.2 Tráfego controlado x tráfego aleatório.....	91
4.2 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	98
4.2.1 Tráfego controlado de máquinas agrícolas	98
4.2.2 Tráfego controlado x tráfego aleatório.....	103
4.3 EMISSÕES DE GASES POLUENTES DO MOTOR.....	105
4.3.1 Tráfego controlado de máquinas	105
4.3.2 Tráfego controlado x tráfego aleatório.....	117
5. CONCLUSÕES.....	125
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
APÊNDICE A – QUADRO DE DESEMPENHO DO TRATOR NO DINAMÔMETRO.....	137
APÊNDICE B – GRÁFICO DE TORQUE, POTÊNCIA E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DO TRATOR.....	138
APÊNDICE C- TORQUE APLICADO NO DINAMÔMETRO.....	139

1. INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira passa por um processo de modernização com muita rapidez, criando novos métodos e técnicas de manejos agrícolas. Acompanhando esse processo tecnológico, as indústrias de máquinas agrícolas vêm apresentando novos e sofisticados produtos, buscando sempre, o aumento da eficiência no uso dos insumos e recursos.

Percebe-se, também, nas áreas agrícolas que utilizam elevada tecnologia, uma tendência no aumento do tamanho e, conseqüentemente, da massa das máquinas agrícolas. Este fato está relacionado, principalmente, à escassez e valorização da mão de obra rural, e a intensidade de trabalho em curtos períodos de tempo, como nas janelas de semeadura, devido às características das plantas melhoradas e incorreto dimensionamento das máquinas agrícolas. O menor tempo destinado para operações agrícolas mecanizadas, impõe que muitas atividades mecanizadas sejam realizadas com máquinas em condições de umidade excessiva do solo, favorecendo a sua compactação.

Em resposta ao aumento do tamanho das semeadoras, o crescimento proporcional dos tratores é imprescindível, para que se mantenha a relação entre a massa e a potência adequada para suprir a necessidade de tração desse implemento. Porém, com o tráfego destas máquinas tem-se como consequência a compactação do solo, que gera inúmeros problemas como a redução na infiltração de água, danos de produtividade das culturas, aumento da demanda de potência em tração, aumento no consumo de combustível e das emissões de gases poluentes pelo motor do trator.

A transferência de massa das máquinas agrícolas para o solo modifica sua estrutura física, o fluxo de gases, a movimentação da água, altera a dinâmica de absorção de nutrientes, reduz o desenvolvimento do sistema radicular da cultura e afeta negativamente a produtividade, especialmente em anos com déficit hídrico.

O ambiente inicial para a germinação da semente e o início do desenvolvimento da planta é fundamental para produção, e parte disso é atribuído às semeadoras, as quais têm a função de cortar a palha sobre o solo, abrir um sulco, dosar a quantidade de sementes e posicioná-las no solo em espaço e profundidade adequadas, cobrir o sulco e acondicionar o solo ao redor das sementes. Diante disso, necessitam de mecanismos adequados e eficientes para as diferentes situações de solo, topografia e tecnologias utilizadas nas áreas agrícolas.

As movimentações de máquinas no campo para realizar as operações agrícolas são necessárias e não podem ser eliminadas. No entanto, manejos podem ser utilizados para

reduzir o efeito de tráfego desses equipamentos sobre a produção das culturas, bem como a redução da compactação do solo.

Uma alternativa para minimizar a compactação do solo oriunda do excesso de massa das máquinas agrícolas, e dar condições para que as semeadoras possam desempenhar sua função da melhor maneira, é o uso do tráfego controlado de máquinas por meio de técnicas que envolvam o conceito de agricultura de precisão. Esta técnica baseia-se na disciplina e no controle dos deslocamentos, e se fundamenta no dimensionamento das linhas de tráfego de máquinas e equipamentos em locais específicos. Desta forma, a compactação do solo se restringe a locais permanentes.

Diversas são as vantagens do sistema de tráfego controlado, podendo ser citadas: a redução da compactação aleatória; maior infiltração de água no solo; melhor desenvolvimento radicular; maior atividade biológica do solo pela melhoria da aeração; maior rendimento operacional das máquinas agrícolas; aumento da eficiência na utilização de fertilizantes e dos nutrientes do solo; economia de combustível e, conseqüentemente, redução da emissão de gases de efeito estufa; dentre outras vantagens que o sistema oferece.

No entanto, são poucos os trabalhos, principalmente no Brasil, que estudam os benefícios e as características da técnica do tráfego controlado de máquinas agrícolas, relacionados ao desempenho do trator agrícola tracionando semeadoras com sulcadores específicos para cada situação de compactação provocada pelo tráfego de máquinas. Também, as vantagens ambientais por meio da redução das emissões de gases poluentes pelo menor consumo de combustível, proporcionado pela menor demanda de potência das semeadoras.

1.1 HIPÓTESES

Com a ausência de sulcadores nas linhas de tráfego é possível ter melhor desempenho do trator na área com tráfego controlado de máquinas;

Utilizando o tráfego controlado de máquinas, devido a permanência das linhas de tráfego, é possível maior velocidade de trabalho e redução do consumo de combustível;

A maior emissão de gases pelo motor do trator pode ocorrer quando se utilizar sulcadores do tipo haste e ser menor com o tráfego controlado de máquinas;

Deixar de semear nas linhas de tráfego pode ser favorável para reduzir a emissão de gases pelo motor do trator.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi verificar o desempenho em tração e as emissões de gases do motor de um trator agrícola, em área com tráfego controlado de máquinas em diferentes intensidades, tracionando uma semeadora equipada com três configurações de sulcadores.

1.2.2 Objetivos específicos

Determinar os ganhos no desempenho do trator na operação de semeadura com ausência de sulcadores nas linhas de tráfego;

Verificar a contribuição do tráfego controlado de máquinas em relação ao tráfego aleatório no desempenho do trator em operação de semeadura;

Quantificar a economia de combustível na operação de semeadura em área com tráfego controlado de máquinas;

Determinar a contribuição do tráfego controlado de máquinas na redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂), oxigênio (O), monóxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e de material particulado expelidos pelo escapamento do trator na operação de semeadura;

Verificar as emissões de gases do motor com diferentes configurações de sulcadores em área com tráfego controlado de máquinas.

1.3 CONTRIBUIÇÕES DA TESE

A crescente utilização de tecnologia e insumos agrícolas exige novas técnicas para o melhor aproveitamento destes recursos. Com a realização deste trabalho, importantes informações estarão disponíveis para a sociedade sobre a técnica do tráfego controlado de máquinas, que apresenta ganhos significativos em eficiência na utilização das máquinas agrícolas.

Apresenta benefícios que vão desde os operadores de máquinas agrícolas, pela automação na condução das máquinas, aos produtores rurais pela menor utilização de insumos

e melhor eficiência dos utilizados e, para a indústria e revendas, pela possibilidade de oferecer produtos que justificam sua utilização.

A necessidade de reduzir as emissões de gases poluentes, pelos motores das máquinas agrícolas, torna este trabalho de importante relevância à sociedade, devido aos significativos ganhos na redução do consumo de combustível e emissões de gases poluentes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TRÁFEGO CONTROLADO DE MÁQUINAS

O tráfego controlado foi definido por Taylor (1983), como um sistema de produção agrícola em que a zona de cultivo e as faixas de tráfego são permanentemente separadas. Este sistema consiste em confinar as linhas de tráfego das máquinas agrícolas na menor área possível, denominadas de linhas permanentes, ou seja, criar estradas de rodagem pré-definidas para o deslocamento das máquinas agrícolas nas áreas agrícolas (ALBA et al., 2011). Estas linhas permanentes devem ocupar uma área de 10 a 20% (TULLBERG et al., 2003).

Este sistema envolve uma mudança nos princípios da agricultura, passando de um tráfego aleatório tradicional para um sistema com planejamento de linhas fixas de rodagem, no qual há o controle de todas as entradas de máquinas no talhão (McHUGH et al., 2009).

A ferramenta do tráfego controlado de máquinas sobre o solo foi estudada por cientistas desde a década de 1960, porém, nos últimos 20 anos que o sistema foi pesquisado com maior intensidade (TULLBERG et al., 2007). Ainda, segundo esses autores, a partir da década de 1990, na Austrália, o sistema passou a ser adotado em larga escala pelos agricultores alcançando área superior a dois milhões de hectares. Atualmente, o tráfego controlado também tem sido utilizado na Nova Zelândia, Estados Unidos e no Canadá, onde o volume das precipitações pluviais é reduzido e se faz necessário melhorar a eficiência do uso da água.

No Brasil as primeiras experiências com tráfego controlado foram na cultura da cana-de-açúcar, por ser uma cultura que permanece na mesma área durante anos, possui elevado valor econômico e utiliza máquinas e equipamentos pesados (ALBA et al., 2011).

No tráfego controlado ocorre deslocamento dos rodados em faixas compactadas, aumentando a tração das máquinas e potencializando a eficiência de campo dos equipamentos durante as operações agrícolas (ROSSET e RAMPIM, 2013). Assim, aumenta a capacidade de suporte de carga nas faixas de tráfego, melhora a capacidade de condução das máquinas e promove condições favoráveis para o crescimento das plantas sem a necessidade de cultivo profundo (TAYLOR, 1983). Nesta situação, o desenvolvimento das raízes das culturas não é afetado pelo elevado tráfego de máquinas, o qual é agravado ao ser realizado desordenadamente (ROSSET e RAMPIM, 2013).

De acordo com Taylor (1983), a separação de faixas de tráfego de zonas de cultivo, usando o tráfego controlado, pode manter condições ótimas para as rodas de tração e também

para o crescimento da cultura. Este sistema pode reduzir o consumo de energia no campo, quando comparado ao sistema convencional, devido à baixa força de tração necessária para a mobilização primária através da semeadora na abertura do sulco (TULLBERG, 2000).

Outra característica do sistema de tráfego controlado, é permitir que a máquina responsável pelos tratos culturais não danifique as plantas. Isso é possível através do dimensionamento correto das linhas de tráfego dessas máquinas. Internacionalmente é conhecido como *tramlines*, em que, na época da semeadura da cultura, deixa-se de semear as linhas correspondentes às rodas do trator, ficando, assim, facilmente visíveis para as demais operações (WILES e YAMAOKA, 1981), de forma a não amassá-las.

Para a utilização desse método, exige-se que a largura da semeadora, da barra de pulverização e largura de trabalho do distribuidor centrífugo sejam correspondentes e também permitam pequenos ajustes na largura dos pneus do trator. Nas plantas das linhas adjacentes aos espaços deixados para a passagem das rodas do trator, podem surgir brotações laterais e mais grãos por plantas que minimizam a redução da população de plantas pela passagem do pulverizador (MATTHEWS, 2000).

Outros benefícios podem ser obtidos na economia de custos de combustível, eliminando o desperdício de sobreposições, ou reduzir perdas de produtividade, devido a falhas na aplicação de fertilizantes ou agrotóxicos (HAMZA e ANDERSON, 2005). Nikolic et al. (2001), relatam redução no consumo de energia de 20-25% no sistema de tráfego controlado, juntamente com redução do consumo de combustível.

Pesquisas realizadas na Austrália detectaram aumento de 16% na produtividade e 30% nos lucros, pelo uso do sistema de tráfego controlado quando comparado com o sistema convencional, na produção de grãos de sorgo, trigo e milho (TULLBERG, 1997).

A literatura confirma os benefícios ambientais do tráfego controlado, como a redução da compactação do solo, controle de erosão, aumento da biodiversidade do solo, conservação de matéria orgânica, reduzida necessidade de energia para o sistema plantio direto, o aumento da eficiência do uso de fertilizantes e reduções das emissões de gases, como os do efeito estufa (MOUAZEN e PALMQVIST, 2015).

Segundo Roque et al. (2010), a adoção do controle de tráfego permite melhorias na estrutura física do solo e redução no consumo de combustível, pois uma maior área de solo não será compactada e apresentará menor resistência à ruptura do solo na passagem de implementos de mobilização, bem como, melhoria no potencial de tração do trator (relação pneu-solo), o que aumenta o rendimento da tração, consequência do tráfego do maquinário em solo mais firme (linhas de tráfego).

2.2 COMPACTAÇÃO DO SOLO

A compactação do solo tem sido apontada como uma das principais causas da degradação física de solos agrícolas. Ela está diretamente relacionada com a qualidade dos solos, e ocorre devido a pressão aplicada pelos rodados das máquinas ou pisoteio de animais, ultrapassando a capacidade de suporte de carga que o solo oferece (MAZURANA et al., 2013). Entre as principais causas da degradação do solo na produção agrícola, constata-se o tráfego de máquinas, especialmente nos atributos físicos, tais como a porosidade e a densidade (KAMIMURA et al., 2009). É determinada pela pressão de pré-consolidação que mede as deformações plásticas na sua estrutura (MAZURANA et al., 2013).

Segundo Ripoli et al. (2005), a diminuição do espaço poroso do solo, por qualquer motivo, ocasiona sua compactação ou adensamento, prejudicando o desenvolvimento das culturas. Quando esta diminuição ocorre devido ao tráfego de máquinas e implementos agrícolas, é chamada de compactação.

O aumento de densidade é influenciado pelo esforço ou pressão de compactação e pela umidade do solo (SZYMCZAK et al., 2014). A capacidade de suporte de carga mais elevada indica uma maior resistência à compactação, no entanto, esta camada de solo pode oferecer maior resistência à penetração das raízes (ARAÚJO et al., 2011).

Denardin et al. (2008) comentam que as dificuldades para a implantação do sistema plantio direto podem estar relacionadas ao tráfego indiscriminado de máquinas e implementos nas áreas agrícolas, que provocam sua degradação. Esses autores evidenciam que, por esse motivo, ocorreu um adensamento demasiado das partículas do solo, promovendo a compactação a qual restringiu o desenvolvimento do sistema radicular das plantas em profundidade, reduzindo a capacidade de retenção de água do solo.

A intensidade do processo de compactação do solo pelo tráfego, assim como a profundidade que o mesmo atinge, depende da magnitude e forma de aplicação das tensões pelas máquinas agrícolas (HAMZA e ANDERSON, 2005). Como exemplo, o tipo e massa das máquinas, tipo de rodados e pneus, carga sobre os rodados, pressão de insuflagem do pneu, velocidade de deslocamento e tipo de cobertura vegetal (ZHAO et al., 2010), e intrínsecos do solo como a densidade inicial, conteúdo de água, teor de argila, agregação e mineralogia (AJAYI et al., 2009).

As propriedades mecânicas do solo são modificadas pelo tráfego de máquinas agrícolas. Em geral, observa-se que a capacidade de suporte de carga do solo, estimada pela tensão de pré-consolidação, é maior em áreas submetidas ao tráfego de rodados de tratores e

colhedoras (CEPIK, 2006). Já a suscetibilidade do solo à compactação, expressa pelo índice de compressibilidade, diminui com o tráfego (SCHÄFFER et al., 2007). Da mesma forma, a resistência do solo ao cisalhamento é maior em áreas submetidas ao tráfego (BARBOSA et al., 2004). No entanto, estas alterações somente ocorrem quando a tensão aplicada for maior que a resistência do solo à deformação (SCHÄFFER et al., 2007).

A pressão de contato rodado-solo pode ser reduzida através da diminuição no peso sobre o eixo e/ou do aumento na área de contato (RAPER, 2005). O incremento da área de contato, por sua vez, pode ser obtido mediante o emprego de rodados de maiores dimensões, como o uso de esteiras ou pneus mais largos e de maior diâmetro, de um número maior de rodas por eixo ou do aumento na flexibilidade da carcaça dos pneus (CANILLAS e SALOKHE, 2001). A forma mais acessível de aumentar a flexibilidade da carcaça e, desse modo, a área de contato com o solo, é reduzir a pressão de inflação dos pneus ao valor mínimo necessário para a carga que incide sobre os mesmos (CHAMEN et al., 2003).

Schäffer et al. (2007) encontraram tensões medidas no centro da linha de tráfego a uma profundidade de 0,32 m que passaram de 80 kPa na primeira para 120 kPa na sétima passada do rodado dianteiro de uma colhedora de grãos, o qual apresentava uma pressão de contato de 120 kPa e suportava uma carga total de 3,5 Mg. Espessato et al., (2017) concluem também que a intensidade do tráfego influencia o rendimento da cultura após a sexta passagem com o trator. De acordo com Cunha et al. (2009), o efeito do tráfego do trator ocorre na camada superficial de 0-0,20 m, e a primeira passagem é a que causa maior compactação do solo, sendo que o efeito das passagens subsequentes é pequeno.

Outros dados relacionados a compactação do solo referem-se ao efeito do teor de água sobre esta e induzida pelo tráfego de rodados, o qual foi avaliado por Tarawally et al. (2004). Estes autores observaram um maior grau de compactação quando o tráfego (sete passadas de um trator com massa total de 10 Mg e pressão de contato pneu/solo de 83 kPa) foi realizado com o solo na umidade correspondente à capacidade de campo, seguido da condição saturada e seca.

No sistema plantio direto, o tráfego de máquinas agrícolas é reduzido em relação ao sistema de preparo convencional. No entanto, ainda influencia nas propriedades dos solos, mesmo apenas realizando as operações de semeadura, pulverização e colheita, já que os rodados dos tratores e colhedoras possuem grande potencial de compactação do solo em superfície e sub-superfície (SCHULER e WOOD, 1992). Para Abreu et al. (2004) outras alternativas podem ser empregadas, como a utilização de plantas com sistema radicular agressivo e profundo capaz de penetrar na camada compactada e promover descompactação.

Entretanto, essas culturas normalmente têm baixo potencial de mercado, e isto inviabiliza economicamente sua utilização.

Outra alternativa mecânica, para a redução de problemas originados pela compactação das áreas em sistema plantio direto, é o uso ou o aprofundamento da ação das hastes sulcadoras para deposição da adubação no momento da semeadura (NUNES et al., 2015). A escarificação esporádica em semeadura direta vem sendo recomendada, em alguns casos, para o rompimento de camadas compactadas que surgem neste sistema (KLEIN e CAMARA, 2007).

A alta resistência imposta pelas rodas aos componentes rompedores que incidem em solos argilosos, associada à sua grande retenção de umidade, tem proporcionado constantes adaptações das máquinas, na busca de soluções de problemas como: corte da palha; dosagem das sementes e do adubo nas quantidades pré-estabelecidas; aderência do solo nos componentes; desuniformidade na profundidade de semeadura; cobertura e compactação irregular do solo sobre as sementes, que afetam a uniformidade e a emergência das plantas, além de exigir maior esforço do trator (MERCANTE et al., 2005).

Solos mais compactados aumentam o desempenho de tração dos pneus, mas requerem maior esforço para serem mobilizados. Isso, acarreta em maior desgaste de máquinas e equipamentos, prejudicando ou mesmo impedindo o desenvolvimento radicular das plantas (SILVA et al., 2000).

Neste sentido, pesquisadores como Oliveira et al. (2003), concluíram que a compactação afeta o desempenho de uma semeadora, com incrementos no consumo de combustível, no patinamento e, por consequência, na exigência de potência do trator, como também Rosa et al. (2011) observaram o efeito da compactação na demanda de tração em uma escarificação, evidenciando a existência de relação entre a compactação e a demanda de força das operações agrícolas.

2.3 COMPORTAMENTO DO TRATOR EM TRAÇÃO

O trator agrícola é composto de motor, sistema de transmissão, sistema de direção, de sustentação e componentes complementares, onde são acoplados implementos e máquinas diversas (SCHLOSSER, 1997). O torque produzido no motor é transmitido e multiplicado até as rodas motrizes, onde é convertido em força tangencial e disponibilizado na barra de tração na forma de tração líquida, sendo esta, utilizada para tracionar equipamentos e vencer a resistência ao rolamento (LINARES et al., 2006).

De acordo com Schlosser (2001), a barra de tração é usada para equipamentos de arrasto, o que possibilita a aplicação da força de tração do trator em um só ponto. A tração é a força que um trator desenvolve ao tracionar uma carga, e o ponto do trator utilizado para pôr à disposição do implemento a potência motriz é a barra de tração. Este acoplamento é único, e o sentido desta força é em linha horizontal na direção do trator, ou paralela quando o implemento estiver sobre o nível do solo (Schlosser, 1996).

O deslocamento de tratores sobre o solo provoca tensões mecânicas diretamente abaixo do pneu. As características dessa distribuição de tensões são dependentes de parâmetros dos pneus, tais como, carga da roda e pressão interna, bem como das condições do solo (KELLER, 2005). Biris et al. (2007) concluíram que as tensões no solo são fortemente influenciadas pela distribuição da carga na área de contato pneu-solo.

A massa do trator reflete no seu desempenho em campo e pode definir, também, a sua aptidão para executar determinadas tarefas (MÁRQUEZ, 1990). A relação massa/potência pode ser obtida a partir do conhecimento da potência fornecida pelo motor do trator em relação a sua massa total (ESTRADA et al., 2016) e, segundo esses mesmos autores, existe uma tendência nos tratores agrícolas de reduzir a relação massa/potência com o aumento da energia do motor.

Segundo Schlosser et al. (2005) os tratores mais leves, com relações massa/potência em torno de 35 kg kW^{-1} , são adequados à execução de operações mais leves e a maiores velocidades, tais como pulverização, transporte interno e externo à propriedade, entre outras. Já os tratores com relação massa/potência em torno dos 60 kg kW^{-1} são apropriados a operações de maior exigência de força de tração, desenvolvendo menores velocidades, tais como: aração, escarificação, gradagem e outras. O uso de tratores de potência elevada e com baixa relação massa/potência na execução de trabalhos pesados, requer adicionar lastro (SCHLOSSER et al., 2005).

Żebrowski (2010), menciona que para a determinação das propriedades de tração de um trator, incluindo a eficiência de tração, é essencial a determinação da direção e dos valores de potência que chegam às rodas. Estes, por sua vez, dependem das forças e dos momentos aplicados aos rodados, bem como, do tipo e da condição do solo. Schlosser (2001) define que os rodados são uma das partes mais importantes, pois além de outras funções, são responsáveis por converter o movimento rotativo do motor em movimento linear útil, que proporciona o deslocamento.

O aumento do patinamento pode incrementar o grau de compactação induzido pelos rodados responsáveis pela tração (RAPER, 2005), porque a pressão de contato pneu-solo é

adicionada a deformação produzida pelas tensões cisalhantes aplicadas pelos rodados (SÁNCHEZ - GIRÓN, 1996). Para Gabriel Filho et al. (2010), na superfície com solo mobilizado o desempenho do trator foi inferior ao obtido no solo firme e no solo coberto com palha de milho e braquiária.

Tensões superiores ao valor médio, considerando a área de contato pneu-solo, também podem ser geradas pela transferência de massa do eixo dianteiro e do implemento para o eixo traseiro, enquanto o trator desenvolve esforço de tração (ALAKUKKU et al., 2003). O nível de deformação do solo relaciona-se, também, ao número de passadas realizadas no mesmo local. Na superfície do solo, os maiores incrementos no grau de compactação ocorrem logo após as primeiras passadas (BOTTA, 2005). No entanto, segundo esses mesmos autores, à medida que os tráfegos vão se sucedendo, o aumento no grau de compactação comparativamente às áreas sem tráfego atinge profundidades maiores.

Jorajuriá Collazo (2005) comenta que um grande número de passadas de um trator leve pode ocasionar compactação subsuperficial, em níveis semelhantes a poucas passadas de um trator pesado. Pressupõe-se que o tráfego de tratores de diferentes massas, em conjunto com a intensidade de passagens, pode interferir nos atributos físicos do solo de maneira que esses se tornem restritivos para o desenvolvimento radicular e de plantas (CORTEZ et al., 2014).

No entanto, Cortez et al. (2014), concluem que interpretando mapas de isolinhas para o perfil do solo, é possível observar pontos críticos de resistência à penetração do solo mais evidentes para o trator de menor massa, em virtude da utilização de rodados mais estreitos, evidenciando assim, a área de contato ser um fator fundamental para a avaliação da distribuição da massa do trator no solo.

A operação no subsolo ou, o trabalho em profundidades maiores utilizando hastes, influencia no aumento da demanda de energia e no aumento do patinamento das rodas motrizes do trator, exigindo mais força de tração para trabalhar em profundidades maiores (CEPIK et al., 2010). Segundo Garcia et al. (2005) é importante conhecer a capacidade da máquina a fim de selecionar a potência e os equipamentos que desempenharão as operações agrícolas em tempo hábil, evitando, desta forma, custos adicionais com máquinas superdimensionadas, que são comuns nas propriedades agrícolas.

Neste sentido, o sistema de tráfego controlado pode reduzir a demanda de tração de forma significativa, através da menor resistência ao rolamento do pneu devido ao deslocamento em áreas trafegadas permanentes, e menor exigência ao abrir o sulco em áreas com menor compactação ocupadas pelas áreas destinadas ao cultivo das plantas e sem tráfego

das máquinas (CHEN e YANG, 2015). Mion et al. (2016) concluem que é necessário buscar soluções para reduzir as pressões de trabalho, de forma a causar menor compactação superficial do solo devido às tensões verticais e horizontais.

A criação de estratégias de condução dessas máquinas sobre o solo, de forma a concentrar seus tráfegos em locais determinados, para que a compactação gerada por elas possa retornar em benefícios para si própria e não em prejuízos para as plantas, aparenta ser uma alternativa eficiente e sustentável.

2.4 EMISSÕES DE GASES POLUENTES DO MOTOR

O setor agropecuário foi responsável por 4,0% do consumo de energia do país, considerado de baixo consumo energético quando comparado a produção industrial, transporte de carga e mobilidade das pessoas, que juntos perfazem aproximadamente 65% do consumo de energia do país (EPE, 2017).

O uso de tecnologias de ponta nos processos mecanizados é importante para a eficiência econômica e produtiva da agricultura. Atualmente, a maioria das máquinas utilizadas no meio rural são dotadas de motores de ciclo Diesel, por causa de sua eficiência e confiabilidade (PERIN et al., 2015).

Devido à sua alta eficiência, durabilidade e flexibilidade, há uma tendência mundial de utilização crescente destes motores na indústria, o que reflete num aumento da demanda por óleo Diesel em relação aos demais derivados de petróleo. A máquina a óleo Diesel é a que alcança os maiores rendimentos (cerca de 45%), comparada com as demais de combustão interna (MASSAGARDI, 2004).

Por outro lado, os motores Diesel produzem maiores emissões quando comparado com os de ciclo Otto, especialmente de NO_x e MP (BRIJESH e SREEDHARA, 2013). As emissões associadas ao uso de energia direta nas operações no campo contribuem, principalmente, aos impactos ambientais como as alterações climáticas e acidificação dos ecossistemas (STRANDDORF et al., 2001). Nos últimos 250 anos as concentrações de alguns gases, como o CO₂, aumentaram a níveis críticos. Desta maneira, 75% dos gases emitidos são oriundos da queima de combustíveis (REIS et al., 2013).

O óleo Diesel é um combustível de composição complexa derivado do petróleo, constituído, basicamente, por hidrocarbonetos parafínicos, olefínicos e aromáticos e, em menor quantidade, por substâncias cuja fórmula química contém átomos de enxofre, nitrogênio, metais, O₂, entre outros (FERREIRA et al., 2008).

Na análise teórica do processo de combustão completa do combustível, os produtos resultantes deste processo seriam apenas água e CO_2 , entretanto isto não ocorre devido às condições transientes do motor de ciclo Diesel (PETRANOVIC et al., 2017). Como os motores a Diesel geralmente operam com excesso de O_2 , as emissões de hidrocarbonetos e de monóxido de carbono são minimizadas, porém, entre os principais poluentes emitidos por esses motores, destacam-se os materiais particulados (FERREIRA et al., 2008).

De acordo com pesquisas realizadas analisando misturas de combustíveis, Perin et al. (2015) concluíram que as emissões provenientes do motor agrícola diminuem com a redução da carga aplicada ao motor. Segundo Castellaneli et al. (2008), a maior exigência de potência provoca maior esforço do motor, além de aumento da temperatura dos gases de escape do motor.

A formação do MP, gerado na combustão do óleo Diesel, é bastante complexa e envolve uma sequência de etapas reacionais (pirólise, nucleação, crescimento e coagulação, agregação e oxidação) (NEEFT et al., 1996). Os hidrocarbonetos (HC) das emissões oriundos da combustão do óleo Diesel são compostos de elevada massa molar, gerados a partir da combustão incompleta do óleo Diesel e do óleo lubrificante (LOUGH et al., 2007). O impacto ambiental das variedades gasosas do HC resulta na formação de nevoeiro fotoquímico. O componente mais perigoso desta poluição atmosférica é de ozônio ao nível do solo (TORRES et al., 2003).

Entre as emissões de escape de motores Diesel, NO_x e partículas têm sido de grande preocupação para os órgãos reguladores ambientais (WALSH, 1993). No entanto, o monóxido de Carbono (CO) é o poluente mais perigoso que os motores de combustão interna emitem. É venenoso para todas as formas de vida. A inalação deste gás remove oxigênio do sangue das pessoas e exposição prolongada pode ser fatal (TORRES et al., 2003).

O primeiro produto de combustão incompleta que aparece, geralmente, é o monóxido de carbono por ser sua reação para o CO_2 mais lenta do que as taxas das outras reações em cadeia. Nas zonas mais quentes da câmara de combustão, onde existe uma presença excessiva de combustível (zona rica), as partículas sólidas de carbono são produzidas e, em seguida, são introduzidas nos gases de escape sob a forma de fuligem (TORRES et al., 2003).

Segundo Miragaya (2005), as emissões dos motores a Diesel estão diretamente relacionadas com a qualidade de queima obtida, em que é cada vez mais importante a realização de estudos para melhor compreensão deste processo, como um todo.

Até o ano de 2017, as máquinas agrícolas não se enquadravam no Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) criado no ano de 1986

pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). A nova legislação brasileira MAR-1 estabelece limites de emissões dos poluentes monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO e NO₂) e particulados para máquinas agrícolas e rodoviárias. Desta forma, através da MAR-1 prevê-se a redução da poluição de particulados em até 85% e a de NO_x em até 75% se comparada com motores não certificados ou não regulamentados (BRASIL, 2011).

Denominada PROCONVE MAR-1 (Máquinas Agrícolas e Rodoviárias – Fase 1), a nova legislação preconiza o contínuo desenvolvimento e atualização do PROCONVE e, com isso, inclui e estabelece no programa, limites máximos de emissão de ruídos para máquinas rodoviárias (construção) novas, nacionais e importadas, e estabelece ainda, limites máximos de emissão de poluentes (Quadro 1) para motores do ciclo Diesel, destinados às máquinas agrícolas e rodoviárias automotrizes novas, nacionais e importadas.

Quadro 1 - Limites máximos de emissões de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) + óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) para motores de máquinas agrícolas e rodoviárias (PROCONVE MAR-1).

(Potência (kW))*	CO (g (kW h) ⁻¹)	HC + NO _x (g (kW h) ⁻¹)	MP (g (kW h) ⁻¹)
130 ≤ P ≤ 560	3,5	4,0	0,2
75 ≤ P < 130	5,0	4,0	0,3
37 ≤ P < 75	5,0	4,7	0,4
19 ≤ P < 37	5,5	7,5	0,6

*Potência máxima de acordo com a Norma ISO 14396:2002, que a critério do IBAMA poderá adotar norma ABNT equivalente.

Fonte: Brasil (2011).

A implementação de uma prática específica de tráfego em campo pode influenciar as questões ambientais adicionais além daquelas influenciadas pela compactação do solo induzida pelo tráfego, por exemplo, as emissões de diferentes operações em campo (BOCHTIS et al., 2010).

He et al. (2012) relatam que em sistema de tráfego controlado pode ocorrer redução do consumo total de combustível em comparação com sistema de plantio tradicional. Chen et al. (2008) apresentaram um estudo em relação aos efeitos do tráfego controlado de máquinas, em comparação ao tráfego aleatório, sobre o uso de energia para todas as operações e,

encontraram redução de 23% do consumo de energia no sistema de tráfego controlado quando comparado ao tradicional.

Embora se tenha muitos resultados positivos desta ferramenta, Chen e Yang (2015) comentam que é necessária uma exploração mais profunda sobre o efeito a longo prazo do sistema de tráfego controlado na produtividade, economia de energia, eficiência no seu uso e, também, nas emissões e opacidade dos gases expelidos pelos motores.

2.5 SEMEADORAS

Com a necessidade cada vez maior de produção de alimentos, vários sistemas de produção agrícola vêm sendo desenvolvidos pelo homem, sendo que alguns vêm esgotando e empobrecendo os solos, pois estão sendo usados de maneira inadequada. Por essa razão, tem-se buscado o uso de sistemas para a conservação do solo, entre eles a semeadura direta. Entretanto, as semeadoras utilizadas nesse sistema de produção sofreram alterações em todo seu processo de fabricação, tornando-as robustas, pesadas e com órgãos ativos de ataque ao solo capazes de romper camadas compactadas de solo ocasionadas pelo intenso tráfego de máquinas, passando a exigir tratores com maior potência para tracioná-las (SILVEIRA et al., 2013).

A operação de semeadura é uma das mais importantes atividades do sistema de produção agrícola. O bom desempenho da semeadora reduz as perturbações do solo e mantém maior qualidade para germinação das sementes (FURLANI et al., 2008). Equipamentos agrícolas, quando utilizados corretamente, proporcionam melhor desempenho operacional e facilitam as tarefas do agricultor no campo, permitindo que os rendimentos se tornem mais elevados na semeadura, com melhor produtividade e otimização do cronograma de atividades (MODOLO et al., 2005).

Márquez (2004) relata que a qualidade de semeadura é obtida pela combinação de inúmeros fatores, como: do adequado preparo do sulco de semeadura, da cobertura de sementes, contato da semente com o solo e a água, do espaçamento entre linhas, e da localização das sementes no solo, tanto em profundidade quanto da posição na linha de semeadura.

Na operação de semeadura devem ser abertos sulcos com largura e profundidade mínimas, de forma a proporcionar economia de potência e, ao mesmo tempo, garantir a adequada deposição do fertilizante e das sementes para o bom desenvolvimento das plantas (SIQUEIRA e CASÃO JUNIOR, 2004). Para isso, o conjunto trator-semeadora deve ser bem

ajustado no que diz respeito às condições do solo da região, uma vez que em diferentes situações podem ocorrer maior resistência à penetração em profundidades maiores, acarretando problemas na emergência das plântulas (RODRIGUES et al., 2011).

Ainda em relação a demanda de potência, Andreolla e Filho (2006), trabalharam com uma semeadora-adubadora para semeadura direta em diferentes níveis de compactação na camada de 0 a 0,1m. Obtiveram diferenças significativas na força de tração da haste sulcadora, quando esse mecanismo sulcador estava trabalhando abaixo, numa profundidade de 0,125 m.

Conforme a American Society of Agricultural Engineers - ASAE (1999), a força de tração necessária para a operação de semeadoras de grão graúdos, em linha (semeadoras de precisão), na direção horizontal do deslocamento, já incluída a resistência ao deslocamento da máquina, com bom leito de semeadura, é de 3400 N por linha de semeadura, podendo ter uma variação de 35%.

Conte et al. (2009), estudando hastes sulcadoras em profundidades de 0,064 e 0,12 m, observaram maior exigência de energia quando foram utilizadas em maior profundidade. No entanto, esses autores afirmam que há um efeito benéfico para combater a escassez de água, causada pelo aumento no crescimento da raiz através do rompimento de camadas compactadas, o que contribuiria para a manutenção da produção de soja em condições de escassez de água.

O uso do sistema de abertura de sulcos para deposição de fertilizante do tipo haste sulcadora aumenta as exigências de força de tração, o consumo de combustível e o índice de patinamento, em comparação ao sistema de abertura de sulcos do tipo disco duplos (SANTOS et al., 2008).

Silva e Benez (2005) observaram, que as semeadoras-adubadoras equipadas com haste sulcadora, podem demandar 97,4% mais força na barra de tração do que se fossem equipadas com sulcador tipo disco duplo. Da Rosa et al. (2008) também encontraram maior esforço de tração em hastes sulcadoras de semeadoras que atuaram em áreas com maior grau de compactação, caracterizadas por maior tempo após a realização de uma escarificação.

A maior profundidade do sulco de semeadura, e a localização do sulco sob o tráfego dos rodados do trator, demandam maior força de tração (CONTE et al., 2009). Esses mesmos autores observaram que o aumento da profundidade de atuação do sulcador e da compactação do solo na linha de tráfego, implicou em aumento na área da seção transversal de solo mobilizado no sulco.

Quanto mais larga for a haste sulcadora e maior a profundidade para deposição do fertilizante ou semente, maior será a força de tração e a remoção de solo (GAMERO, 2008).

Modolo et al. (2013) observaram diferenças significativas entre os mecanismos sulcadores, sendo que o uso do sulcador do tipo haste provocou aumento de 46,12% na área de solo mobilizada, quando comparado ao mecanismo tipo disco duplo. Mello et al. (2003) verificaram que o mecanismo de haste sulcadora apresentou maior capacidade de mobilizar o solo, e provocou reduções na sua densidade e resistência à penetração, bem como, o aumento da macroporosidade.

O uso de disco de corte de palha e sulcadores do tipo haste, apesar de permitir operar em superfície com cerca de 8 Mg ha⁻¹ de resíduos, resulta em exposição de cerca de 40% da superfície de solo, em razão, principalmente, do solo retirado do sulco (ARATANI et al., 2006). A maior área de solo mobilizado pelo sulcador do tipo haste em relação aos demais, pode ser atribuída à maior profundidade de trabalho obtida e pela maior largura da ponteira do sulcador (CONTE et al., 2009).

Trogello et al. (2012), trabalhando com dois mecanismos sulcadores do tipo haste e disco duplo, não observaram diferenças de produtividade de grãos de milho. Entretanto, Arf et al. (2008), trabalhando com os mesmos mecanismos de abertura de sulcos na cultura do feijão, observaram incremento médio, em dois anos, de 9,9% na produtividade de grãos, quando da utilização do mecanismo tipo haste. Atribuíram esses resultados a capacidade de rompimento do solo por parte do sulcador tipo haste, melhorando a qualidade física dos solos.

Debiasi (2008), observou aumento da produtividade das culturas em função do uso de maiores profundidades de atuação da haste sulcadora de adubo, em condições de deficiências hídricas moderadas. Isso pode ser atribuído ao rompimento localizado de camadas compactadas existentes na superfície do solo, o que aumenta a infiltração e o armazenamento de água disponível para as plantas no solo e favorece o desenvolvimento radicular das culturas. De acordo com Santi (2007), as áreas de maior potencial produtivo são as que apresentam as maiores taxas de infiltração de água no solo.

Segundo McPhee et al. (1995), caso não exista compactação se justifica a utilização de disco duplo como sulcador pela menor necessidade de revolvimento do solo as operações de semeadura podem ocorrer em menor profundidade, devido à ausência de compactação no perfil do solo para causar impedimento da penetração das raízes das plantas.

Os mecanismos de corte não podem ser limitados a uma única configuração, para o bom desenvolvimento das plantas, pois uma única opção pode comprometer a germinação e emergência (SANTOS et al., 2010). Neste sentido, a seleção de sulcadores específicos para cada situação de compactação de solo, seja o disco duplo, haste sulcadora ou a combinação de ambos, pode promover ganhos significativos em rendimento e eficiência.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O local de realização deste trabalho foi o município de Carazinho, RS, em uma propriedade rural que utiliza desde 2014 o sistema de tráfego controlado de máquinas agrícolas. A área do experimento localiza-se na latitude 28°14'13,7" S e longitude 52°40'10" O e elevação de 595 m de elevação. O solo da área do experimento é classificado como Latossolo Vermelho, de textura argilosa (55% de argila) com relevo relativamente plano. A área vem sendo cultivada por mais de 20 anos com culturas anuais como soja, trigo e aveia, caracterizando um sistema de plantio direto consolidado.

3.2 ETAPAS DO TRABALHO

O presente trabalho foi dividido em três fases de execução. A primeira, que foi realizada nos dias 21 e 22 de setembro de 2016, constou de uma avaliação do trator agrícola tracionando a semeadora equipada com três opções de configurações de sulcadores em diferentes intensidades de tráfego. Essa avaliação teve como objetivo coletar dados iniciais e aprimorar técnicas e equipamentos para realização da segunda fase, realizada no dia 29 de março de 2017, que incluiu as mesmas avaliações anteriores, porém com maior tráfego de máquinas no solo e dados coletados em campo. A terceira fase, realizada no dia cinco de julho de 2017, avaliou as emissões de gases poluentes do motor através dos dados de demanda de potência oriundos do segundo trabalho.

Esta divisão em etapas, conforme descrita e resumida no Quadro 2, se fez necessária devido ao manejo da operação de semeadura na propriedade ser diferenciado, ou seja, no cultivo da soja, a semeadora opera com 28 linhas de semeadura, espaçadas em 0,34 m e configuradas com sistema de disco de corte ondulado para o corte de palha, sulcadores do tipo disco duplo desencontrados responsáveis pela deposição da semente e fertilizante (fósforo) no mesmo sulcador, e rodas de controle de profundidade e cobertura.

Quadro 2 - Experimentos realizados no trabalho com a data de realização, objetivo e configurações de sulcadores utilizadas na semeadora

Experimento	Data	Objetivo	Fator sulcador
Exp. 1	21 e 22/09/2016	Trabalho piloto	DD = 28 disco duplo; DDcH = 22 disco duplo e 6 hastes; DDsH = 22 disco duplo
Exp. 2	29/03/2017	Desempenho do trator	DD = 52 disco duplo; DDcH = 42 disco duplo e 10 hastes; DDsH = 42 disco duplo
Exp. 3	05/07/2017	Emissões e consumo de combustível	Dados do exp. 2

Fonte: Autor.

No cultivo de inverno, a semeadura da cultura do trigo e da aveia são realizadas com o mesmo conjunto de semeadoras, no entanto, com espaçamento reduzido para 0,17 m, totalizando 52 linhas. Nesta operação, a semeadora-adubadora é configurada apenas com o sulcador tipo disco duplo desencontrado para deposição das sementes juntamente com fertilizante e as rodas de cobertura que atuam também no controle da profundidade.

No entanto, nas linhas em que recebem o tráfego do pneu do trator (cinco linhas para cada pneu), a configuração consiste em disco de corte ondulado e haste sulcadora atuando em uma profundidade de 0,12 m para permitir a descompactação do solo (Figura 1). Desta forma, para semeadura de trigo e aveia, são utilizados 42 sulcadores do tipo disco duplo depositando sementes e fertilizantes no mesmo sulcador e 10 hastes sulcadoras para a deposição do fertilizante no sulco e das sementes conduzidas e depositadas na superfície para serem cobertas de solo com auxílio de pneus de arrasto conforme visualizado na Figura 1.

Figura 1 - Operação de semeadura de culturas de inverno (A) com descompactação das linhas de tráfego (B), através de sulcadores do tipo disco duplo com haste nos locais sem tráfego de pneu



Fonte: Autor.

Desta forma, o sistema de tráfego controlado adotado nesta propriedade realiza na semeadura das culturas do inverno (trigo ou aveia), a descompactação do solo causada pelo tráfego das máquinas durante o cultivo do trigo, aveia (inverno) e soja (verão) (Figura 2). Por este motivo, optou-se pela aquisição dos dados para realização da segunda fase após o cultivo da soja, permitindo assim, somar os tráfegos dos tratos culturais da aveia e a semeadura, tratos culturais e colheita da soja, somando um total de sete tráfegos de tratos culturais (adubação e pulverizador), um de colhedora e um do conjunto trator-semeadora no segundo experimento em relação ao primeiro.

Para a utilização do sistema de tráfego controlado, além da adaptação das máquinas para operarem com vão livre horizontal padrão entre elas, foi necessário o dimensionamento das linhas de tráfego por onde as máquinas irão trafegar quando estiverem em operação na área (Figura 2). Para este dimensionamento, levou-se em consideração a largura de trabalho das semeadoras, barras do pulverizador e plataforma da colhedora, para permitir que as linhas de tráfego estejam espaçadas a uma distância padrão. Deste modo, mantem-se ao longo dos anos as linhas de circulação de máquinas, viabilizando a realização de um manejo diferenciado da descompactação das áreas.

Figura 2 - Linhas de tráfegos das máquinas agrícolas na área de realização do trabalho, distanciadas nove metros uma das outras.



Fonte: Autor.

* Local de realização do trabalho de tráfego controlado de máquinas.

** Local de realização do trabalho de tráfego aleatório de máquinas.

O tráfego aleatório utilizado neste trabalho, foi realizado em área próxima ao tráfego controlado de máquinas. Nesta área, as máquinas não possuem a mesma bitola e trafegam sem orientação por satélite, ou seja, a movimentação das mesmas na área segue a forma tradicional, onde o operador das máquinas (trator, pulverizador e colhedora) realiza as operações agrícolas sem o uso de piloto automático. A semeadora utilizada na área com tráfego aleatório trabalha com configuração de disco de corte de palha, haste sulcadora para fertilizante, disco duplo para semente e rodas de controle de profundidade e compactação na cultura da soja, e disco duplo e rodas de controle de profundidade para a cultura da aveia.

3.3 MÁQUINAS UTILIZADAS

3.3.1 Máquinas utilizadas na propriedade

A propriedade rural dispõe de suas máquinas com bitolas dos rodados adaptadas para esse tipo de operação. Na semeadura, é utilizado um trator Massey Ferguson, modelo MF 7415 *Dyna 6* com vão livre horizontal, caracterizado pelo espaço interno entre cada pneu do mesmo eixo de 3 m. Nas operações que envolvem tratos culturais, é utilizado um pulverizador marca JAN, modelo Power Jet 2500, com barras de 27 m de comprimento, adaptado para operar com vão livre horizontal de 3 m, e um trator marca Ford, modelo 8030, também com espaçamento de 3 m, utilizado nas operações de adubação de cobertura que, juntamente com o pulverizador, realizam os tratos culturais (Figura 3).

Figura 3 - Máquinas utilizadas na propriedade: trator para tracionar a semeadora (A), trator para distribuição de fertilizantes (B), pulverizador (C) e colhedora de grãos (D).



Fonte: Autor.

Para a colheita, utiliza-se uma colhedora de grãos da marca CASE, modelo 2388, com plataforma de 9,12 m (30 pés), que possui vão livre horizontal de 3,06 m (Figura 3). Desta forma, todos os tráfegos de máquinas existentes na área de avaliação possuem vão livre horizontal compatível para permitir que o tráfego ocorra na menor área possível.

Em relação a largura máxima do tráfego, ou seja, a extremidade externa de cada linha de tráfego, essa foi determinada pelos pneus da colhedora, os quais possuem largura de 0,76 m, sendo a maior entre os pneus que equipam as demais máquinas descritas anteriormente. Desta forma, com as configurações apresentadas, 18,2% da área recebe tráfego do pneu das máquinas em diferentes intensidades, e outros 81,8% estão isentos de compactação pelos pneus.

A redução da área compactada pelo tráfego de máquinas permitiu ao produtor utilizar, em algumas áreas, um manejo diferenciado dos 18,2% da área que recebe compactação, utilizando plantas de cobertura com sistema radicular pivotante, as quais, são semeadas sobre as linhas do tráfego dos pneus em solo que recebem o revolvimento dos sulcadores da semeadora (Figura 4).

Figura 4 - Cultivo de nabo forrageiro nas linhas de tráfego das máquinas no auxílio a descompactação



Fonte: Autor

Essa, e as demais operações com tráfego controlado de máquinas, devem ser realizadas de acordo com o nível da área, para que o acúmulo de água da chuva não provoque a formação de erosão nesses locais. Na realização deste trabalho, a área experimental seguiu a semeadura em nível e estava ocupada apenas com a cultura da aveia preta (primeiro experimento) e soja (segundo experimento) como cobertura de solo.

As máquinas da propriedade possuem sistema de orientação por satélite do tipo DGPS - RTX, com precisão centimétrica e piloto automático, para manter o sentido e precisão do tráfego sobre a linha determinada, que é acompanhado pelo operador por meio de monitores presentes no posto de operação das máquinas (Figura 5). Durante todas as operações agrícolas, as máquinas são guiadas pelas linhas de tráfegos pré-confeccionadas (Figura 2), distribuídas em distâncias de nove metros para as operações de semeadura e colheita, e 27 m para as operações de tratos culturais. Desta forma, todo o tráfego das máquinas ocorre em locais definidos, sendo possível manter as linhas de circulação de máquinas permanentes ao longo dos anos.

Figura 5 - Trator Ford 8030 utilizado para distribuição de fertilizantes, equipado com receptor DGPS, piloto automático e monitores para o acompanhamento das operações



Fonte: Autor.

3.3.2 Máquinas utilizadas no experimento

O trator utilizado para a operação de semeadura em tráfego controlado foi da marca Massey Ferguson, modelo MF 7415 *Dyna6* (Figura 6), com tração dianteira auxiliar (TDA), cabinado, fabricado no ano de 2014. Este trator é equipado com motor ciclo Diesel de quatro tempos, com seis cilindros verticais, em linha, com duas válvulas por cilindro, totalizando cilindrada de 7400 cm³. Apresenta injeção de combustível por bomba mecânica e aspiração com um turbocompressor e intercooler, fornecendo potência nominal, de acordo com o teste dinamométrico realizado, de 145,58 kW (197,8 cv) à 1795 rpm, e torque máximo de 893 Nm à 1402 rpm. No momento da realização do segundo experimento, o trator estava com 1200 horas de uso.

Figura 6 - Trator Massey Ferguson 7415 Dyna6 TDA utilizado no experimento para tracionar o conjunto de semeadoras em tandem.



O trator dos testes estava equipado com rodados dianteiros da marca Goodyear, especificação 18.4-26 R1 e traseiros da marca Firestone especificação 30.5L32 R1. Os quatro rodados possuíam lastragem hidráulica de 75% do volume total, além de lastragem metálica, sendo 34 blocos metálicos no suporte dianteiro, e quatro massas de 50 kg e uma de 200 kg no rodado traseiro, somando 400 kg por aro dos rodados traseiros, totalizando uma massa total do trator de 11.690 kg, conferindo uma relação massa/potência de $80,29 \text{ kg kW}^{-1}$ ($59,1 \text{ kg cv}^{-1}$).

A pressão interna dos pneus foi ajustada em $144,7 \text{ kPa}$ (21 lbf pol^{-2}) para os rodados dianteiros e $70,3$ ($10,2 \text{ lbf pol}^{-2}$) nos rodados traseiro, de acordo com recomendação do fabricante. A distribuição da massa do trator foi de 60,3% e 39,7% no eixo traseiro e dianteiro respectivamente (Figura 7).

Figura 7 - Medida da massa total do trator com a utilização de balança digital portátil.



Fonte: Autor

Utilizou-se duas semeadoras-adubadoras da marca Semeato, modelo SSM 27, de acoplamento na barra de tração do trator na forma de tandem (Figura 8A), configuradas com 14 linhas cada, totalizando 28 linhas de semeadura espaçadas em 0,34 m. No segundo experimento, utilizou-se o mesmo conjunto de semeadoras, porém com 52 linhas de semeadura, espaçadas 0,17 m. A configuração da linha de semeadura, no primeiro experimento, foi composta por disco de corte ondulado com 0,457 m de diâmetro, sistema sulcador para fertilizante e semente o qual compôs o segundo nível do trabalho, rodas de controle de profundidade e rodas compactadoras em formato “V”.

Figura 8 - Conjunto de semeadoras da marca Semeato, modelo SSM 27 em sistema de tandem, utilizadas no experimento (A), lastragem da semeadora com uso de fertilizante (B).



Fonte: Autor

No segundo experimento, utilizou-se como configuração da linha de semeadura um sistema sulcador para fertilizante e semente (o qual compôs o segundo nível), e rodas controladoras de profundidade. Para simular condições ideais de campo, utilizou-se lastragem das semeadoras com o uso de 2.060 kg de fertilizante nos reservatórios, caracterizando metade da capacidade máxima de armazenamento de sementes e fertilizantes (Figura 8B). Na configuração disco duplo com haste, foi adicionado disco de corte liso, com 0,457 m de diâmetro antecedendo o sulcador. O sulcador haste utilizado possui ângulo de ataque ao solo de 45° e largura da haste sulcadora de 0,015 m (Figura 8C). A semeadora operou lubrificada de acordo com o manual de operação e manutenção e com pressão interna dos quatro pneus de 275,8 kPa (40 lbf pol⁻²).

3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

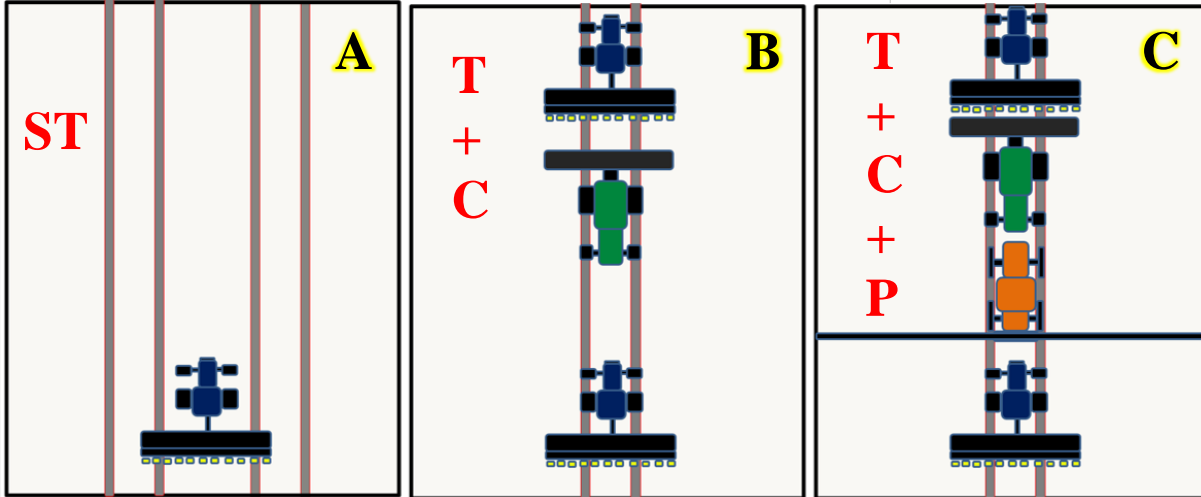
3.4.1 Intensidades de tráfegos

Os experimentos foram conduzidos em blocos casualizados, em um delineamento estatístico bifatorial sendo três intensidades de tráfego (tráfego do trator; tráfego do trator + colhedora; tráfego do trator + colhedora + pulverizador) e três configurações de sulcadores (disco duplo em todas as linhas da semeadora; disco duplo nas linhas sem tráfego e haste naquelas que recebem o tráfego; disco duplo nas linhas sem contato de pneu e ausência de sulcadores tipo disco duplo e haste nas linhas de tráfego). A coleta dos dados foi realizada em 50 m de comprimento em três blocos, totalizando 27 unidades experimentais.

Paralelamente a este trabalho, foi realizada a avaliação do desempenho em tração do trator nas mesmas configurações de sulcadores da semeadora em uma área que não utiliza sistema de tráfego controlado, ou seja, não ocorre o controle sobre a movimentação das máquinas na área, e seu deslocamento é efetuado de forma aleatória. Os valores encontrados nesta área experimental serviram para um comparativo entre as intensidades de tráfego no sistema controlado em relação ao aleatório. Desta forma, foi utilizada como testemunha para uma segunda análise deste trabalho.

O fator situação de tráfego controlado foi composto, inicialmente, pela passagem apenas do trator, caracterizando sua movimentação em área sem tráfego (ST) o qual se deslocou tracionando a semeadora fora das faixas demarcadas para o tráfego (Figura 9A). Para isso, o mesmo foi conduzido de forma manual sem o uso do piloto automático, deslocando-se o trator dois metros para a direita da linha pré-determinada para não permitir o contato do pneu com a linha de tráfego das máquinas. O segundo nível foi caracterizado pela soma da passagem do trator, na operação de semeadura, e o da colhedora na colheita da soja, caracterizando trator + colhedora (TC) (Figura 9B).

Figura 9 - Esquema das intensidades de tráfego sendo área sem tráfego (ST) (A), tráfego do trator + colhedora (TC) (B) e tráfego do trator + colhedora + pulverizador (TCP) (C)



Fonte: Autor.

No segundo nível, o trator operou no sistema de piloto automático para que a passagem fosse exatamente sobre a linha de tráfego (Figura 10). Verificou-se, também, o local por onde foi realizada a movimentação, para que não combinasse com o tráfego das máquinas responsáveis pelos tratos culturais, cuja largura de trabalho é de 27 m, portanto, o deslocamento se dá na linha do centro a cada três linhas de tráfego.

Figura 10 - Monitor do trator utilizado no experimento demonstrando a operação no modo piloto automático sobre as linhas de tráfego definidas.



Fonte: Autor.

O terceiro nível foi composto pela soma do tráfego do trator na operação de semeadura, da colhedora na colheita da soja e do pulverizador nos tratos culturais que totalizaram seis tráfegos e um tráfego do trator na distribuição centrífuga de fertilizantes, caracterizando trator + colhedora + pulverizador (TCP) (Figura 9C). O trator, na realização do experimento, também foi operado no modo de piloto automático para manter o tráfego sobre a orientação definida.

3.4.2 Configuração dos sulcadores

A configuração da semeadora, que compôs o segundo fator de variação, caracterizou-se pela variação do sistema sulcador, devido às diferentes intensidades de tráfegos existentes no fator anterior. Para isso, no primeiro experimento, a configuração inicial foi composta por 28 sulcadores do tipo disco duplo, denominado disco duplo (DD) com 0,406 m e 0,381 m de diâmetro dos discos, sendo estes, fixados no mesmo centro de giro. A segunda configuração foi através da associação de disco duplo e haste sulcadora, denominado disco duplo com haste (DDcH), sendo 22 discos duplos dos 28 sulcadores da situação anterior e o espaço por aqueles retirados ocupados por seis sulcadores do tipo haste sendo estes, localizados nas linhas 9, 10, 11, 18, 19 e 20, contadas da esquerda para direita da semeadora, que caracterizavam por coincidir sobre as linhas de tráfego dos pneus do trator agrícola.

Para a terceira configuração, manteve-se os 22 discos duplos anteriores e retirou-se as seis hastes sulcadoras, denominado disco duplo sem haste (DDsH) (Figura 11). Desta forma, a semeadora operou com apenas 22 linhas de semeadura simulando uma situação de não cultivo de plantas nas linhas trafegadas pelos pneus das máquinas (Figura 11A).

Conforme Spoor (1997), o sistema de cultivo com tráfego controlado caracteriza-se por manter a passagem das máquinas nas mesmas linhas a cada ano, e em muitos dos casos, essas linhas de tráfego não são cultivadas por culturas. Gasso et al. (2013) entendem que o sistema de tráfego controlado é importante para resolver problema de compactação do solo, em que áreas de culturas e faixas de tráfego estão permanentemente separadas, para proporcionar condições ideais para o crescimento da cultura (não trafegadas) e tração (compactadas). Assim justifica-se, neste trabalho, a ausência de sulcadores nas linhas trafegadas pelos pneus das máquinas.

Figura 11 - Semeadora com a configuração de sulcadores disco duplo sem haste (DDsH) nas linhas que recebem o tráfego de máquinas no primeiro (A) e segundo (B) experimento



Fonte: Autor.

Para o segundo experimento, seguiu-se a mesma sequência do primeiro, porém, com maior número de linhas na semeadora devido ao espaçamento de 0,17 m. Utilizou-se 52 linhas com disco duplo para a configuração DD, 42 linhas com disco duplo e 10 linhas com haste para a configuração DDcH, e 42 linhas com disco duplo na terceira configuração denominada DDsH. As linhas retiradas na terceira configuração, também foram aquelas que receberam o tráfego do pneu, sendo as linhas 14, 15, 16, 17, 18, 40, 41, 42, 43 e 44 numeradas da esquerda para direita (Figura 11B).

A terceira configuração seguiu um dos princípios desta técnica de movimentação de máquinas no solo de forma programada e organizada. Segundo Lague et al. (2003), no sistema de tráfego controlado as áreas de cultivo e as pistas de tráfego são permanentemente separadas para permitir que a compactação gerada pela movimentação das máquinas seja benéfica para o trator no sentido de melhorar a eficiência em tração dos pneus e para as plantas através de áreas destinadas a produção, localizadas entre as pistas, sendo estas, utilizadas, exclusivamente, para o cultivo das plantas não sofrendo compactação pelo tráfego de máquinas. Neste sentido, simulou-se essa condição, com o objetivo de verificar se existe e qual a intensidade dos benefícios em relação às demais configurações da semeadora.

Nas três situações estudadas, manteve-se o espaçamento de 0,34 m e 0,17 m entre as linhas (experimento 1 e experimento 2 respectivamente), e a utilização dos discos de corte ondulados antecedendo todos os mecanismos sulcadores no primeiro experimento e apenas os

sulcadores tipo haste no segundo, sendo estes, com pressão de mola intermediária, a mesma utilizada pelo produtor durante a semeadura.

Nas linhas configuradas com sulcador tipo disco duplo, as rodas de controle de profundidade e compactação estiveram presentes e manteve-se a regulagem da profundidade de atuação em 0,03 m. No tratamento composto pelas linhas com haste sulcadora, não se utilizou mecanismos de controle de profundidade para as hastes (Figura 12) e regulou-se a pressão intermediária nas molas, sendo posteriormente avaliada a profundidade média obtida pela sua ação, a qual foi constatada em 0,13 m.

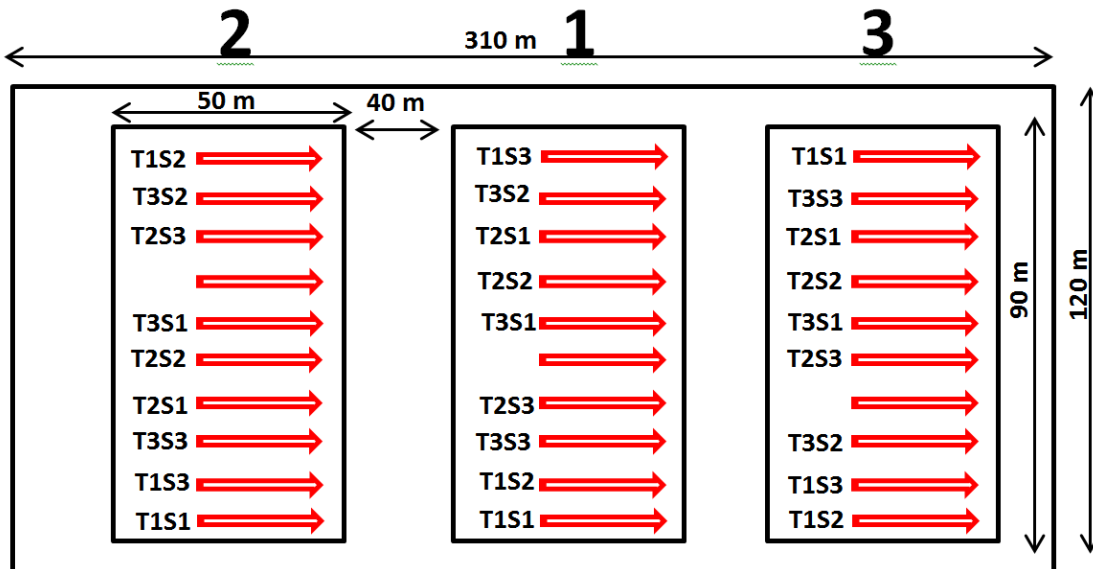
Figura 12 - Configuração disco duplo com haste composta por linha de semeadura com disco de corte, sulcador disco duplo, rodas controladoras de profundidade e compactação (1A), linha de semeadura composta por disco de corte e haste sulcadora (1B), linha de semeadura composta por disco duplo mais roda controladora de profundidade (2A) e linha de semeadura composta por haste sulcadora (2B).



Fonte: Autor.

Os blocos, bem como os tratamentos neles alocados, foram distribuídos aleatoriamente para seguir os princípios da estatística, sendo a sequência apresentada na Figura 13. Para que houvesse a movimentação do conjunto trator-semeadora nos tráfegos anteriores, que caracterizam os tratamentos TC e TCP, foi utilizado GPS da marca Trimble modelo CFX – 750, com correção de sinal de satélite Trimble RTX, para orientar o trator através do piloto automático a trafegar exatamente sobre as linhas de tráfego, criadas no início da utilização desta técnica na propriedade.

Figura 13 - Croqui da distribuição das parcelas na área experimental com tráfego controlado de máquinas, iniciando pelo bloco 2, 1 e 3 em área ST (T1), TC (T2), TCP (T3) e DD (S1), DDcH (S2) e DDsH (S3).



Fonte: Autor.

3.5 EXECUÇÃO DO TRABALHO

A avaliação iniciou com o tratamento tráfego de trator com configuração de disco duplo (T1S1), sendo realizado, inicialmente no bloco dois, posteriormente bloco um e por fim o bloco três para manter o sentido de deslocamento do conjunto no nível topográfico da área (Figura 13). Após essas três avaliações, o conjunto trator-semeadora foi deslocado até o bloco dois para realizar as avaliações do tráfego do TC com configuração de disco duplo (T2S1), seguindo a mesma sequência anterior. Ao término das avaliações com disco duplo (S1), foi realizada a avaliação na área adjacente que não possuía tráfego controlado.

Após essa sequência de avaliações, foi alterada a configuração da semeadora para as coletas de dados nos tratamentos disco duplo com haste (S2) e posterior disco duplo sem haste (S3), adotando a mesma sequência de deslocamento no campo. O retorno do conjunto trator-semeadora do bloco três para o bloco dois ocorreu por um único local para todos os tratamentos, de forma a não comprometer a área ao lado da realização das avaliações.

A demarcação dos blocos e tratamentos foi realizada com balizas de madeira de, aproximadamente, 1,5 m de altura. Foram alocadas uma no início e identificada com placa

para facilitar sua localização pelo operador e demais integrantes da equipe de trabalho no momento da avaliação, e outra no final da parcela, ambas no centro de cada tráfego para que o início e término da avaliação ocorresse quando o trator tocasse a baliza (Figura 14).

Figura 14 - Balizas utilizadas para identificação das parcelas pelo operador e integrantes da equipe de trabalho, delimitando o início e fim da avaliação



Fonte: Autor.

As dimensões de cada parcela para a aquisição dos dados foram de 50 m de comprimento e 9 m de largura, valor composto pela largura de trabalho do conjunto trator e semeadora. Reservou-se 40 m entre os blocos para permitir as manobras de final e início da avaliação (Figura 13), para que fosse possível manter o conjunto trator-semeadora alinhados e operando com velocidade e rotação do motor constantes antes do início da aquisição dos dados.

A partir dos sinais repassados por pessoas da equipe de trabalho presentes nas balizas, as informações do período cronometrado (horas, minutos e segundos) da entrada do conjunto mecanizado até a saída de cada parcela foram anotados em uma prancheta de campo, para

posterior organização dos dados coletados pela instrumentação eletrônica, composta de um Datalogger Campbell CR 1000, onde ambos possuíam sincronia no horário, permitindo posteriormente a separação dos dados de acordo com cada tratamento.

Todas as parcelas foram instaladas com o conjunto trator-semeadora de forma homogênea para a aquisição dos dados, ou seja, com a segunda marcha do grupo B e rotação do motor de 1820 rpm, regulada através do acelerador manual do trator, obtendo-se uma velocidade de deslocamento de 4,2 km h⁻¹, e operado sempre pelo mesmo colaborador da propriedade rural, sob acompanhamento de um membro da equipe.

3.6 VARIÁVEIS ANALISADAS

As variáveis analisadas foram força de tração, potência na barra de tração, potência máxima disponível, velocidade real de trabalho, patinamento das rodas motrizes, porcentagem de utilização do motor e capacidade operacional.

Devido a descompactação gerada pelos sulcadores nas linhas de tráfegos no momento da implantação da aveia preta que antecedeu a realização do primeiro estudo (21 e 22 de setembro de 2016) considerou-se para os cálculos de desempenho do trator os dados obtidos no segundo experimento (29 de março de 2017).

Os dados referentes à força de tração foram coletados por meio de uma instrumentação eletrônica desenvolvida no Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas (NEMA) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), por Russini (2009). A força de tração demandada pela semeadora ao realizar a atividade de semeadura, foi medida diretamente pela instrumentação por meio de uma célula de carga de 100 kN, que gera pulsos elétricos em igual intensidade ao esforço requerido, os quais foram armazenados na central de dados para posterior avaliação.

Para aferição da célula de carga antes das avaliações, utilizou-se o equipamento Amsler, que consiste em uma máquina hidráulica utilizada para avaliação de corpos de prova por tração ou compressão, e registra dados analógicos com capacidade de 10 Mg. Para a calibração e aferição da célula de carga, foram impostas cargas a cada 50 kg e realizadas as leituras em milivolts pelo voltímetro e no próprio datalogger (Figura 15). Com base nos dados coletados, estimou-se uma regressão linear a qual foi utilizada para aferição dos dados coletados pela célula de carga.

Figura 15 - Célula de carga (A), equipamento Amsler para imposição de cargas (B) e aferição dos valores coletados no datalogger e voltímetro (C).



Fonte: Autor.

A partir dos dados coletados e armazenados no datalogger em milivolts, utilizou-se a equação $y = -0,4637x^2 + 1106,6x + 431,06$ para transformar os dados de milivolts para kg e em seguida, esses valores foram multiplicados pela aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m s}^{-2}$) e obtidos na unidade Newton (N).

A determinação da potência na barra de tração do trator foi calculada utilizando os valores da força de tração e velocidade real de deslocamento do conjunto trator-semeadora, (obtida com cronômetro em relação a distância percorrida (50 m), através da equação 01:

$$NB = \frac{Ft * Vr}{3,6} \quad (01)$$

Onde:

N_B – Potência na barra de tração (kW);

F_t – Força de tração (kN);

V_r – Velocidade real (km h^{-1}).

A potência que chega até a barra de tração não é a mesma produzida pelo motor (Russini, 2012). Segundo esse autor, ela é menor devido ao patinamento das rodas motrizes, resistência ao rolamento e a redução decorrente do sistema de transmissão, que é variável em função do modelo de trator e do tipo de transmissão utilizada (mecânica ou hidrostática).

A potência fornecida pelo motor, de acordo com Linares et al. (2006) é utilizada para equilibrar a potência requerida em uma determinada condição de trabalho e se decompõe através da equação 02:

$$NM = N_t + N_\delta + N_k + NB \quad (02)$$

Onde:

N_M – Potência fornecida pelo motor (kW);

N_t – Potência utilizada na transmissão do motor – rodas motrizes (kW);

N_δ – Potência consumida pelo patinamento das rodas motrizes (kW);

N_k – Potência utilizada para vencer a resistência ao rolamento (kW);

N_B – Potência na barra de tração (kW).

Para a determinação da potência fornecida pelo motor, foi necessário descontar as formas de como essa potência é perdida até chegar no ponto de utilização. A partir desta dedução, é possível encontrar o valor do total produzido, estimando-se as perdas da potência perdida na transmissão do motor e no patinamento das rodas motrizes através das equações 03, e 04).

$$N_t = N_m * \eta_t \quad (03)$$

Onde:

N_t – Potência utilizada na transmissão do motor (kW);

N_m – Potência fornecida pelo motor (kW);

η_t – Eficiência da transmissão (0,85).

$$N\delta = \frac{F_t * V_t * \delta}{3,6} \quad (04)$$

Onde:

$N\delta$ – Potência utilizada pelo patinamento das rodas motrizes (kW);

F_t – Força de tração (kN);

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

δ – Patinamento das rodas motrizes.

O patinamento das rodas motrizes pode ser determinado por meio da equação (5), descrita por Linares et al., (2006).

$$\delta = \frac{V_t - V_r}{V_t} * 100 \quad (5)$$

Onde:

δ – Patinamento das rodas motrizes (%);

V_t – Velocidade teórica de deslocamento;

V_r – Velocidade real de deslocamento.

O patinamento das quatro rodas motrizes também foi avaliado através da instalação de sensores indutivos, modelo LM12-3004PC, localizados em cada roda do trator, onde no centro foram fixadas rodas dentadas pelo lado externo do aro dos pneus dianteiros e traseiros, através de suportes adaptados para o trator (Figura 16). Cada dente da roda dentada, ao passar pelo sensor conta um pulso, e essas informações foram armazenadas em uma central de dados (datalogger), acondicionada dentro do posto de operação do trator.

Figura 16 - Sensores indutivos nas rodas motrizes para medida do patinamento



Fonte: Autor.

Para a determinação da velocidade de trabalho, foi cronometrado o tempo que o trator demorou para percorrer os 50 m de cada parcela. A partir deste valor, calculou-se a velocidade teórica através da equação 06:

$$V_t = V_r / \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) \quad (06)$$

Onde:

V_t - Velocidade teórica (km h^{-1});

V_r - Velocidade real (km h^{-1});

δ - patinamento (%).

Os valores de resistência ao rolamento (kN) foram obtidos com a mesma célula de carga utilizada no experimento, instalada em outro trator e na outra extremidade ligada a uma corrente de ferro que foi acoplada no trator de testes (Figura 17B). Para que não ocorresse coincidência dos locais de passagem dos pneus dos dois tratores, o trator teste foi deslocado da linha traçada pelo trator que o tracionava. O registro dos dados de forma instantânea pelas leituras de cargas que representaram os valores de resistência ao rolamento do trator teste, e foram adquiridos com o motor ligado e a transmissão no modo neutro.

Figura 17 - Determinação da resistência ao rolamento com a utilização de outro trator para tracionar o trator teste (A) acoplado a célula de carga (B).



Fonte: Autor.

Devido às diferentes intensidades de tráfego avaliadas neste experimento, realizou-se a coleta de dados de resistência ao rolamento na área sem o tráfego de máquinas, área com a passagem de TC e também nas áreas onde trafegaram o TCP, mantendo-se, nessas duas últimas avaliações, o trator teste no modo piloto automático para manter a passada na linha de tráfego.

A capacidade operacional do conjunto trator-semeadora foi estimada considerando uma eficiência operacional de 75% segundo Mialhe (1996), considerando a largura de trabalho da semeadora de nove metros e a velocidade de deslocamento de acordo com a velocidade real obtida a campo. A determinação da capacidade operacional foi baseada na equação 07:

$$COp = \frac{V_r * L * Ef}{10} \quad (07)$$

Onde:

COp – Capacidade operacional (ha h⁻¹);

V_r – Velocidade real (km h⁻¹);

L – Largura de trabalho (m);

Ef – Eficiência operacional (adimensional);

10 – Constante de transformação.

Para estimar a quantidade de energia proveniente do motor do trator que estava sendo utilizada no momento da avaliação, utilizou-se os dados da potência fornecida e a potência do motor de acordo com a equação 08.

$$\% \text{ de utilização} = \frac{Nm * 100}{Nt}$$

(08)

Onde:

NM – Potência fornecida pelo motor (kW);

Nt – Potência do motor declarada pelo fabricante (kW).

A umidade do solo foi determinada em diferentes locais da área experimental na profundidade de 0 a 0,05 m; 0,05 a 0,1 m; 0,1 a 0,15 m e 0,15 a 0,2 m, utilizando-se uma pá de corte (Figura 18).

Figura 18 - Coleta de solo nas profundidades 0-0,05 m (A), 0,05-0,1 m, 0,1-0,15 m e 0,15-0,2 m, acondicionados em sacos plásticos (B) e posterior determinação da umidade gravimétrica em laboratório (C)



Fonte: Autor.

O solo coletado foi armazenado em recipientes plásticos e lacrados, a fim de não perder umidade para o ambiente. Imediatamente após o retorno do campo, foi realizada a pesagem e o acondicionamento das amostras em estufa de secagem até a obtenção de peso constante, para então pesá-las novamente e determinar a umidade gravimétrica através da equação 9:

$$Ug = \frac{Pu - Ps}{Ps} * 100 \quad (9)$$

Onde:

Ug = Teor de água no solo (%);

Pu = Peso da amostra úmida (g);

Ps = Peso da amostra seca (g).

O conteúdo de água no solo no dia da realização do primeiro experimento (trabalho piloto) foi de 26% na profundidade de 0-0,2 m, e no segundo experimento de 22,4%; 20,3%; 21,8%; e 22,8% nas profundidades de 0-0,05 m; 0,05-0,1 m; 0,1-0,15 m e 0,15-0,2 m, respectivamente, considerada ideal para a operação de semeadura.

A massa seca do material vegetal sobre o solo foi determinada por meio da coleta de amostras em três anéis de 0,78 m de diâmetro cada (Figura 19), sendo o material embalado em sacos de papel, para posterior secagem em estufa e determinação da massa seca calculada através da mesma equação anterior, e extrapolado o valor encontrado para $Mg\ ha^{-1}$.

Figura 19 - Determinação da massa seca no primeiro experimento com a cultura da aveia preta (A), e cultura da soja no segundo experimento (B)



No primeiro experimento (Figura 19A), a área estava ocupada pela cultura da aveia preta, caracterizada como cobertura de solo sendo que a mesma foi dessecada com glifosato 12 dias antes da realização do trabalho, e apresentou massa seca de 3,759 Mg ha⁻¹. No segundo experimento (Figura 18B), a área apresentava restos culturais da cultura da soja, cuja colheita havia sido realizada 20 dias antes da instalação do experimento, e apresentou 2,297 Mg ha⁻¹.

Avaliou-se, também, a área de contato dos pneus nas diferentes intensidades de tráfego. A medição da área de contato dos pneus foi realizada através do método direto, a partir da impressão do pneu sobre o solo, dos rodados dianteiros e traseiros do lado direito do trator. Para a verificação da superfície de contato, o trator foi posicionado sobre o terreno e o contorno dos pneus foi marcado com calcário calcítico, de coloração branca, a fim de delimitar a impressão do pneu sobre o solo, onde a área interna não atingida pelo calcário correspondia à área efetivamente em contato com o solo (Figura 20A).

Figura 20 - Demarcação da área de contato dos pneus dianteiros e traseiros (A) e obtenção das medidas (B)



Fonte: Autor.

Após demarcação da área, o trator foi deslocado em marcha ré para fora da área delimitada pelo calcário, e então, com utilização de trenas graduadas na posição do menor e maior eixo, foram fotografadas (Figura 20B) para posterior estimativa da área de contato baseada na soma dos comprimentos medidos com trena das cordas da elipse (largura e comprimento), conforme a equação 10.

$$A = b * L * \beta \quad (10)$$

Onde:

A = Área de contato dos pneus (cm²);

b = Eixo menor da elipse formada pelo contato do pneu com o solo (cm);

L = Eixo maior da elipse (cm);

β = coeficiente de elipticidade ($\square 4^{-1}$).

A compactação do solo, nas diferentes intensidades de tráfegos, foi avaliada através de penetrômetro na profundidade de 0 a 0,4 m (Figura 21). Foram realizadas dez leituras em cada intensidade de tráfego (ST, TC, TCP e ST) no sentido transversal da linha de tráfego. Os dados foram armazenados no equipamento para posterior manuseio e interpretação.

Figura 21 - Avaliação da resistência a penetração com o uso de penetrômetro



Fonte: Autor.

As profundidades de atuação dos mecanismos sulcadores da semeadora foram determinadas através de régua graduada, sendo retirado o solo revolvido do sulco pelos sulcadores e verificada a profundidade do nível do solo até o limite inferior.

3.7 EMISSÕES DE GASES POLUENTES E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

A terceira fase do experimento foi realizada no dia cinco de julho de 2017 na sede da propriedade no município de Carazinho, e consistiu na avaliação das emissões de gases poluentes do motor do mesmo trator utilizado nas avaliações anteriores, porém, de forma estática, em ambiente aberto e isento de materiais em suspensão no ar.

Devido a impossibilidade de realizar esta avaliação simultaneamente em campo, foram utilizadas as cargas demandadas pelo conjunto de semeadoras no segundo experimento, coletadas pela célula de carga acoplada a barra de tração do trator, convertendo-se os valores para Newton metro (N m) de torque e aplicadas essas cargas no dinamômetro móvel, com o objetivo de simular essa mesma demanda imposta ao trator (Figura 22).

Figura 22 - Coleta dos gases no escapamento do motor do trator (A), analisador de gases (B) e analisador de opacidade (C)



Fonte: Autor.

A análise da emissão dos gases do escapamento do motor foi realizada pelo analisador de gases da marca Eggers, modelo Infrality ELD Diesel (Figura 22B), que possui a capacidade de medir alguns gases expelidos pelo motor (Figura 22A), dentre eles a concentração de CO_2 (% vol.), O_2 (% vol.), NO (ppm) e NO_2 (ppm), que compõem os principais gases expelidos no cano de escape do motor do trator agrícola.

Durante a coleta das amostras, os gases a serem analisados são conduzidos até o equipamento por meio de uma sonda, passando previamente por um filtro em linha para evitar o ingresso de particulados de grande diâmetro para o interior do analisador.

A medição de CO₂ (% vol.) é realizada no interior do analisador, através da tecnologia de infravermelho não dispersivo, que utiliza um emissor de infravermelho de banda larga, que cobre todos os comprimentos de onda para a medição de um determinado conjunto de gases.

Filtros óticos do tipo passa-banda permitem a passagem de comprimentos de onda que podem ser absorvidos por esses gases. Cada filtro passa-banda é conectado a um detector infravermelho. O detector produz um sinal que é proporcional à energia infravermelha absorvida pelo gás de interesse, sendo que este sinal é processado eletronicamente e gera informações como a concentração de gás, representadas nas unidades adequadas. Para as medições dos gases NO_x (NO + NO₂) (ppm), assim como o O₂ (% vol.) foram utilizados sensores eletroquímicos.

Através do software MW IELD O1030, instalado em um computador portátil, foi possível controlar o equipamento e acompanhar, em tempo real, a aquisição dos dados mensurados, através de valores numéricos e gráficos. Ao final de cada análise é fornecido um relatório com os valores das emissões em função do intervalo de tempo em segundos.

A legislação brasileira de emissões, PROCONVE MAR-1, estabelece que os níveis de emissões medidos nos motores de máquinas agrícolas e rodoviárias sejam expressos em g (kW h)⁻¹, que se refere à massa do poluente emitida por hora por unidade de potência. Verifica-se a necessidade de conversão das unidades de medida dos gases poluentes e de particulados coletados para facilitar a comparação das emissões realizadas. Desta forma, segundo Hesending et al. (2010), para a conversão dos gases NO_x NO, NO₂ (NO_x) e CO₂, de ppm para g (kW h)⁻¹ deve-se utilizar a equação 11.

$$EPi = EVi,w * \frac{Mi}{MExh,w} * \frac{MExh,w}{Peff} \quad (11)$$

Onde:

EPi = Massa do poluente i, referenciado a Peff (g (kW h)⁻¹);

EVi,w = Valor de emissão de escape dos componentes i, volume (ppm);

Mi = massa molar dos componentes i (kg kmol⁻¹);

MExh,w = Massa molar do escape (kg kmol⁻¹);

$ME_{\text{Exh,w}}$ = Fluxo de massa do escape (kg h^{-1});

P_{eff} = Potência (kW).

Assume-se para os componentes NO_2 e CO_2 as respectivas massas molares, 46,006 e 44,01, em kg kmol^{-1} . E, para as massas molares dos escapes 28,84 kg mol^{-1} , em base úmida. Além disso, com 5% de O_2 residual, correspondente a um excesso da relação de O 1,3:1, e consumo específico de combustível de 210 g (kW h)^{-1} , assume-se: $ME_{\text{Exh,w}} P_{\text{eff}}^{-1}$ igual a 4160 g (kW h)^{-1} .

Os dados da opacidade dos gases foram obtidos através de um opacímetro da marca Eggers, modelo Opacilyt ELD de fluxo parcial (Figura 22C). A medição deste equipamento ocorre através de um feixe de luz que é emitido na direção perpendicular a direção dos gases de escape. Devido a presença de partículas no fluxo, a radiação emitida será enfraquecida por dispersão nas partículas e/ou absorção no interior das mesmas. A diferença da intensidade entre a luz emitida e a recebida, após atravessar os gases de escape, determina a quantidade de partículas existentes.

O equipamento permite a conexão com o medidor de gases Infralyt via software do computador, possibilitando a coleta de particulados e das emissões ao mesmo tempo. As amostras foram coletadas diretamente do escapamento do trator agrícola através de sonda, conduzindo-as até o equipamento para serem analisadas. O mesmo software MW IELD O1030 utilizado na análise de gases realiza a análise de particulados, fornecendo o relatório juntamente com os valores das emissões. A conversão de particulados de m^{-1} para g (kW h)^{-1} se dá através da equação 12.

$$EP = 0,47142 * k \quad (12)$$

Onde:

EP = Massa do poluente g (kW h)^{-1} ;

k = Material particulado (m^{-1});

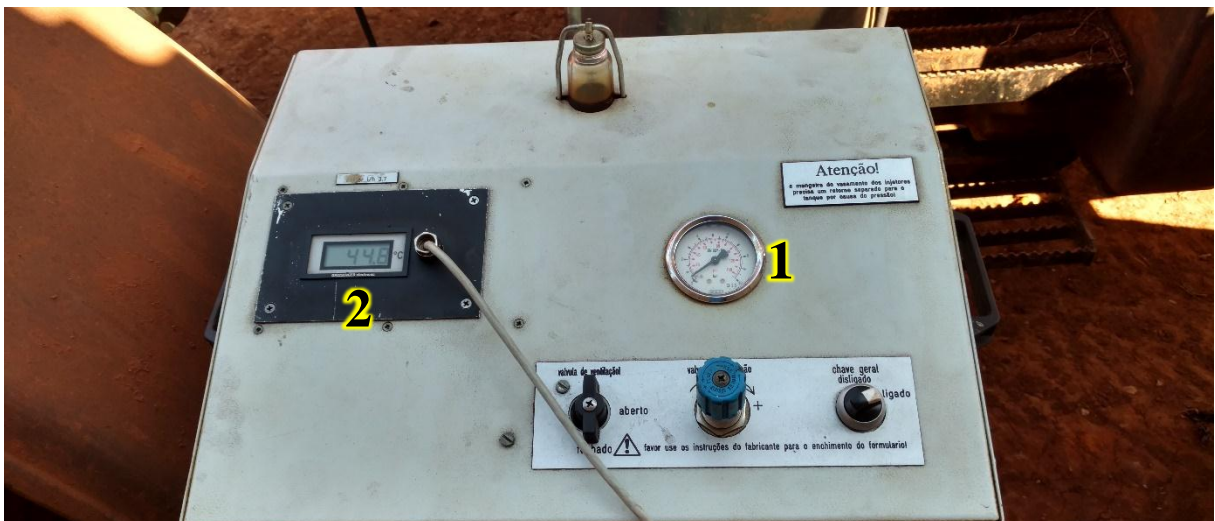
0,47142 = Constante.

Para determinação da constante, utiliza-se a conversão do valor da unidade de opacidade (m^{-1}), coletada pelo opacímetro, para concentração de massa em relação ao volume (g m^{-3}) (DODD e HOLUBECKI, 1965), a partir da constante gerada ($y = 0,162 * x$) se faz a

transformação do valor obtido para kW h^{-1} de acordo com valores tabelados para motores de ciclo Diesel (BMWFI, 2012) obtendo o valor da constante.

A avaliação do consumo de combustível foi realizada por meio de um Fluxômetro da marca Eggers modelo FM3, que mede o consumo instantâneo de combustível, e está integrado ao software que controla o dinamômetro (Figura 23). A medida do consumo foi obtida através da conexão de mangueiras de admissão e retorno do combustível, e de linhas de sucção e do fluxo de retorno dentro do reservatório de combustível do trator, criando uma circulação com o equipamento ligado. Desta forma, o Fluxômetro faz o controle da pressão de combustível e a quantidade necessária para o sistema de alimentação do trator.

Figura 23 - Fluxômetro utilizado para medir o consumo de combustível, pressão (1) e temperatura do óleo Diesel (2)



Fonte: Autor.

Na realização deste experimento, foram contabilizados o volume horário consumido, nas diferentes intensidades de cargas impostas ao motor, através do dinamômetro no momento da avaliação dos gases. A partir do resultado encontrado, juntamente com a medida da potência e da densidade do óleo Diesel, o software calcula o consumo específico de combustível através da equação 13:

$$C_e = \frac{Ch * \rho * 1000}{N_B} \quad (13)$$

Onde:

C_e - Consumo específico (g (kW h)^{-1});

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

ρ - Densidade do combustível (g L^{-1});

N_B - Potência na barra de tração (kW).

O dinamômetro utilizado para simular o torque demandado no campo, foi da marca Eggers TM modelo PT301, e opera através de freio magnético arrefecido a ar, com capacidade de frenagem de até 820 cv (aproximadamente 600 kW) (Figura 24A).

Através do software EGGERS Power Control V3.2, foi realizado o controle da frenagem e o registro dos dados de torque e rotação do motor na mesma intensidade demandada pela semeadora, nas diferentes situações estudadas e avaliadas no campo. Nesta avaliação, após a estabilização dos dados controlados no visor do dinamômetro (Figura 24B), foram coletadas as informações pelo software a cada segundo e fixado um tempo de coletas de 2 minutos para cada unidade experimental.

A ligação estabelecida através do dinamômetro acoplado à TDP do trator é via árvore cardânica (Figura 24C). Previamente ao acoplamento foi verificado a relação de transmissão através de um tacômetro digital para a rotação de 540 rpm na TDP, a qual foi constatada em 1893 no motor, conferindo uma relação de transmissão de 3,5:1.

Antes de iniciar a coleta dos dados, o trator permaneceu em aquecimento por um período de 20 minutos. Para realizar este aquecimento, o motor do trator foi acelerado em rotação máxima e imposta uma frenagem no motor equivalente a 75% da rotação máxima. No momento da avaliação, a pressão atmosférica foi registrada em 101,7 kPa e temperatura do ar de 12 °C.

Figura 24 - Organização dos equipamentos utilizados na avaliação da emissão dos gases (A) com dinamômetro (1), opacímetro (2), Infrality (3) com as cargas inseridas no controlador de cargas (4) e visualizadas no visor digital (5) do painel de controle do dinamômetro (B) acoplado ao trator pela TDP (C)



Fonte: Autor.

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos foram tabulados e submetidos às análises de variância, e as médias, comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA et al., 2014).

Para a avaliação do sistema de tráfego controlado em relação ao aleatório, as médias encontradas foram comparadas pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, considerando o tráfego aleatório como variável testemunha. Foi utilizado o programa estatístico SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 2000).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DESEMPENHO DO TRATOR

4.1.1 Tráfego controlado de máquinas agrícolas

Os resultados encontrados revelam interação significativa entre as intensidades de tráfegos e sistemas de sulcadores utilizados neste experimento para as variáveis força de tração, velocidade real, potência na barra de tração e capacidade operacional. Analisando os efeitos principais, observa-se diferença significativa para todas as variáveis nas opções de sulcadores, e apenas a força de tração e potência na barra de tração não apresentaram diferença significativa no fator intensidade de tráfego (Tabela 1).

Tabela 1 - Resumo da ANOVA com os valores dos quadrados médios para os parâmetros força de tração (Ft), patinamento (δ), velocidade real (Vr), potência na barra de tração (NB), potência máxima fornecida pelo motor (NM), utilização do motor e capacidade operacional (COp), para as intensidades de tráfego, opções de sulcadores, sua interação, erro, coeficiente de variação e média geral

Fontes de variação	Quadrados médios						
	Ft (kN)	δ (%)	Vr (km h ⁻¹)	NB (kW)	NM (kW)	Utilização (%)	COp (ha h ⁻¹)
Tráfego (T)	0,39	3,57*	0,005*	1,47	21,27*	8,53*	0,002*
Sulcador (S)	1124*	20,26*	0,084*	1464*	2088*	836,7*	0,037*
T x S	4,55*	0,56	0,006*	5,38*	5,63	2,25	0,002*
Erro	0,99	0,71	0,001	1,09	1,98	0,79	0,0005
CV (%)	4,14	40,03	0,85	3,6	2,96	2,96	0,84
Média geral	24,08	2,11	4,37	29,06	47,49	30,05	2,76

Fonte: Autor

* Efeito significativo ($p \leq 0,05$).

Ao analisar a média geral das variáveis estudadas neste trabalho, verifica-se que os valores encontrados foram baixos comparado aos referenciados pela norma ASAE (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 1999) que, para a operação de semeadoras de grãos graúdos (semeadora de precisão), na direção horizontal do

deslocamento, já incluídos a resistência ao rolamento da máquina com bom leito de semeadura, varia de 900N ($\pm 25\%$) por linha (somente semeadura) e de 3.400 N ($\pm 35\%$) de variação por linha (semeadura e adubação).

Neste sentido, considerando 900 N por linha da semeadora por utilizar apenas um conjunto sulcador por linha e, multiplicado pela média de 48 linhas, conforme o número médio de linhas das três configurações testadas, totaliza força de tração de 43,2 kN que é maior aos 24,08 kN encontrado neste trabalho (Tabela 1). A potência na barra de tração (NB), considerando a velocidade média de $4,37 \text{ km h}^{-1}$, foi de 52,44 kW que é, aproximadamente, o dobro quando comparada a média encontrada neste estudo que foi de apenas 29,06 kW (Tabela 1).

Resultados baixos também foram encontrados por Rodrigues et al. (2011) avaliando a demanda energética de uma semeadora de 17 linhas na semeadura do sorgo, estes autores encontraram 10,87 kW de potência na barra de tração (0,64 kW por linha). Resultados que são similares aos dados deste trabalho, se extrapolado para a média de 48 linhas na semeadora, representaria 30,69 kW de potência na barra de tração que é muito próximo aos 29,06 kW encontrados.

Essa baixa potência na barra de tração pode ser justificada pela configuração das linhas da semeadora, profundidade de semeadura e velocidade de operação utilizadas neste trabalho. As configurações das linhas da semeadora foram compostas por um sulcador do tipo disco duplo, com a função de abertura de sulco e deposição da semente e fertilizante (fósforo) no mesmo sulcador, com rodas de controle de profundidade. Desta forma, devido a baixa profundidade de semeadura (0,03 m) operando em grande área isenta de tráfego (81,2%), somado a baixa velocidade de operação ($4,37 \text{ km h}^{-1}$), podem ter exigido pouca demanda de potência na barra de tração do trator.

Com base na potência na barra de tração de 52,44 kW e utilizando o fator 0,86 (BOWERS, 1985) citado por Schlosser et al. (1998), como método prático para o dimensionamento de implementos, com um coeficiente de perda de potência de 14% a cada passo do método e, ao considerar uma situação de solo agrícola firme, encontra-se 95,86 kW de potência disponível, que também é o dobro da média deste trabalho que foi de 47,49 kW (Tabela 1).

As interações significativas apresentadas neste estudo para as variáveis força de tração, velocidade real, potência na barra de tração e capacidade operacional, revelam resultados importantes para o entendimento das variações que ocorrem na interação máquina solo, expressos pelas intensidades de tráfegos e configurações de sulcadores avaliadas. Neste

sentido, para melhor explicação dos resultados encontrados, os valores são expressos na forma de tabela (Tabela 2), abordando todas as variáveis agrupadas e no formato de gráficos, detalhando as informações para cada componente avaliado.

Tabela 2 - Força de tração (kN), velocidade de deslocamento (km h^{-1}), potência na barra de tração (kW) e capacidade operacional (ha h^{-1}) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo, disco duplo com haste e disco duplo sem haste

Tráfego	Sistema sulcador		
	Disco duplo	Disco duplo com haste	Disco duplo sem haste
----- Força de tração (kN) -----			
ST	19,14 Ba	35,27 Ab	17,53 Ba
TC	18,57 Ba	38,33 Aa	16,06 Ca
TCP	18,48 Ba	37,18 Aab	16,17 Ca
----- Velocidade (km h^{-1}) -----			
ST	4,39 Aa	4,29 Ba	4,39 Ab
T C	4,46 Aa	4,29 Ba	4,46 Aab
TCP	4,39 Ba	4,22 Ca	4,50 Aa
----- Potência na barra de tração (kW) -----			
ST	23,34 Ba	41,99 Ab	21,37 Ba
TC	23,03 Ba	45,63 Aa	19,92 Ca
TCP	22,54 Ba	43,55 Aab	20,22 Ca
----- Capacidade operacional (ha h^{-1}) -----			
ST	2,77 Aa	2,70 Ba	2,77 Ab
T C	2,81 Aa	2,70 Ba	2,81 Aab
TCP	2,77 Ba	2,66 Ca	2,84 Aa

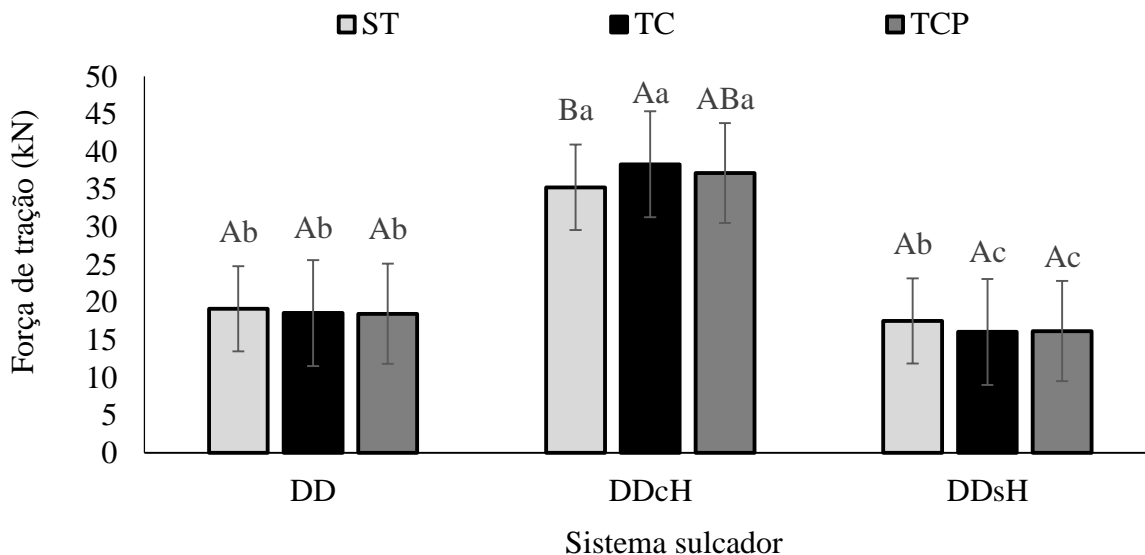
Fonte: Autor.

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha em cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Analisando a interação entre intensidade de tráfegos e opções de sulcadores, observa-se que a força de tração foi maior no tráfego do TC, não diferindo estatisticamente do TCP na configuração de DDcH (Figura 25). Para Silva et al. (2006), a haste sulcadora visa abrir o sulco para a deposição de fertilizantes e romper camadas de solo mais adensadas, enquanto o

mecanismo sulcador tipo disco duplo abre o sulco de semeadura com o mínimo de mobilização do solo, desta forma, exigem maior força de tração para realizar essa operação.

Figura 25 - Força de tração (kN) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)



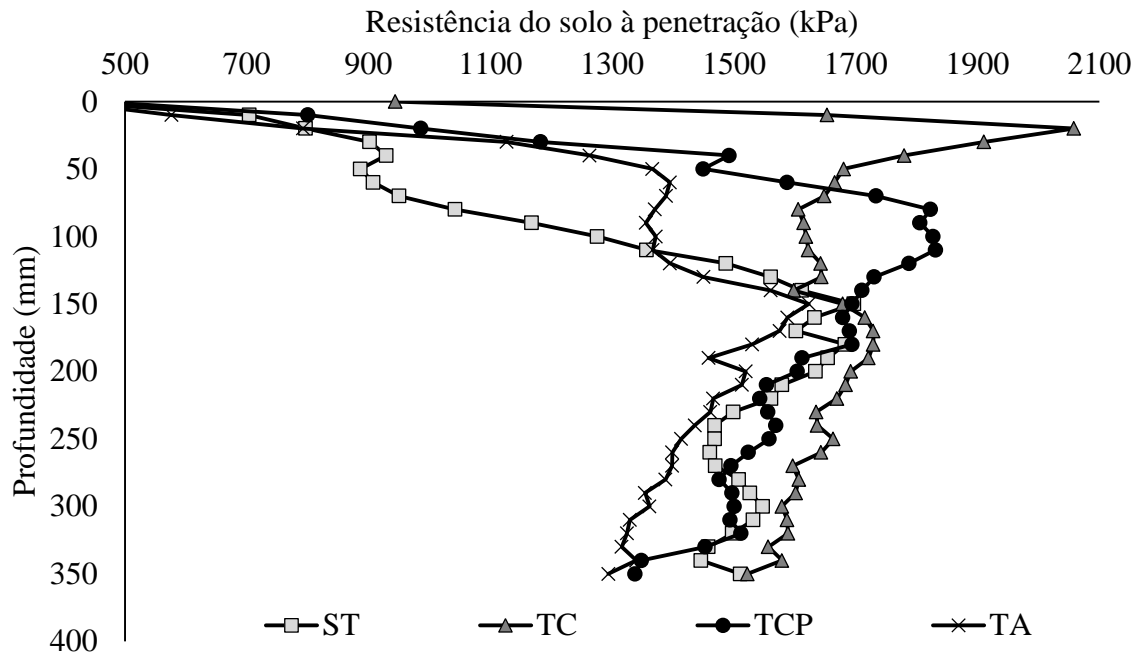
Fonte: Autor.

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para o tráfego em cada sistema sulcador, e minúscula para o sistema sulcador em cada tráfego, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados encontrados demonstram o objetivo desta configuração utilizada na semeadora, que consiste na simples abertura do sulco onde não existe compactação (disco duplo) e a abertura do sulco com descompactação do solo (haste), naqueles locais que receberam o tráfego dos pneus das máquinas. No entanto, necessita de maior força de tração para romper essas camadas compactadas geradas pelo tráfego localizado das máquinas quando se utiliza sulcador do tipo haste.

Ao analisar a compactação gerada pelo tráfego das máquinas através de penetrômetro, observa-se, mesmo sem análise estatística, que a maior compactação ocorre no tráfego do TC, seguido pelo tráfego do TCP no perfil superficial do solo (Figura 26), onde ocorre a atuação dos mecanismos sulcadores da semeadora. Neste sentido, a maior exigência de força de tração do trator para tracionar a semeadora quando da utilização de DDcH, pode ser atribuída a essa compactação gerada pelo tráfego das máquinas

Figura 26 - Resistência a penetração do solo (kPa) em profundidade no solo (mm), medidos em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC), com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) e tráfego aleatório de máquinas (TA)



Fonte: Autor

Para as demais opções de sulcadores, as intensidades de tráfego não apresentaram diferença significativa (Figura 25). Esse resultado pode ser atribuído a menor profundidade de atuação do mecanismo sulcador disco duplo quando comparado com a haste. Neste trabalho, os discos duplos da semeadora operaram em profundidade de 0,03 m, não possuindo elevada resistência a penetração nesta profundidade quando comparado a atuação das hastes, que atingiram maior profundidade no perfil vertical do solo com maior resistência a penetração (Figura 26).

Ao analisar os sistemas sulcadores em cada intensidade de tráfego, observa-se que a força de tração foi maior no sulcador DDcH para todas as intensidades de tráfego (Figura 25). Avaliando diferentes sulcadores, Levien et al. (2011) também encontraram maior exigência de tração para os elementos fixos de abertura de sulco, quando comparado a elementos móveis. Por proporcionar maior atrito com o solo e profundidade de atuação, diferente dos discos que apenas abrem os sulcos, as hastes tornam-se mais exigentes em energia para executar seu trabalho, exigindo para isso, maior potência do trator na forma de tração.

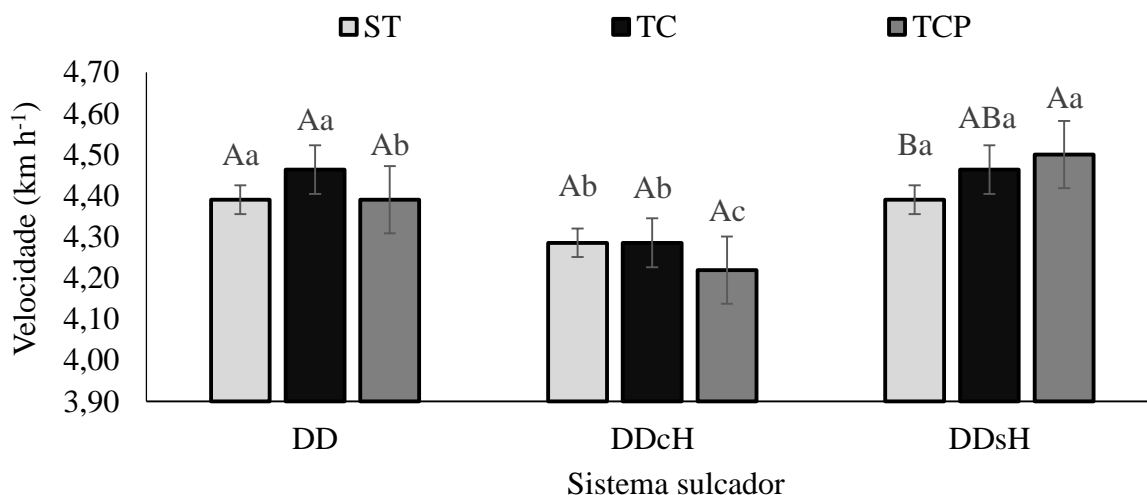
A menor força de tração foi observada no sistema de sulcador DDsH para as intensidades de tráfegos avaliadas, exceto na área ST que não diferiu do sistema sulcador DD

(Figura 25). Com base na Tabela 2, e realizando a porcentagem de redução da força de tração, a ausência de sulcadores nas linhas de tráfego comparadas com o uso de sulcador com hastes (DDcH para DDsH) proporcionou redução de 56% de força de tração. Quando as hastes foram substituídas por disco duplo (DDcH para DD) essa diminuição foi de 50% na força de tração.

De acordo com Bordignon (2005), a utilização de mecanismos sulcadores do tipo haste tem sido uma alternativa eficiente para romper a camada superficial compactada, gerada pelo sistema, uma vez que os mesmos são capazes de romper e operam com maior capacidade de aprofundamento e de mobilização do solo. Contudo, neste e em outros trabalhos, verificou-se que exigem maior força de tração do trator para desempenharem essa função, tornando a configuração de DD na área de cultivo e a ausência de sulcadores nas linhas de tráfego, boas opções para reduzir a força de tração.

A velocidade de deslocamento, analisando as intensidades de tráfegos em cada opção de sulcadores foi maior no tráfego do TCP não diferindo estatisticamente do tráfego do TC na configuração de sulcador DDsH (Figura 27).

Figura 27 - Velocidade de operação (km h^{-1}) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)



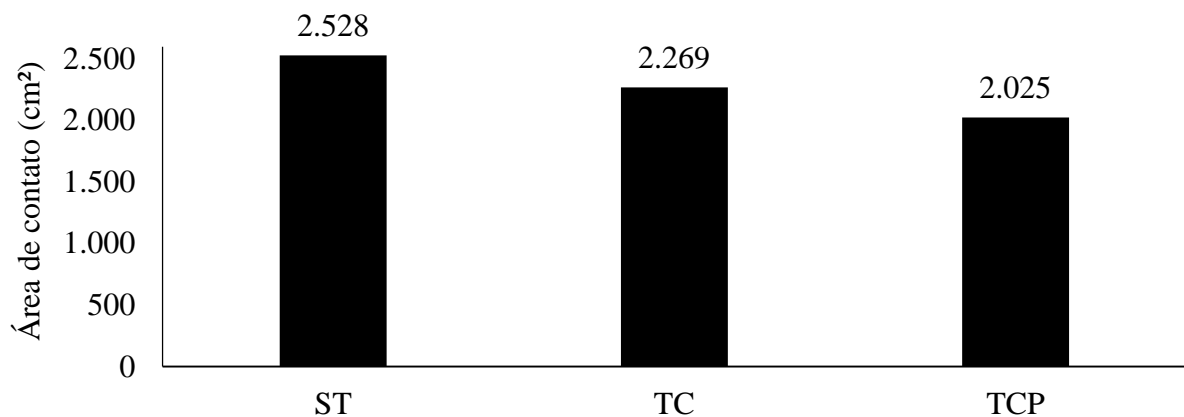
Fonte: Autor.

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para o tráfego em cada sistema sulcador, e minúscula para o sistema sulcador em cada tráfego, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Esse resultado, quando analisado em percentual com base nos valores da Tabela 2, o tráfego controlado na maior intensidade (TCP) proporcionou 2,4% de velocidade superior quando comparado a área ST. Furlani et al. (2005) relataram maior velocidade média na semeadura no sistema de plantio direto em relação ao preparo do solo com escarificador. O resultado destes autores pode explicar os obtidos neste trabalho, pelo maior adensamento nas linhas de tráfego comparado à área ST, favorecendo o deslocamento do conjunto trator e semeadora.

Analisando apenas a opção DDsH, a menor velocidade de deslocamento foi evidenciada na situação ST (Figura 27). Esse resultado pode ser justificado pela maior área de contato do pneu com o solo, que neste trabalho, apresentou o maior valor quando comparado às situações com tráfegos mais intensos (Figura 28). Essa maior área de contato faz com que os pneus tenham maior aderência com o solo, podendo interferir na velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora.

Figura 28 - Área de contato (cm²) dos pneus do trator em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP)

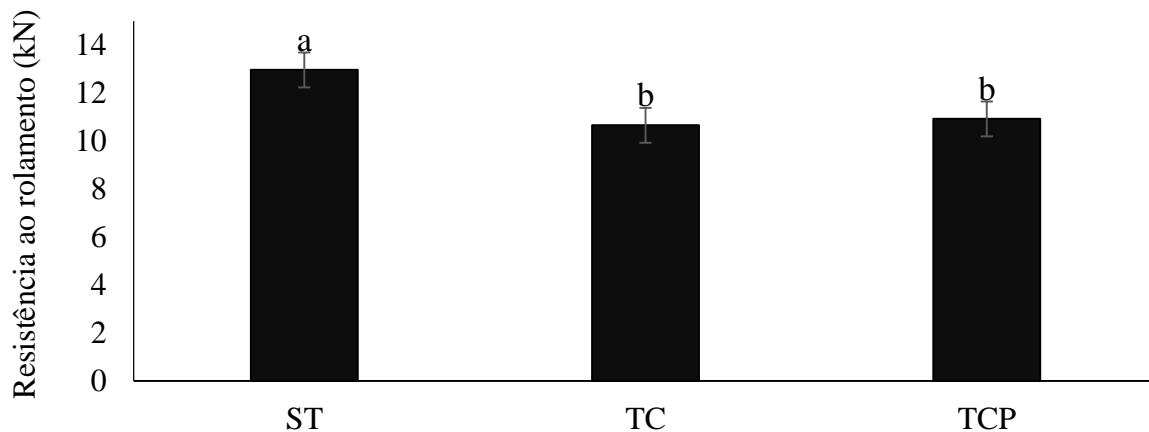


Fonte: Autor

Aliado a área de contato do pneu com o solo, a resistência ao rolamento, oferecido aos pneus do trator também podem interferir na velocidade de deslocamento. Neste trabalho, verificou-se que a maior resistência ao rolamento foi obtida na situação ST quando comparada às demais intensidades estudadas (Figura 29). Isso demonstra que a maior resistência oferecida pelo solo aos pneus, pode reduzir a velocidade de deslocamento do trator como

observado neste estudo. Nas demais opções de sulcadores, as intensidades de tráfegos não apresentaram diferença significativa na velocidade de deslocamento (Figura 27).

Figura 29 - Resistência ao rolamento (kN) do trator agrícola em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP)



Fonte: Autor.

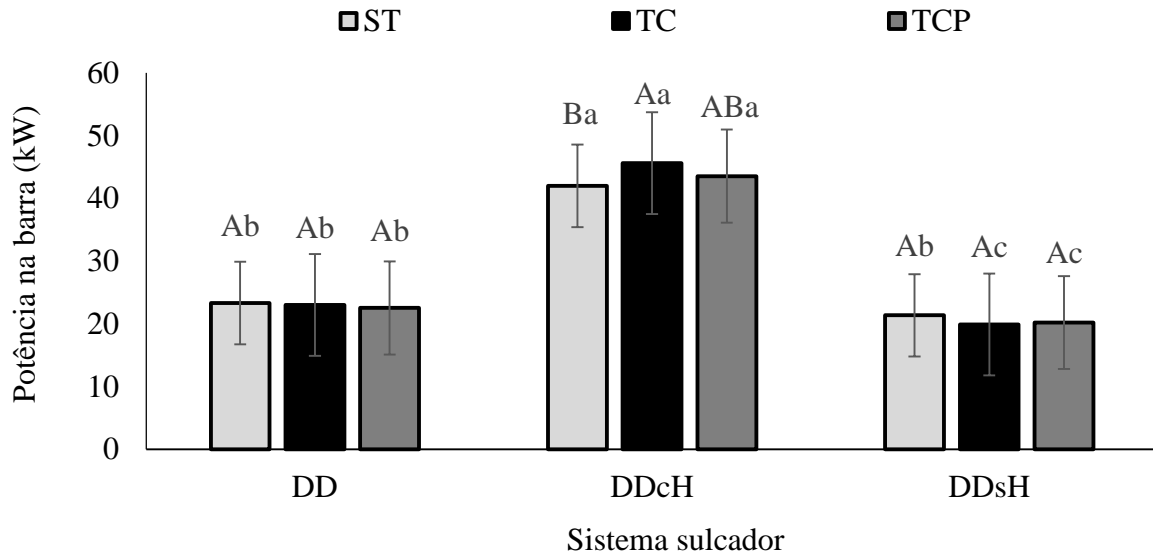
* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Analisando as configurações de sulcadores em cada intensidade de tráfego, verifica-se que a velocidade de deslocamento do trator e semeadora foi maior na configuração de sulcador DDsH e DD na situação sem tráfego e TC (Figura 27). A menor velocidade para todas as intensidades de tráfego foi observada no sistema sulcador DDcH (Figura 27). Observa-se, ao transformar os dados da Tabela 2 em porcentagem, que a utilização de hastes nas linhas de tráfego (DDsH para DDcH) no sistema TCP, reduziu a velocidade em 6,2%.

Segundo Silveira et al. (2005) a velocidade de trabalho de uma semeadora está diretamente relacionada à força exigida para que o trator possa tracioná-la, sendo menor conforme aumenta a exigência em tração. Neste trabalho, a utilização de disco duplo substituindo as hastes e a ausência de sulcadores nas linhas de tráfego demandaram menor força de tração (Figura 25) que resultou em maior velocidade de deslocamento.

A potência na barra de tração, analisando as intensidades de tráfegos em cada opção de sulcadores, foi maior nos tráfegos de TC, não diferindo estatisticamente do TCP na configuração de DDcH (Figura 30). As demais configurações de sulcadores não apresentaram diferença significativa na variação da intensidade dos tráfegos (Figura 28).

Figura 30 - Potência na barra de tração (kW) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)



Fonte: Autor.

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para o tráfego em cada sistema sulcador, e minúscula para o sistema sulcador em cada tráfego, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Silveira et al. (2013), relatam que vários fatores são responsáveis pela exigência de força na barra de tração como: modelo de haste sulcadora, profundidade de sementeira, adubação, teor de água, tipo de solo e seu preparo, tamanho e carga da semeadora. Neste trabalho, essa maior potência na barra de tração pode ser atribuída ao tipo de solo e seu manejo, quando se trata da intensidade de tráfego, pelo fato do histórico dos tráfegos do TC e TCP podem ter deixado o solo com maior dificuldade na abertura de sulco pelas hastes, quando comparada a situação ST.

Analisando as configurações de sulcadores em cada intensidade de tráfego, observa-se maior potência na barra de tração na configuração DDcH para todas as intensidades de tráfegos avaliadas (Figura 30). Silva (2003), também encontrou com o uso de hastes sulcadoras, em substituição aos discos duplos, aumento na demanda de tração e no consumo de combustível.

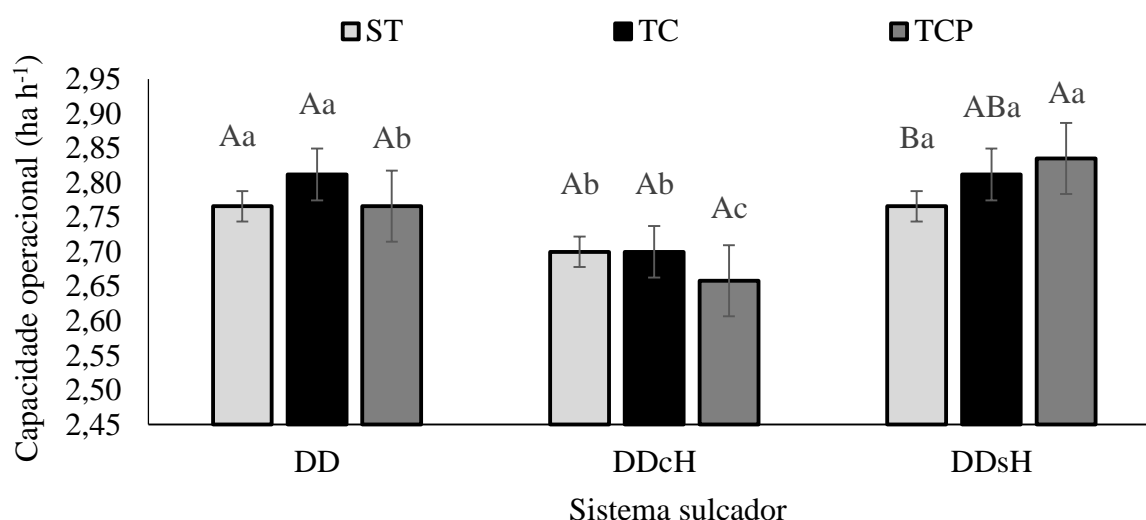
A menor potência na barra de tração foi observada na configuração DDsH para as intensidades de tráfegos avaliadas, exceto a situação ST que não diferiu da configuração DD (Figura 30). Com base nos valores da Tabela 2 e transformando-os em valores percentuais, observa-se que a ausência de sulcadores do tipo haste nas linhas de tráfego (DDcH para DDsH) proporcionaram redução na potência na barra de tração de 50,8%, 57,9% e 53,5% nas áreas ST, TC e TCP, respectivamente.

Esse resultado também deve ser atribuído ao menor número de sulcadores utilizados entre as três configurações estudadas, que foram de 52 para os tratamentos DD e DDcH, e 42 sulcadores para o sistema DDsH devido as linhas de tráfego dos pneus não terem sido cultivadas. No entanto, essa alta porcentagem revela a elevada potência na barra de tração exigida pela ação destes sulcadores que foi superior a 50% em todas as intensidades de tráfego.

A situação ST pode não ter apresentado diferença entre os sulcadores DD e DDsH pela reduzida passagem do pneu e, conseqüentemente, baixa resistência do solo oferecida a esse mecanismo, diferente das intensidades maiores de tráfegos testadas, onde a retirada dos sulcadores exigiu menor potência na barra de tração do trator.

A capacidade operacional, analisando as intensidades de tráfegos em cada opção de sulcadores, foi maior no tráfego do TCP não diferindo estatisticamente do tráfego do TC na configuração DDsH (Figura 31). Furlani et al. (2005) verificaram maior capacidade operacional efetiva na operação de semeadura nos sistemas plantio direto e convencional, em relação ao preparo reduzido, enfatizando que a semeadura tem maior dificuldade em solo escarificado. Isto ocorre devido à condição de não consolidação da superfície do solo, diferindo do plantio direto por não revolver o solo permanecendo consolidado e ainda, do preparo convencional que, após as passagens da grade niveladora, retorna a uma condição mais consolidada.

Figura 31 - Capacidade operacional (ha h^{-1}) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)



Fonte: Autor.

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para o tráfego em cada sistema sulcador, e minúscula para o sistema sulcador em cada tráfego, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Essa consolidação do solo provocada pelo tráfego das máquinas, aliado a retirada dos sulcadores que atuam nessa área trafegada (DDsH), podem ter favorecido o aumento da capacidade operacional quando comparado ao solo que não recebe o tráfego de máquinas e o mesmo, torna-se menos consolidado reduzindo a velocidade de deslocamento como observado na Figura 25 e, conseqüentemente, a capacidade operacional. A configuração de DD e DDcH não apresentaram diferença estatística nas intensidades de tráfegos (Figura 31).

Analisando as configurações de sulcadores em cada intensidade de tráfego, a maior capacidade operacional foi observada na configuração de DD e DDsH para todas as intensidades, com exceção do tráfego TCP que foi maior apenas para DDsH (Figura 31). A menor capacidade operacional foi observada na configuração de sulcador DDcH para todas as intensidades de tráfegos (Figura 31).

Analisando o percentual de contribuição do tráfego controlado de máquinas entre as configurações de sulcadores avaliadas, com base nos valores da Tabela 2, observa-se que a ausência de sulcadores (DDsH) em relação às configurações DD e DDcH na maior intensidade de tráfego (TCP) aumentam a capacidade operacional em 2,5% e 6,3%, respectivamente.

Este trabalho revela que a capacidade operacional na operação de semeadura pode ser maior com o a técnica do tráfego controlado de máquinas por acumular as passagens das máquinas no mesmo local e favorecer a movimentação das mesmas e, o correto ajuste da configuração dos sulcadores que, além de aumentar o rendimento do conjunto, podem proporcionar redução de custos pela menor exigência em potência. Garcia et al. (2006) relatam que é importante conhecer a capacidade das máquinas, a fim de selecionar a potência e os equipamentos que desempenham as operações agrícolas em tempo hábil, e assim, evitar custos adicionais com máquinas superdimensionadas, situação corriqueira em propriedades agrícolas.

O patinamento das rodas motrizes, potência fornecida pelo motor e o percentual de utilização do motor não apresentaram interação significativa entre as intensidades de tráfegos e as configurações de sulcadores avaliadas. Desta forma, os dados dos efeitos principais são apresentados na sequência e, para melhor demonstração dos resultados, os mesmos são apresentados na forma de tabela (Tabela 3) e de gráficos para melhor demonstração das diferenças encontradas.

Tabela 3 - Patinamento das rodas motrizes (%), potência do motor (kW) e utilização do motor (%) para a área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)

Tráfego	Variáveis		
	Patinamento (%)	Potência no motor (kW)	Utilização do motor (%)
ST	2,65 a	49,0 a	31,0 a
TC	1,42 b	47,5 b	30,1 ab
TCP	2,28 ab	45,9 b	29,1 b
Sulcador	Patinamento (%)	Potência no motor (kW)	Utilização do motor (%)
DD	1,16 b	40,1 b	25,4 b
DDcH	3,85 a	65,0 a	41,1 a
DDsH	1,35 b	37,4 c	23,7 c

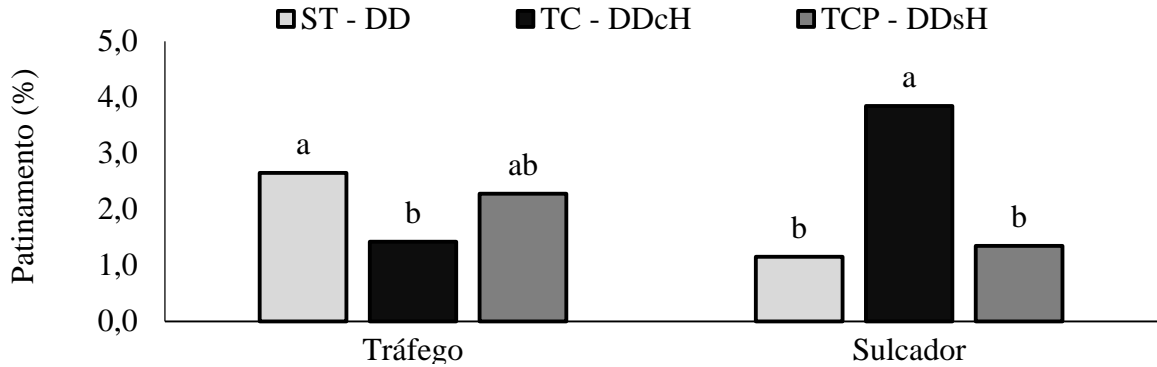
Fonte: Autor.

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna para cada variável não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Analisando os efeitos principais, observa-se que o patinamento das rodas motrizes foi maior na área ST de máquinas não diferindo estatisticamente do tráfego do TCP (Figura 32). Ao analisar os efeitos principais, observa-se que os sistemas sulcadores na configuração DDcH apresentaram o maior patinamento quando comparado as demais opções de sulcadores (Figura 32).

Xavier (2005) evidencia que, quando a profundidade de atuação passou de 0,064 m para 0,1 m a força de tração por haste e por unidade de volume de solo mobilizado aumentou, respectivamente, 95 e 260%. Essa maior força de tração encontrada neste trabalho, devido ao aumento da profundidade de atuação do mecanismo sulcador do tipo haste em comparação ao disco duplo pode também ter influenciado no patinamento das rodas motrizes do trator.

Figura 32 - Patinamento das rodas motrizes (%) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)

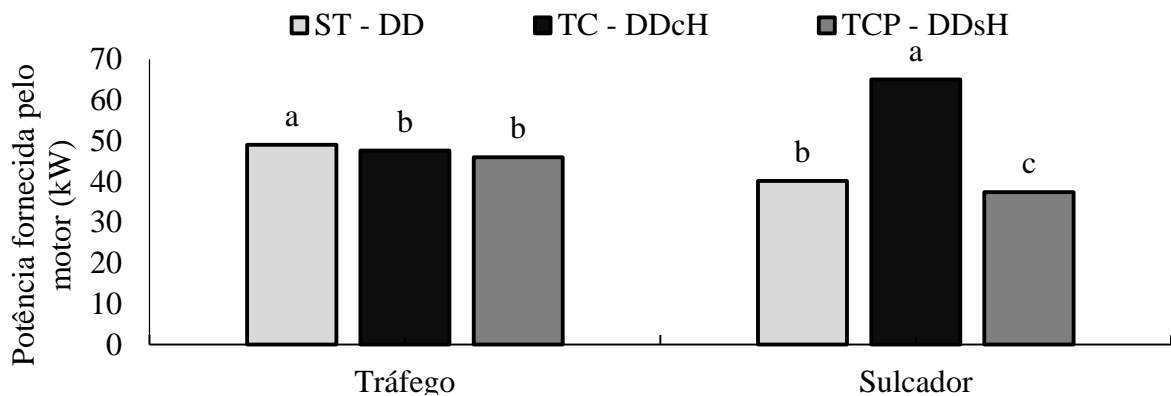


Fonte: Autor.

* Médias seguidas pela mesma letra em cada variável (tráfego e sulcador) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A potência fornecida pelo motor foi maior na área ST em comparação com as demais intensidades de tráfego de máquinas (Figura 33). Esse resultado, embora não tenha apresentado interação significativa para avaliar em quais opções de sulcadores é mais intenso, demonstra a importância do tráfego controlado de máquinas por exigir menor potência fornecida pelo motor do trator. Isso pode representar maiores ganhos em eficiência na utilização e redução no uso de insumos, como consumo de combustível e emissões de poluentes.

Figura 33 - Potência fornecida pelo motor (kW) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)



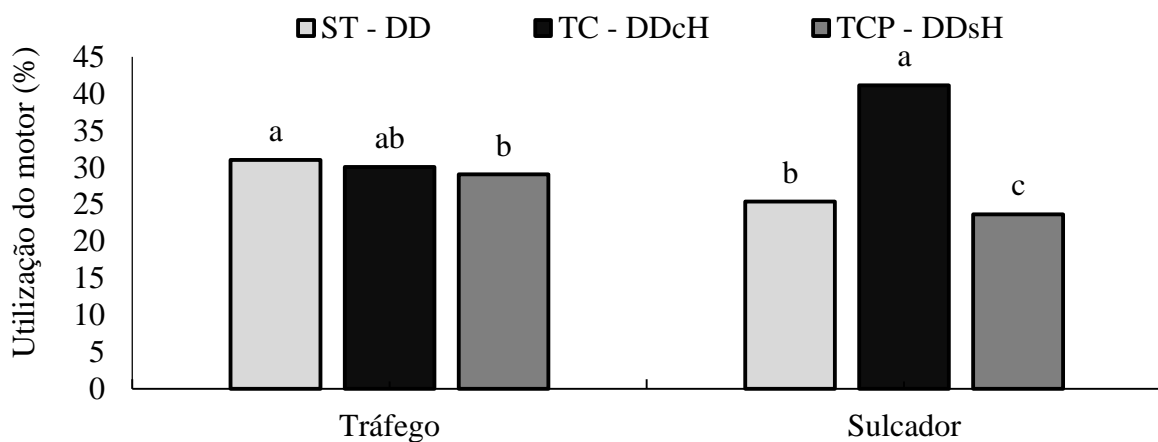
Fonte: Autor

* Médias seguidas pela mesma letra em cada variável (tráfego e sulcador) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Analisando os sistemas sulcadores, a maior potência fornecida pelo motor foi observada no uso do DDcH (Figura 33). De acordo com Francetto et al. (2016), o sulcador do tipo haste exige maior força e potência que os de disco duplos desencontrados, e ambos ao serem combinados com discos de corte tem seus requerimentos aumentados. Essa maior exigência em força e potência pode justificar esse aumento da potência máxima disponível do motor encontradas neste trabalho com a utilização de DDcH.

A maior utilização do motor foi observada na área ST, não diferindo estatisticamente do tráfego do TC (Figura 34). A existência de um solo macio resultante da ausência de tráfego de máquinas pode ter exigido maior demanda do motor do trator para vencer a resistência ao rolamento (Figura 29) e com isso, utilizar maior potência do motor. Analisando os sistemas sulcadores, a maior utilização do motor ocorre na utilização de DDcH (Figura 34).

Figura 34 - Utilização do motor (%) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)



Fonte: Autor.

* Médias seguidas pela mesma letra em cada variável (tráfego e sulcador) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Esses resultados do desempenho do trator, na operação de semeadura em área com tráfego controlado de máquinas, expressam a importância e os benefícios em se utilizar diferentes configurações na semeadora, principalmente quando se tem variação da intensidade de compactação da área e se a mesma ocorre em locais específicos, como na utilização do tráfego controlado de máquinas, que acontece nas linhas de tráfego. No entanto, para a melhor visualização dos benefícios e vantagens deste sistema, torna-se fundamental uma comparação

com o sistema convencional de tráfego de máquinas, ou seja, na passagem aleatória, sem orientação das mesmas sobre o solo.

4.1.2 Tráfego controlado x tráfego aleatório

Para melhor comparação da técnica do tráfego controlado de máquinas, em relação ao sistema aleatório de movimentação das máquinas empregado quase que na totalidade das áreas agrícolas do Brasil, foram realizadas comparações pelo teste de Dunnett das intensidades de tráfegos avaliadas em relação ao tráfego aleatório de máquinas. Os dados são apresentados na forma agrupada (Tabela 4) e em detalhes para cada variável analisada, descritas na sequência deste documento.

Tabela 4 - Força de tração (kN) patinamento (%), velocidade real (km h⁻¹), potência na barra de tração (kW), potência máxima fornecida pelo motor (kW), utilização do motor (%) e capacidade operacional (ha h⁻¹), para a área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcadores disco duplo, disco duplo com haste e disco duplo sem haste.

(continua)

Tráfego	Sistema sulcador		
	Disco duplo	Disco duplo com haste	Disco duplo sem haste
----- Força de tração (kN) -----			
ST	19,14*	35,27	17,53*
TC	18,57*	38,33	16,06
TCP	18,48	37,18	16,17
TA	17,32	35,95	15,14
----- Patinamento (%) -----			
ST	1,55	4,56	1,84
TC	0,28	2,83	1,15*
TCP	1,63	4,14	1,06*
TA	0,98	3,65	2,20
----- Velocidade real (km h ⁻¹) -----			
ST	4,39	4,29	4,39*
TC	4,46	4,29	4,46
TCP	4,39	4,22	4,50
TA	4,39	4,25	4,54

Tabela 4 - Força de tração (kN) patinamento (%), velocidade real (km h⁻¹), potência na barra de tração (kW), potência máxima fornecida pelo motor (kW), utilização do motor (%) e capacidade operacional (ha h⁻¹), para a área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcadores disco duplo, disco duplo com haste e disco duplo sem haste.

(conclusão)

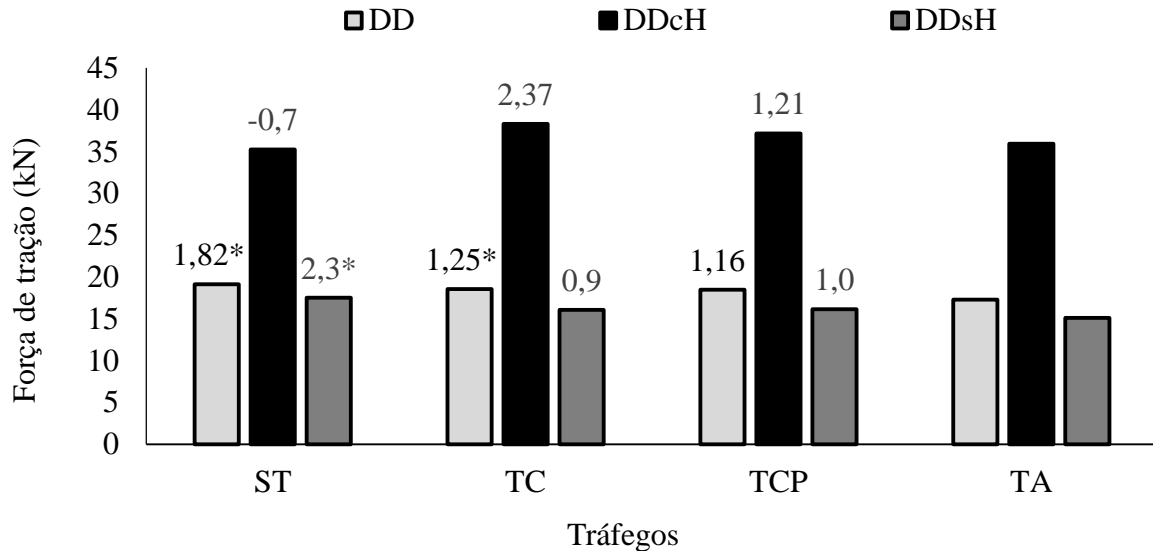
Tráfego	Sistema sulcador		
	Disco duplo	Disco duplo com haste	Disco duplo sem haste
----- Potência na barra de tração (kW) -----			
ST	23,34 *	41,99	21,37
TC	23,03 *	45,63	19,92
TCP	22,54	43,55	20,22
TA	21,12	42,46	19,09
----- Potência fornecida pelo motor (kW) -----			
ST	42,16 *	64,91	39,93 *
TC	39,76	66,52	36,35
TCP	38,36	63,60	35,83
TA	38,64	64,14	36,98
----- Utilização do motor (%) -----			
ST	26,69 *	41,08	25,27 *
TC	25,16	42,10	23,00
TCP	24,28	40,25	22,68
TA	24,46	40,60	23,40
----- Capacidade operacional (ha h ⁻¹) -----			
ST	2,77	2,70	2,77 *
TC	2,81	2,70	2,81
TCP	2,77	2,66	2,84
TA	2,77	2,68	2,86

Fonte: Autor.

*Diferem do tráfego aleatório pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

Analisando o sistema de tráfego controlado com suas diferentes intensidades, e comparando com a movimentação aleatória das máquinas sobre o solo através do teste de Dunnett, observa-se diferença significativa na força de tração, com valores superiores ao encontrado no tráfego aleatório, na configuração de sulcador DD no tráfego TC, e também no uso do sulcador DDsH na área ST (Figura 35).

Figura 35 - Força de tração (kN) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)



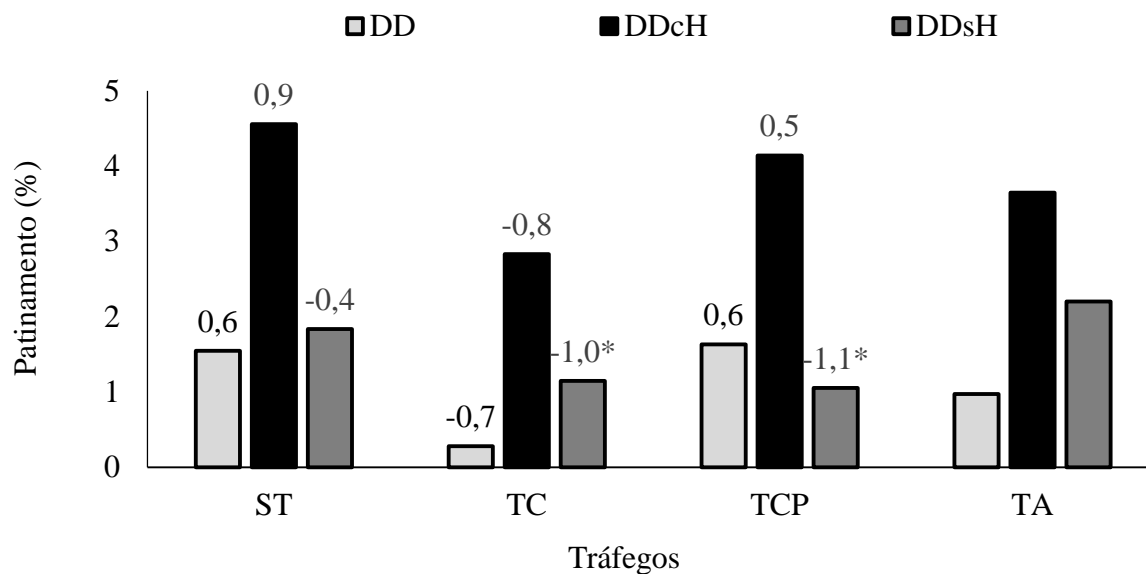
Fonte: Autor

*Diferem do tráfego aleatório pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

A diferença na exigência de força de tração pode ter ocorrido pela maior resistência ao rolamento (Figura 29), provocada, possivelmente, pelo aprofundamento dos pneus ao solo, identificados pela maior área de contato dos pneus (Figura 28) na área ST quando comparado às demais intensidades estudadas, demonstrando diferença nas configurações de sulcadores que demandaram menor força de tração (DD e DDsH). Quando observado a maior intensidade de tráfego (TCP), não se observa diferença significativa das configurações de sulcadores com o tráfego aleatório de máquinas (Figura 35).

O patinamento das rodas motrizes do trator foi menor no tráfego do TC e TCP na configuração de DDsH quando comparado ao aleatório (Figura 36). Essa menor porcentagem de patinamento observada nesta configuração pode ser justificada pela maior compactação existente nas linhas de tráfego das máquinas que, somados a condição de menor exigência de potência pela configuração DDsH, favoreceu a diminuição do patinamento quando comparado a situação de tráfego aleatório.

Figura 36 - Patinamento (%) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)

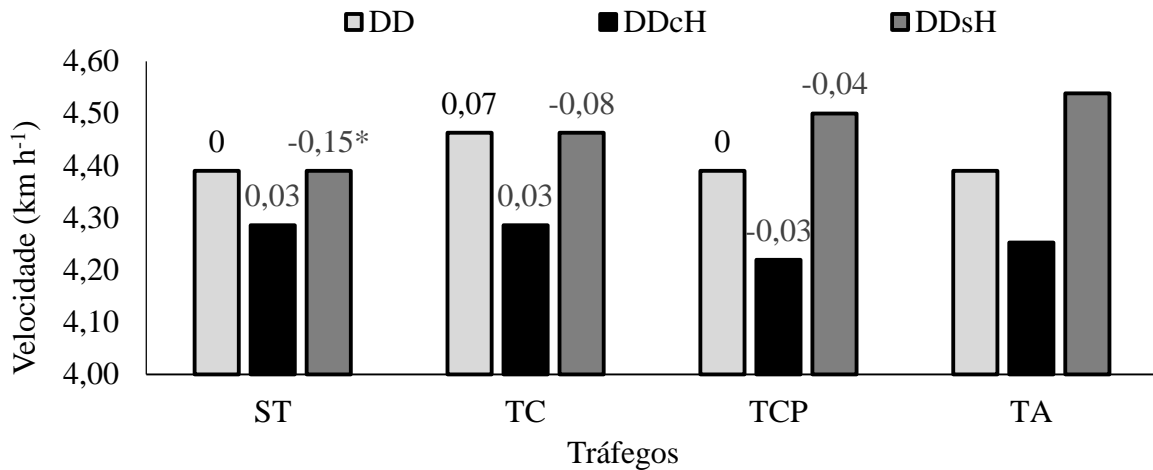


Fonte: Autor.

* Diferem do tráfego aleatório pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

A velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora diferiu do tráfego aleatório de máquinas apenas na situação ST com sulcador disco DDsH (Figura 37). A menor velocidade de deslocamento também pode ser justificada devido a maior resistência oferecida ao tráfego do trator em situação sem passagem anterior de máquinas, deixando o solo menos compactado, promovendo aprofundamento dos pneus, aumentando a área de contato (Figura 29) e fazendo com que o conjunto trator-semeadora se desloque mais lentamente quando em menor quantidade de sulcadores na sua configuração.

Figura 37 - Velocidade de deslocamento (km h^{-1}) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)

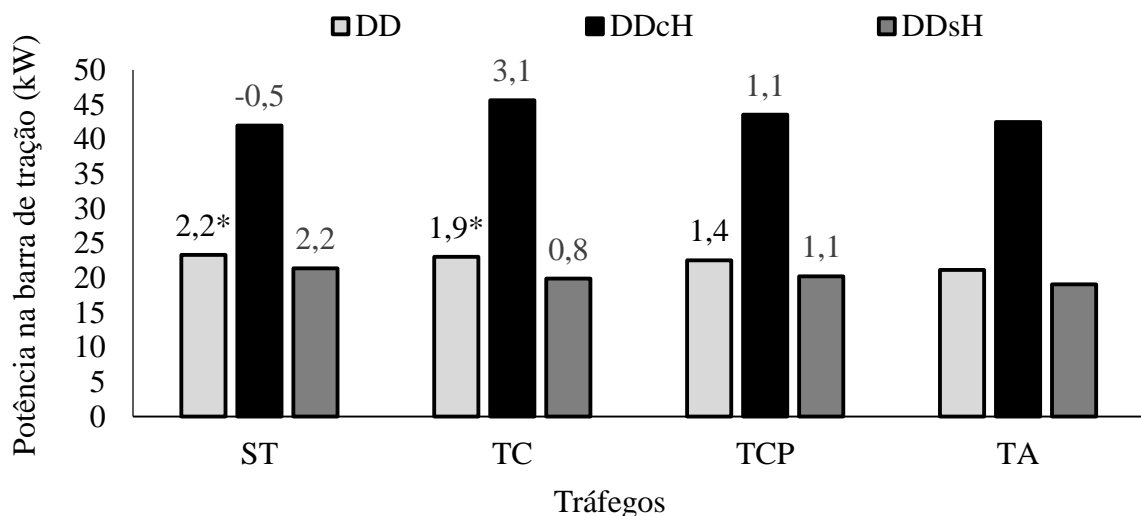


Fonte: Autor.

* Diferem do tráfego aleatório pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

A potência na barra de tração diferiu positivamente do tráfego aleatório na configuração de DD na situação ST e tráfego do TC (Figura 38).

Figura 38 - Potência na barra de tração (kW) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)



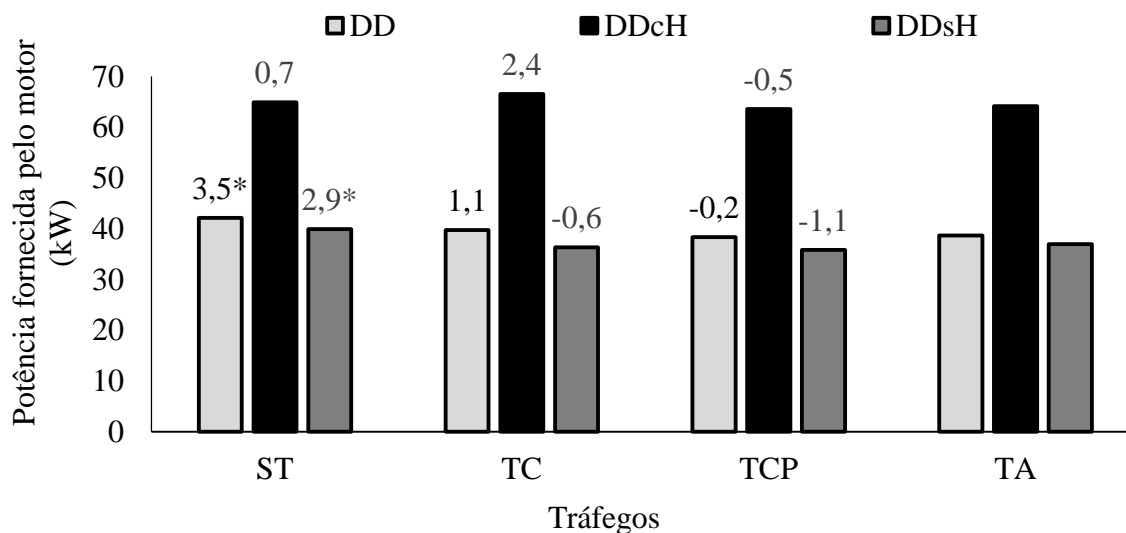
Fonte: Autor.

* Diferem do tráfego aleatório pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

A potência fornecida pelo motor do trator diferiu, com valores maiores, comparado ao tráfego aleatório de máquinas apenas na situação ST nas configurações DD e DDsH (Figura 39). Esse resultado também pode ser correlacionado a potência que o motor deve oferecer para que o trator possa se deslocar na área, neste sentido, a área isenta de tráfego ofereceu maior resistência e conseqüentemente exigiu maior potência do motor. A configuração de DDcH pode não ter diferido do tráfego aleatório por ter apresentado valores maiores devido a utilização de hastes que demandam maior potência do motor do trator.

Vale salientar, que em uma situação de tráfego aleatório praticada nas propriedades agrícolas, todas as linhas da semeadora recebem haste sulcadoras para promover uma melhor abertura de sulco na deposição do fertilizante. Neste trabalho, mesmo operando em área com tráfego aleatório de máquinas, a semeadora foi equipada com hastes apenas nas linhas de tráfego (DDcH). Essa característica da semeadora estar equipada com 20% das linhas com hastes, podem ter contribuído para os resultados não terem diferido entre as intensidades de tráfego avaliadas comparadas ao tráfego aleatório.

Figura 39 - Potência fornecida pelo motor (kW) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)



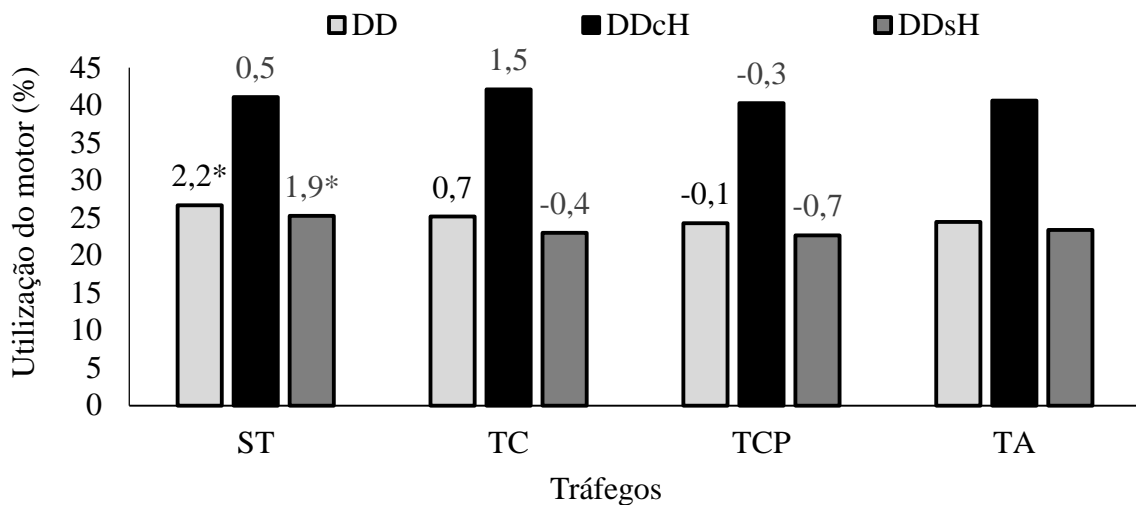
Fonte: Autor.

* Diferem do tráfego aleatório pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

A utilização do motor do trator agrícola seguiu o mesmo resultado da potência fornecida pelo motor, diferindo do tráfego aleatório de máquinas com valores superiores,

apenas na situação ST nas configurações DD e DDsH (Figura 40). A maior utilização do motor pode ser justificada pela maior resistência ao rolamento oferecida na área ST quando comparada às demais intensidades (Figura 29).

Figura 40 - Utilização do motor (%) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)



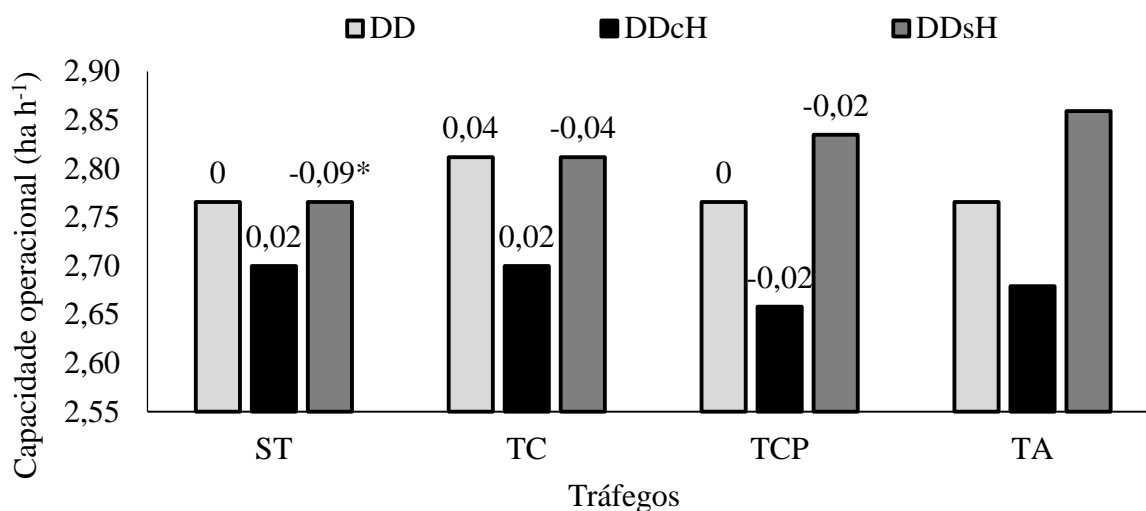
Fonte: Autor.

* Diferem do tráfego aleatório pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

Essa maior resistência não foi observada por diferença pelo teste de Dunnett na configuração de DDcH na área isenta de tráfego, possivelmente pelo maior patinamento das rodas motrizes provocados pela maior exigência de tração que as hastes promovem. Essa diferença, embora também não tenha sido significativa em relação ao tráfego aleatório, pode ser visualizada na Figura 36.

A capacidade operacional diferiu do tráfego aleatório apenas na situação ST com a utilização da configuração DDsH (Figura 41). Observa-se que essa diferença foi com sinal negativo pelo teste de Dunnett, demonstrando menor capacidade operacional quando se trafega em área isenta de tráfego sem o uso de sulcadores nas linhas por onde passam os rodados do trator quando comparado ao tráfego aleatório de máquinas.

Figura 41 - Capacidade operacional (ha h^{-1}) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)



Fonte: Autor.

*Diferem do tráfego aleatório pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

Os resultados encontrados neste trabalho demonstram muitas vantagens em se utilizar diferentes configurações de sulcadores nas semeadoras e no melhor desempenho do trator responsável por tracioná-las. Essa busca por novas alternativas de manejo nas operações que envolvem máquinas agrícolas contribui para a melhor utilização dos recursos, demandadas pelas constantes falhas cometidas no setor agrícola que comprometem sua eficiência. Neste sentido, a técnica do tráfego controlado mostrou-se uma importante ferramenta para o uso adequado das tecnologias disponíveis, principalmente, na tentativa de racionalização dos insumos, aumento de produtividades, eficiência nas operações e preservação do ambiente.

4.2 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

4.2.1 Tráfego controlado de máquinas agrícolas

O consumo de combustível do motor do trator agrícola utilizado nas avaliações apresentam interação significativa entre todas as intensidades de tráfegos e sistemas de sulcadores para a variável consumo específico. Analisando os efeitos principais, se observa

diferença significativa para as opções de sulcadores nas duas variáveis de consumo analisadas e somente consumo horário diferiu quando analisado as intensidades de tráfegos (Tabela 5).

Tabela 5 - Resumo da ANOVA com os valores dos quadrados médios para o consumo horário ($L h^{-1}$) e consumo específico de combustível ($g (kW h)^{-1}$) para as intensidades de tráfego, opções de sulcadores, sua interação, erro, coeficiente de variação e média geral

Fontes de variação	Quadrados médios	
	Consumo horário ($L h^{-1}$)	Consumo específico ($g (kW h)^{-1}$)
Tráfego (T)	0,104*	22,058
Sulcador (S)	22,64*	79751*
T x S	0,029	396,36*
Erro	0,023	118,99
CV (%)	1,31	2,98
Média geral	11,7	366

Fonte: Autor.

* Efeito significativo ($p \leq 0,05$).

O consumo específico é uma variável importante para determinar a eficiência de uma máquina quanto a utilização do combustível que utiliza, pelo fato de expressar a quantidade de combustível consumida pelo motor para desenvolver determinada potência em relação a um determinado tempo. Neste sentido, observa-se a variação do consumo de combustível encontrado nas diferentes intensidades de tráfego em cada configuração de sulcador (Tabela 6).

Tabela 6 - Consumo específico de combustível ($g (kW h)^{-1}$) para a área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo, disco duplo com haste e disco duplo sem haste

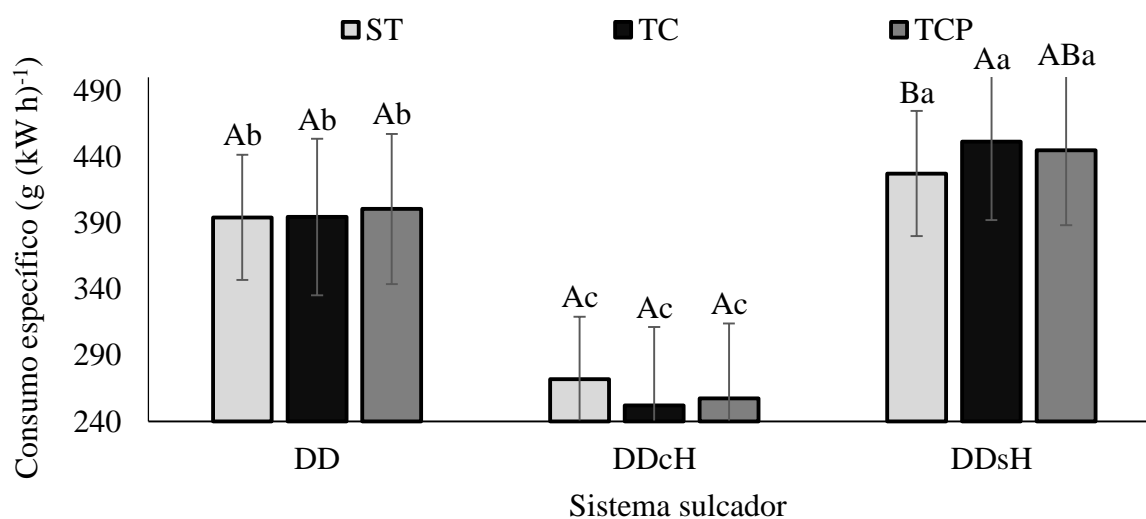
Tráfego	Sistema sulcador		
	Disco duplo	Disco duplo com haste	Disco duplo sem haste
ST	394,19 Ba	271,86 Ca	427,35 Ab
TC	394,48 Ba	252,21 Ca	451,39 Aa
TCP	400,51 Ba	257,31 Ca	444,97 Aab

Fonte: Autor.

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha em cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Avaliando a interação significativa do consumo específico de combustível, as intensidades de tráfego não alteraram o consumo com a utilização de DD e DDcH. Porém, o tráfego do TC apresentou o maior consumo de combustível na configuração disco DDsH, não diferindo estatisticamente do tráfego do TCP (Figura 42).

Figura 42 - Consumo específico de combustível (g (kW h)^{-1}) pelo motor do trator nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH), em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP)



Fonte: Autor.

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para o tráfego em cada sistema sulcador, e minúscula para o sistema sulcador em cada tráfego, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Analisando os sistemas sulcadores em cada intensidade de tráfego, a configuração DDsH apresentou o maior consumo específico de combustível quando comparado às demais opções de sulcadores em todas as intensidades de tráfegos avaliadas (Figura 42).

A configuração de sulcadores DDcH apresentou o menor consumo específico de combustível para todas as intensidades de tráfegos avaliadas (Figura 42). Farias et al. (2017) avaliando sistemas de transmissão em trator conclui que o consumo específico de combustível do trator diminui à medida que os níveis de carga aumentam, refletindo na produção de energia com baixo consumo de combustível.

Resultados similares também foram encontrados por Acuña et al. (1995) onde, embora tenha havido um aumento do volume de combustível consumido por hora pelo motor, a potência desenvolvida na barra de tração também aumentou, e isso pode explicar, para esses autores, o menor consumo específico de combustível.

O consumo horário de combustível expressa o volume do produto utilizado pelo motor em relação a um determinado tempo. Mesmo não levando em consideração a potência produzida pela combustão desse combustível, sua determinação é importante e neste trabalho revelou diferença entre as intensidades de tráfego e as opções de sulcadores (Tabela 7).

Tabela 7 - Consumo horário de combustível ($L h^{-1}$) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)

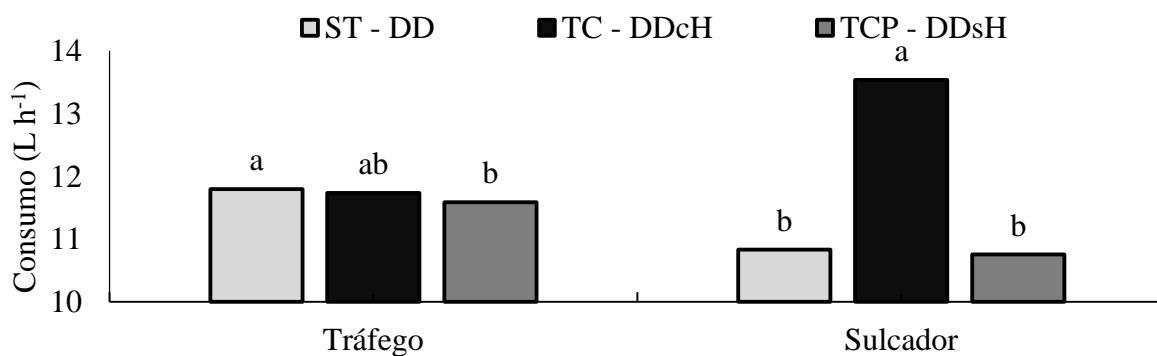
	ST	TC	TCP
Consumo ($L h^{-1}$)	11,8 a	11,74 ab	11,59 b
	DD	DDcH	DDsH
Consumo ($L h^{-1}$)	10,83 b	13,54 a	10,75 b

Fonte: Autor.

* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Avaliando os efeitos principais, observa-se que o maior consumo horário de combustível ocorre na área ST de máquinas, não diferindo estatisticamente do tráfego do TC (Figura 43). Huang et al. (2007) observaram um consumo de combustível significativamente menor no sistema de tráfego controlado, devido ao menor consumo de combustível devido a menor resistência ao rolamento, em comparação com tráfego aleatório.

Figura 43 - Consumo de combustível ($L h^{-1}$) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)



Fonte: Autor.

* Médias seguidas pela mesma letra em cada variável (tráfego e sulcador) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Chen et al. (2008) analisaram os efeitos do tráfego controlado, comparando ao tráfego aleatório de máquinas sobre o uso de energia para operações, e encontraram uma redução de 23% do uso de energia no tráfego controlado de máquinas. Nikolic et al. (2001) encontraram de 20 a 25% de redução de energia no sistema de tráfego controlado.

Fulton et al. (1996) trabalhando com subsolagem, concluíram que medindo e manejando a densidade do solo em pontos georeferenciados, o consumo de combustível pode ser reduzido em 50% quando se maneja o solo em local específico em comparação ao aleatório. Essa técnica é similar ao tráfego controlado de máquinas, que concentra a passagem das máquinas em locais específicos e obteve resultados positivos na redução do consumo de combustível.

Esses resultados demonstram que a técnica do tráfego controlado de máquinas, assim como em outros trabalhos, demonstra resultados positivos na redução do consumo de combustível. Transformando os dados da Tabela 7 em valores percentuais, observa-se redução de 1,8% no consumo de combustível horário na utilização do tráfego controlado de máquinas na maior intensidade (TCP) em comparação a área ST. Neste sentido, a utilização do tráfego controlado de máquinas pode trazer ganhos em economia de combustível que resulta em maior eficiência no uso dos insumos e redução de custos de produção.

Analisando as configurações de sulcadores, o maior consumo horário de combustível ocorre na utilização do sulcador DDcH (Figura 43). Esses resultados, utilizando haste sulcadoras que demandam maior energia, são condizentes aos de Farias et al. (2017), que concluíram que quanto maior o nível de carga aplicado no trator, maior é o consumo de combustível do motor.

A configuração DD e DDsH apresentaram o menor consumo de combustível (Figura 43). Comparando percentualmente a configuração DDcH com DD com base nos valores da Tabela 7, percebe-se redução de 20% no consumo horário de combustível. Esses resultados são similares aos obtidos por Howard et al. (2013), que descrevem que o consumo horário de combustível é uma função linear de energia na barra de tração, ou seja, neste trabalho, onde a exigência de potência do trator foi menor, reduziu também o consumo horário de combustível.

Dentro de uma economia global em que a agricultura brasileira opera, torna-se importante a disseminação de informações sobre o desempenho de máquinas agrícolas, considerado também, essenciais para a tomada de decisões, especialmente as relacionadas à otimização da eficiência de combustível (MONTEIRO, 2011). Neste sentido, o tráfego controlado de máquinas, e a correta utilização de sulcadores, foram tecnicamente eficientes no

uso de combustível na operação de semeadura, podendo auxiliar na otimização das máquinas agrícolas utilizadas na agricultura.

4.2.2 Tráfego controlado x tráfego aleatório

O consumo de combustível caracteriza-se como um dos principais custos da mecanização agrícola. Deste modo, para demonstração da técnica do tráfego controlado de máquinas em relação ao sistema aleatório de movimentação das máquinas, foram realizadas comparações pelo teste de Dunnett das intensidades de tráfegos avaliadas em relação ao TA de máquinas em cada configuração de sulcadores. Os resultados, são apresentados de forma agrupada (Tabela 8) e em detalhes para cada variável analisada, descritas na sequência deste documento.

Tabela 8 - Consumo horário de combustível ($L h^{-1}$) e consumo específico de combustível ($g (kW h^{-1})$), para a área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), com a diferença para o tráfego aleatório (TA) nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo, disco duplo com haste e disco duplo sem haste

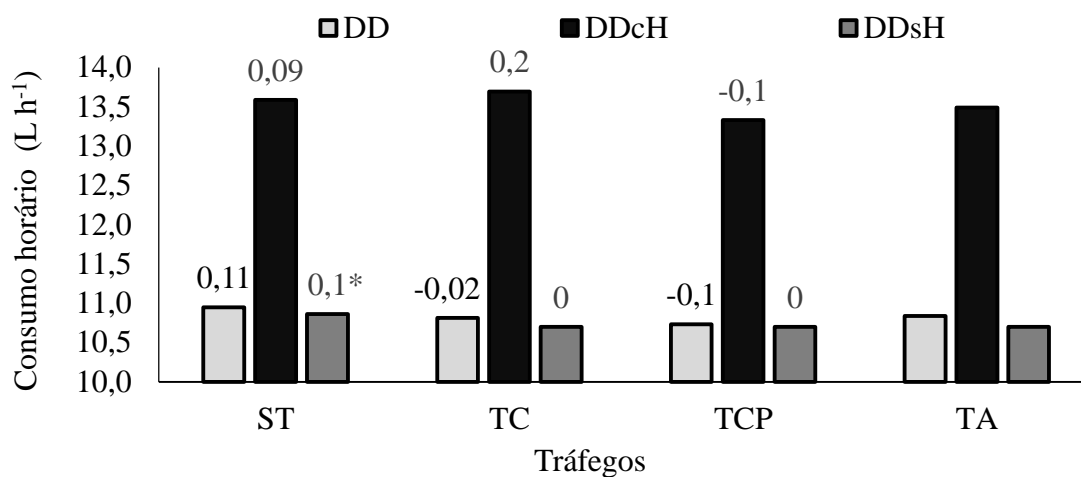
Tráfego	Sistema sulcador		
	Disco duplo	Disco duplo com haste	Disco duplo sem haste
----- Consumo horário ($L h^{-1}$) -----			
ST	10,95	13,59	10,86 *
TC	10,81	13,69	10,70
TCP	10,73	13,33	10,70
TA	10,84	13,49	10,70
----- Consumo específico ($g (kW h^{-1})$) -----			
ST	394,19 *	271,86	427,35
TC	394,48 *	252,21	451,39
TCP	400,51 *	257,31	444,97
TA	431,09	267,16	472,78

Fonte: Autor.

*Diferem do tráfego aleatório pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

Analisando o consumo horário (Ch) nas diferentes intensidades de tráfego e comparando com o TA, verifica-se que apenas a área ST na configuração DDsH diferiu do TA com valores maiores (Figura 44).

Figura 44 - Consumo horário de combustível ($L h^{-1}$) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)

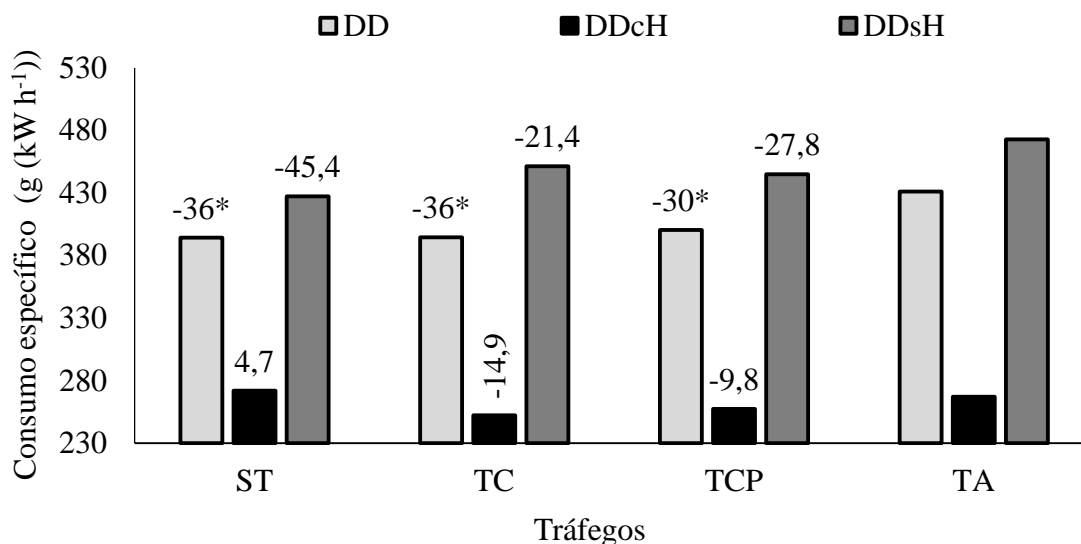


Fonte: Autor.

* Diferem do tráfego aleatório pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

O consumo específico (C_e), ao comparar as intensidades de tráfego com o sistema aleatório, apresentou diferença pelo teste de Dunnett, apenas para configuração de DD, em todas as intensidades de tráfego (Figura 45). Essa redução representou 8,5%, 8,5% e 7,1% respectivamente para ST, TC e TCP quando comparado ao TA. Chen e Yang (2015), estudando o tráfego controlado em comparação ao aleatório, concluíram que devido à forte correlação positiva entre força de tração e consumo de combustível, o tráfego controlado reduziu significativamente o consumo de combustível na semeadura do trigo no inverno e do milho no verão. A economia encontrada por esses autores no consumo de combustível foi de 23,7%.

Figura 45 - Consumo específico de combustível (g (kW h⁻¹)) em área sem tráfego (ST), com tráfego do trator e colhedora (TC) e com tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)



Fonte: Autor

* Diferem do tráfego aleatório pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

Neste trabalho, o consumo de combustível foi significativo apenas para a configuração DD. No entanto, mesmo não diferindo pelo teste de Dunnett, observa-se redução no Ce em todas as intensidades e configurações, com exceção do DDcH na situação ST (Figura 45).

4.3 EMISSÕES DE GASES POLUENTES DO MOTOR

4.3.1 Tráfego controlado de máquinas

A emissão de gases do motor do trator agrícola, utilizado nas avaliações, apresenta interação significativa entre todas as intensidades de tráfegos e sistemas de sulcadores. Analisando os efeitos principais, também se observa a diferença significativa para todas as variáveis avaliadas (Tabela 9). Desta forma, os resultados da interação entre as intensidades de tráfegos e os sistemas sulcadores utilizados são abordados e discutidos em cada variável analisada na sequência desse trabalho.

Tabela 9 - Resumo da ANOVA com os valores dos quadrados médios para particulados dos gases, óxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de carbono (CO₂) e oxigênio (O₂) expelidos nos gases do motor para as intensidades de tráfego, opções de sulcadores, sua interação, erro, coeficiente de variação e média geral

Fontes de variação	Quadrados médios					
	Particulados (g (kW h) ⁻¹)	NO (g (kW h) ⁻¹)	NO ₂ (g (kW h) ⁻¹)	NO _x (g (kW h) ⁻¹)	CO ₂ (g (kW h) ⁻¹)	O ₂ (%)
Tráfego (T)	0,199*	0,723*	0,008*	0,609*	9.376*	8,432*
Sulcador (S)	1,113*	48,022*	1,595*	33,172*	1.046.438*	139,99*
T x S	0,035*	0,230*	0,012*	0,185*	4.872*	4,143*
Erro	0,0	0,0	0,0	0,0	6,198	0,004
CV (%)	11,65	0,88	5,05	0,94	0,75	0,43
Média geral	0,065	2,588	0,152	2,738	332,72	14,206

Fonte: Autor.

* Efeito significativo ($p \leq 0,05$).

A operação de semeadura realizada neste trabalho, exigiu do trator potência na barra de tração para tracionar o conjunto de semeadoras. Essa demanda variou em função das configurações utilizadas nos sistemas sulcadores, os quais aumentaram ou diminuíram a exigência, como visto anteriormente na avaliação do desempenho do trator. No entanto, a alteração da exigência de potência, pode modificar também o funcionamento do motor, principalmente, a mistura de ar e combustível que são os responsáveis pela combustão e geração de energia.

Segundo Heywood (1988) a combustão da mistura ar e combustível no interior do motor é um dos processos que controlam a potência, a eficiência e a produção de gases poluentes. Neste sentido, a existência de interação significativa entre as intensidades de tráfego e configurações de sulcadores, (Tabela 9) evidencia que o tráfego controlado de máquinas, bem como as opções de sulcadores, interferem no funcionamento do motor do trator e por consequência, na emissão de gases do motor.

A interação significativa, entre as intensidades de tráfegos e as opções de configurações dos sulcadores, revela informações importantes em relação às diferentes quantidades de gases poluentes emitidos pelo motor do trator operando nestas diferentes situações. Neste sentido, a Tabela 10 apresenta os dados obtidos neste estudo.

Tabela 10 - Particulados ((g (kW h)⁻¹) monóxido de nitrogênio ((g (kW h)⁻¹), dióxido de nitrogênio ((g (kW h)⁻¹), óxidos de nitrogênio ((g (kW h)⁻¹), dióxido de carbono ((g (kW h)⁻¹) e oxigênio (%) para a área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), nas configurações de sulcadores disco duplo, disco duplo com haste e disco duplo sem haste.

(continua)

Tráfego	Sistema sulcador		
	Disco duplo	Disco duplo com haste	Disco duplo sem haste
----- Particulados ((g (kW h) ⁻¹) -----			
ST	0,07 Ba	0,11 Aa	0,06 Ca
TC	0,06 Bb	0,11 Aa	0,03 Cb
TCP	0,04 Bc	0,10 Ab	0,02 Cc
----- Monóxido de nitrogênio ((g (kW h) ⁻¹) -----			
ST	2,53 Ba	2,83 Ab	2,48 Ca
TC	2,47 Bb	2,86 Aa	2,42 Cb
TCP	2,46 Bc	2,81 Ac	2,42 Cc
----- Dióxido de nitrogênio ((g (kW h) ⁻¹) -----			
ST	0,17 Ac	0,11 Bb	0,17 Ab
TC	0,17 Bb	0,10 Cb	0,18 Aa
TCP	0,18 Aa	0,11 Ca	0,17 Bb
----- Óxidos de nitrogênio ((g (kW h) ⁻¹) -----			
ST	2,70 Ba	2,94 Ab	2,65 Ca
TC	2,65 Bb	2,96 Aa	2,60 Cb
TCP	2,64 Bc	2,92 Ac	2,58 Cc
----- Dióxido de carbono ((g (kW h) ⁻¹) -----			
ST	323 Ba	368 Ab	316 Ca
TC	315 Bb	372 Aa	309 Cc
TCP	312 Bc	366 Ac	311 Cb

Tabela 10 - Particulados ((g (kW h)⁻¹) monóxido de nitrogênio ((g (kW h)⁻¹), dióxido de nitrogênio ((g (kW h)⁻¹), óxidos de nitrogênio ((g (kW h)⁻¹), dióxido de carbono ((g (kW h)⁻¹) e oxigênio (%) para a área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), nas configurações de sulcadores disco duplo, disco duplo com haste e disco duplo sem haste.

(conclusão)

Tráfego	Sistema sulcador		
	Disco duplo	Disco duplo com haste	Disco duplo sem haste
----- Oxigênio (%) -----			
ST	14,63 Aa	13,78 Cb	14,51 Ba
TC	14,50 Ab	13,78 Cb	14,25 Bb
TCP	14,38 Ac	13,84 Ca	14,18 Bc

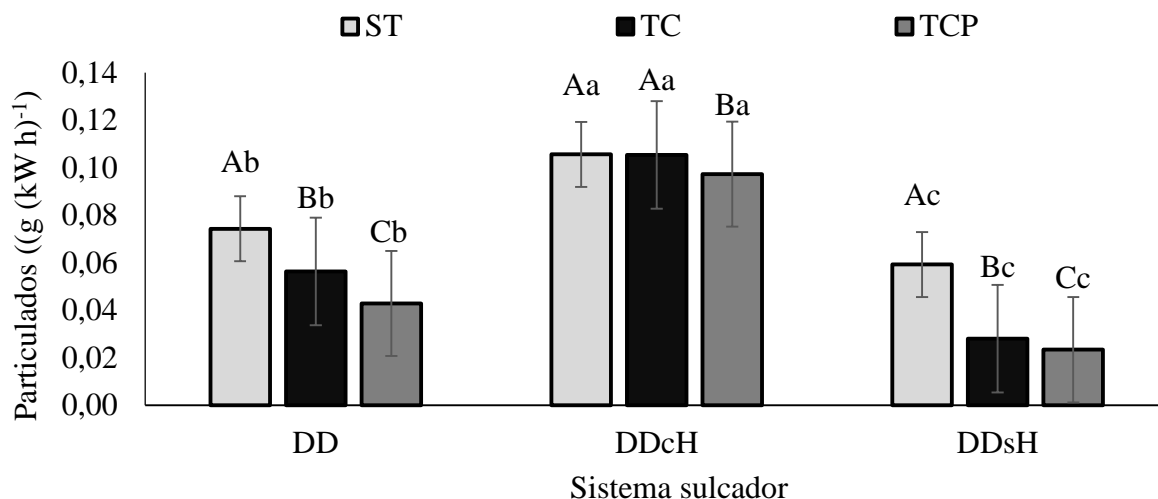
Fonte: Autor

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna em cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Um dos produtos resultantes da combustão do óleo Diesel, em motores agrícolas, e considerado o mais preocupante é o material particulado, composto por fuligem e compostos inorgânicos como sulfatos, água e cinzas. O núcleo dos particulados basicamente é um composto sólido formado de carbono e partículas metálicas aglomeradas vindas do sistema de lubrificação, o qual constitui aproximadamente 90% do seu volume (Tobias, 2001). Esses materiais particulados apresentam dimensões extremamente pequenas, variando de 0,003 a 0,03 micrômetros (KITTELSON, 2002).

No trabalho realizado, as emissões de particulados emitidos pelo motor do trator foram maiores na área ST em todas as opções de sulcadores, exceto no sulcador DDcH que não apresentou diferença entre a área ST e tráfego do TC (Figura 44). Esse resultado demonstra que o tráfego controlado, ao permitir o acúmulo de passagem das máquinas agrícolas no mesmo local, pode proporcionar ganhos significativos na redução das emissões do motor do trator, como evidenciado neste trabalho, onde a área isenta de tráfego apresenta maiores emissões de particulados do motor do trator.

Figura 46 - Emissão de particulados ((g (kW h)^{-1})) pelo motor do trator nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH) em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP)



Fonte: Autor.

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para o tráfego em cada sistema sulcador, e minúscula para o sistema sulcador em cada tráfego, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A menor emissão de particulados foi observado no tráfego do TCP em todas as configurações de sulcadores (Figura 46). Transformando os dados da Tabela 10 em percentual, observa-se que o tráfego TCP em relação ao ST proporcionou redução da emissão de particulados em 42,8% e 66,7% para as configurações DD e DDsH, respectivamente.

Esse resultado demonstra ainda mais a importância em manter a movimentação das máquinas em um mesmo local, como ocorre no tráfego controlado de máquinas. Assim, se reduz a emissão de particulados expelidos pelo motor, como ocorre neste trabalho, que com a maior intensidade de tráfego estudada apresenta a menor emissão de particulados, independente da opção de sulcador utilizada.

Outra possível justificativa para essa redução das emissões na maior intensidade de tráfego, é o fato de que um trator, quando trafega em solo firme, ter a tendência de reduzir a resistência ao rolamento, como evidenciado neste trabalho (Figura 29). Essa menor demanda energética pode fazer com que o motor opere com mistura adequada de ar e combustível, pela não necessidade de sobrealimentação, pela bomba injetora de combustível, para aumentar o torque do motor. Essa característica pode favorecer a melhor combustão do combustível, reduzindo a emissão de particulados, como evidenciado neste trabalho quando o trator trafegou na maior intensidade de tráfego (TCP).

Analisando os sistemas sulcadores em cada intensidade de tráfego, observa-se que a emissão de particulados foi maior na configuração DDcH para todas as intensidades de tráfegos (Figura 44). A utilização de hastes sulcadoras em semeadoras se justifica para romper a compactação do solo, causada principalmente pela passagem das máquinas. Desta forma, alternativas para o trânsito de máquinas no solo, como a técnica do tráfego controlado de máquinas, tornam-se eficientes para reduzir a utilização de hastes sulcadoras e substituí-las por sulcador disco duplo em locais isentos de tráfegos como avaliado neste trabalho, que trouxe ganhos significativos na redução da emissão de particulados expelidos pelo motor.

A menor emissão de particulados pelo motor do trator ocorrem na utilização de DDsH em todas as intensidades de tráfegos avaliadas (Figura 46). As produções de grãos que visam o sistema sustentável devem ser baseadas em práticas conservacionistas e no uso racional do maquinário agrícola, principalmente tratores e semeadoras (FURLANI et al., 2008).

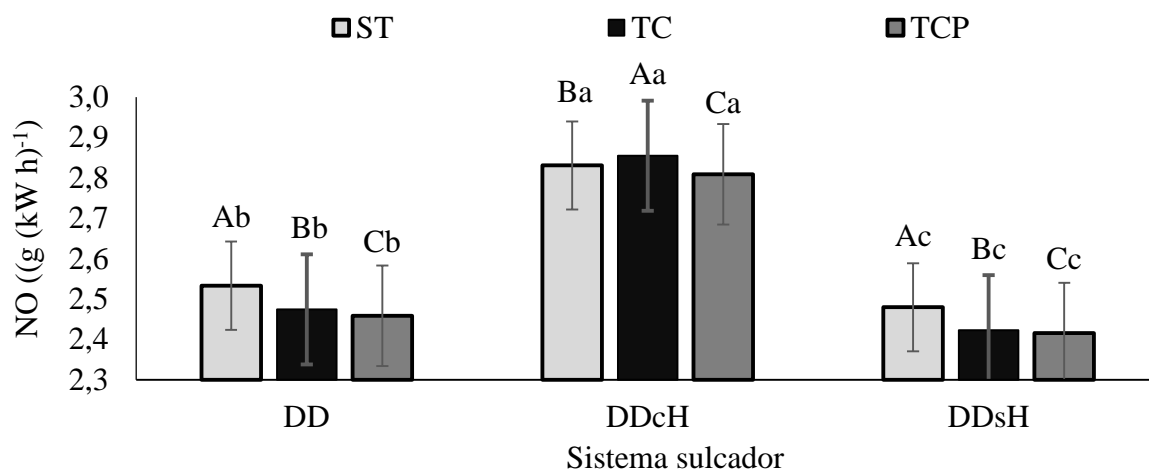
Neste sentido, o tráfego controlado de máquinas torna-se uma importante ferramenta no manejo sustentável do sistema pelo fato de separar áreas de produção e de circulação de máquinas. Neste trabalho, essa divisão proporcionou que 81,8% da área fossem destinadas para o cultivo de plantas e 18,2% para o tráfego de máquinas.

Essa pequena porcentagem da área destinada a passagem das máquinas permite o não cultivo de plantas e utilização de sistema sulcadores disco DDsH, proporcionando redução na emissão de particulados do motor. Comparando percentualmente a configuração com maior (DDcH) e menor (DDsH) emissão de particulados, observa-se que essa redução foi de 45,5%, 72,7% e 80% de particulados para as áreas ST, TC e TCP, respectivamente.

A emissão de particulados expelidos pelo motor do trator durante a operação, ao ser comparado com os limites de emissões estabelecidos pela legislação brasileira, demonstram que o trator atendeu as exigências (Figura 46) sendo todas as emissões abaixo de $0,2 \text{ g (kW h)}^{-1}$ (Quadro 1).

Analisando as intensidades de tráfegos em cada opção de sulcadores, observa-se maior emissão de monóxido de nitrogênio (NO) na área ST nas opções de DD e DDsH e tráfego do TC na configuração DDcH (Figura 45).

Figura 47 - Emissão de monóxido de nitrogênio (NO) ((g (kW h)⁻¹) pelo motor do trator nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH) em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP)



Fonte: Autor.

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para o tráfego em cada sistema sulcador, e minúscula para o sistema sulcador em cada tráfego, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A alta temperatura de combustão faz com que ocorra a dissociação das moléculas de O em átomos. Logo após, atacam as moléculas de nitrogênio no ambiente para a formação de NO, sendo a taxa de conversão proporcional à concentração de átomos de O (MCCORMICK et al., 2001).

De acordo com Mazieiro et al. (2006) o aumento efetivo nas emissões de NO_x deve-se aos pontos de cargas efetivas, que no trabalho realizado por eles, apresentam aumento da profundidade de trabalho da grade aradora, em que os menores atrasos químicos da combustão do biodiesel facilitam a liberação de calor. Dessa maneira, a câmara de combustão atinge valores maiores de temperatura, o que potencializa a formação e emissão de NO_x.

Os resultados deste trabalho demonstram, que áreas ST emitem maior quantidade de NO quando se utilizam sulcadores com menor exigência de potência do trator. No entanto, quando se aumenta a utilização do motor pela utilização de DDcH (Figura 34), o tráfego intermediário (TC) passa a emitir a maior quantidade desse gás tóxico (Figura 47).

A menor emissão de NO ocorre no tráfego do TCP em todas as configurações de sulcadores testadas (Figura 47). Esse resultado demonstra que, seguindo o princípio de utilização do tráfego controlado de máquinas, ou seja, manter a passagem das mesmas em locais fixos e permanentes, pode-se reduzir as emissões de NO como demonstrados nesse trabalho.

A emissão de NO, analisando os sistemas sulcadores em cada intensidade de tráfego, foi maior no DDcH em todas as intensidades de tráfegos (Figura 47). Mesmo utilizando a técnica do tráfego controlado de máquinas, a escolha de sulcadores adequados em uma semeadora pode contribuir com a redução da emissão de NO, como evidenciado neste trabalho com o uso de sulcadores de discos substituindo as hastes.

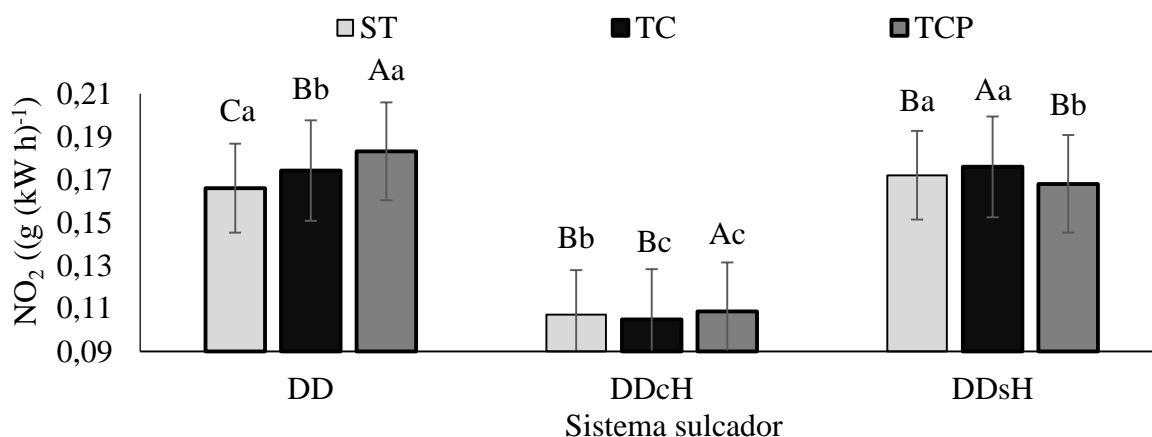
A substituição do disco duplo pelas hastes nas linhas de tráfego (DDcH), foram suficientes para o aumento da emissão de NO, nesse sentido, a correta utilização dos sulcadores nas semeadoras pode contribuir na diminuição das emissões. Se considerarmos o predomínio da utilização de hastes sulcadoras nas semeadoras pelos produtores rurais, devido ao alto índice de compactação dos solos, a técnica do tráfego controlado de máquinas torna-se uma importante ferramenta por reduzir o contato do pneu com o solo (principal agente compactador) para 18,2% da área e com isso, utilizar haste sulcadora em 19,2% das linhas (10 de 52 linhas).

Quando se utilizou disco DDsH, registrou-se a menor emissão de NO em todas as intensidades de tráfego estudadas (Figura 47). Esse resultado reforça ainda mais a importância desta técnica do tráfego controlado de máquinas na redução das emissões, justamente, por seguir o princípio da técnica do não cultivo de plantas nas linhas de tráfego (DDsH).

O NO é um gás que não tem cheiro e nem cor, formado na região da chama logo após o início da liberação de calor no processo de combustão. Segundo Squaiella (2010), ele pode ser rapidamente convertido em dióxido de nitrogênio (NO₂), que é um gás de cor marrom avermelhada com fortes propriedades de oxidação, de forte odor e cinco vezes mais tóxico e reativo que o NO.

Neste trabalho, o NO₂ emitido pelo motor do trator foi maior no tráfego do TCP, na utilização de sulcadores DD e DDcH, e no tráfego do TC na configuração DDsH (Figura 48). A utilização do DDsH demonstrou maior emissão de NO₂ nos tráfegos do TC e área ST, que também não diferiu do sulcador DD. Quando se utiliza sulcador DD, observa-se que a maior emissão de NO₂ ocorre no tráfego do TCP (Figura 48).

Figura 48 - Emissão de dióxido de nitrogênio (NO_2) (g (kW h)^{-1}) pelo motor do trator nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH) em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP)



Fonte: Autor.

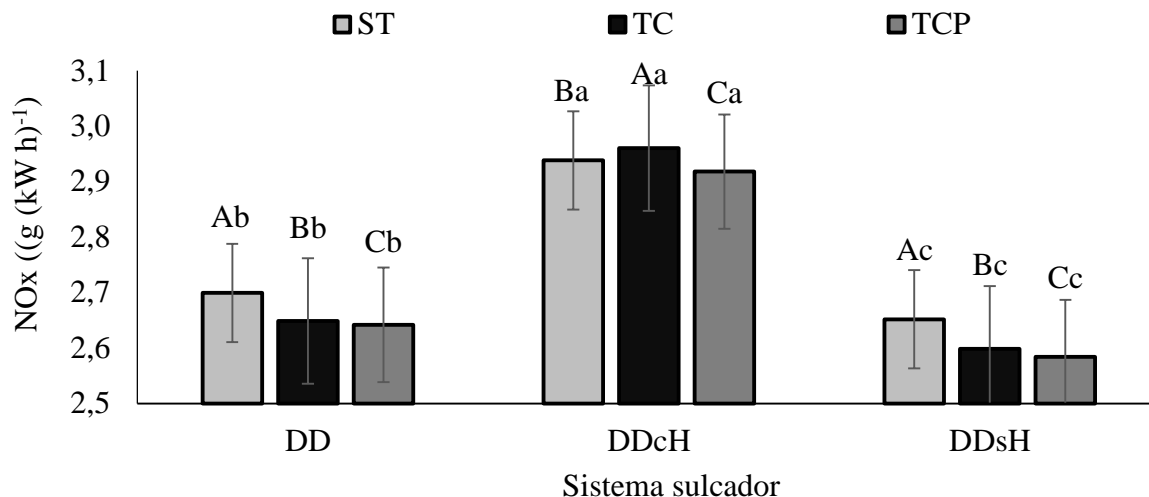
* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para o tráfego em cada sistema sulcador, e minúscula para o sistema sulcador em cada tráfego, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O sulcador DDcH apresentou a menor emissão de NO_2 em todas as intensidades de tráfegos avaliadas (Figura 48). Esses resultados demonstram que, utilizando a opção de sulcadores de maior demanda energética, as emissões de NO_2 reduziram quando comparado as demais opções de sulcadores.

As emissões de NO e NO_2 geralmente são representadas, na literatura, por emissão de óxidos de nitrogênio (NO_x). Cerca de 95% dessas emissões são relativas aos monóxidos e 5% aos dióxidos (PERIN et al., 2015). Neste trabalho, a área ST apresentou a maior emissão de NO_x nas opções de DD e DDsH, e no tráfego do TC a configuração DDcH apresentou a maior emissão desses gases (Figura 49).

O tráfego do TCP apresentou a menor emissão de NO_x em todas as configurações de sulcadores avaliadas (Figura 49). Comparando da Tabela 10 e transformando-os em porcentagem, verifica-se uma redução de NO_x do sistema ST para o TCP de 2,2% e 2,6% nas configurações DD e DDsH, respectivamente. Esse resultado destaca a importância da utilização do tráfego controlado de máquinas, evidenciando que a limitação da passagem das máquinas em um único local, pode promover ganhos na redução da emissão de NO_x .

Figura 49 - Emissão de óxidos de nitrogênio (NO_x) (g (kW h)^{-1}) pelo motor do trator nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH) em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP)



Fonte: Autor.

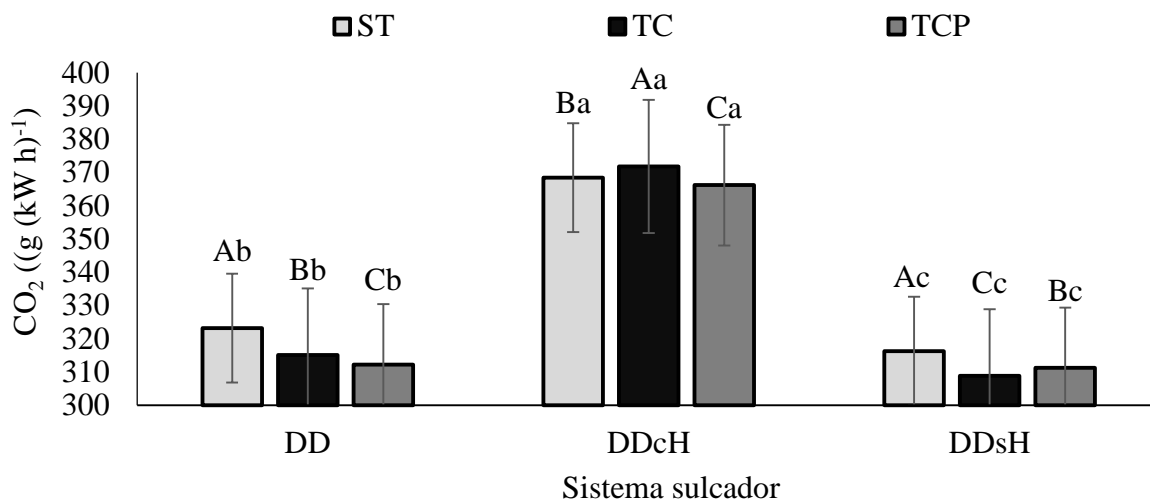
* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para o tráfego em cada sistema sulcador, e minúscula para o sistema sulcador em cada tráfego, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Avaliando os sistemas sulcadores, a configuração DDcH apresentou a maior emissão de NO_x quando comparada as demais opções testadas (Figura 49). Em percentual, com os valores da Tabela 10, a redução da emissão de óxidos de nitrogênio entre o sistema DDcH para o DDsH, representa 9,9%, 12,1% e 11,6% respectivamente nos sistemas ST, TC e TCP.

Segundo Li et al. (2015), os fatores que exercem influência na emissão de NO_x em motores que operam com uma mistura de diesel e biodiesel são: o tipo de motor, a rotação e a carga efetiva do motor, atribuindo a este último fator, até 8% em função da carga aplicada. Reis (2013), encontrou influencia no aumento de NO_x com o acréscimo das cargas aplicadas na barra de tração. O acréscimo da força necessário para tracionar a semeadora, observado neste trabalho na opção de DDcH, pode ter favorecido para a maior emissão de NO_x , justificando também, os menores valores de emissões de NO_x observados na opção DDsH, que foram menores para todas as intensidades avaliadas.

A emissão de dióxido de carbono (CO_2) foi maior na área ST quando se utilizou o DD e DDsH, e no tráfego do TC quando utilizado a configuração DDcH (Figura 50). Durante o processo de combustão ocorre a combinação de uma molécula de carbono com duas de oxigênio, e quanto maior a eficiência na combustão, maiores serão os níveis de CO_2 formados, devido a sua formação depender da queima total, ou não, do combustível. Desta forma, o CO_2 é utilizado para determinar o nível de eficiência de funcionamento do motor.

Figura 50 - Emissão de dióxido de carbono (CO_2) ((g (kW h)^{-1})) pelo motor do trator nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH) em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP)



Fonte: Autor.

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para o tráfego em cada sistema sulcador, e minúscula para o sistema sulcador em cada tráfego, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Rashid et al. (2013) comentam, também, que as emissões de CO_2 estão diretamente relacionadas com o tipo de trator e operação que está sendo realizada. Neste sentido, observa-se neste trabalho que a operação de semeadura com a técnica do tráfego controlado de máquinas se torna eficiente na redução das emissões de CO_2 pelos menores valores apresentados quando comparado a área ST.

O sulcador DDcH apresentou as maiores emissões de CO_2 em todas as intensidades de tráfego avaliadas (Figura 50). De maneira geral, as emissões de CO_2 aumentam em função da ação conjunta da elevação de carga aplicada (REIS et al., 2013). Perin et al. (2015), avaliando misturas de combustível sob diferentes demandas de energia, observaram que o aumento da carga aplicada e a consequente redução na admissão de ar pelo motor resultaram em maior emissão de CO_2 . Resultados similares são encontrados neste trabalho devido ao aumento das emissões quando utilizado sulcadores DDcH, que também demonstraram maior demanda de energia (Figura 34).

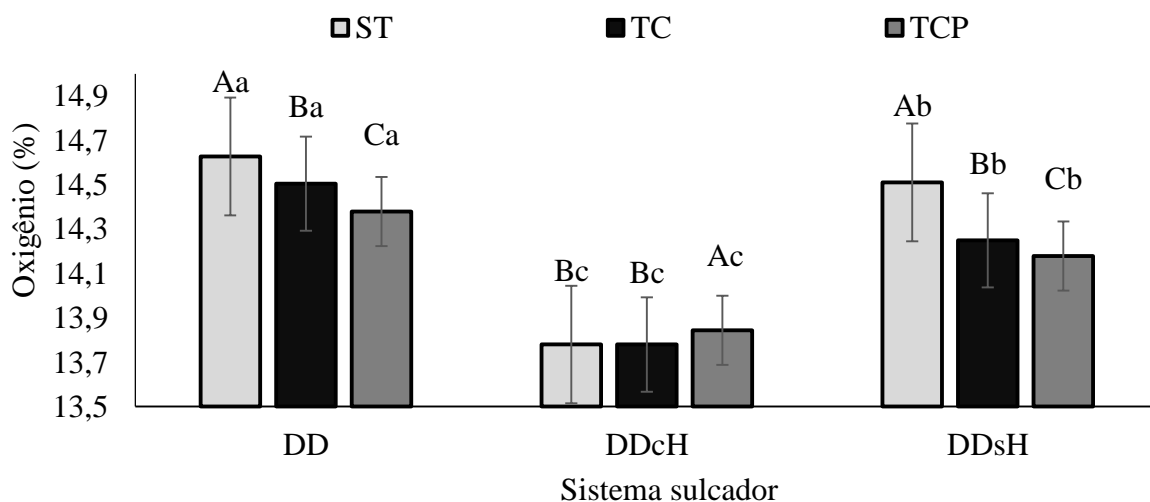
A menor emissão de CO_2 foi observada na utilização de DDsH em todas as intensidades de tráfegos (Figura 50). Resultados similares foram encontrados por Perin et al., (2015) que concluiu que as emissões provenientes do motor agrícola diminuem com a redução da carga aplicada ao motor que, neste trabalho, também foi menor quando utilizado disco DDsH (Figura 34).

Transformando os valores da Tabela 10 em valores percentuais, verifica-se que a redução da emissão de CO₂ entre DDcH para DDsH foi de 14,1%, 16,9% e 15% nas áreas ST, TC e TCP respectivamente. Esses resultados demonstram que a escolha da opção de sulcador a ser utilizado na semeadora pode interferir na emissão de CO₂ expelido pelo motor do trator.

Neste sentido, o tráfego controlado torna-se uma técnica importante por reduzir a área compactada pela passagem do pneu das máquinas, que neste trabalho representou 18,2%, permitindo o não cultivo dessa área e contribuindo para a redução significativa de emissões de CO₂.

O O₂ aspirado pelo motor e emitido após a combustão foi maior na área ST nos sulcadores DD e DDsH, e no tráfego do TC no sulcador DDcH (Figura 51). A maior porcentagem de O₂ não consumido na combustão interna do motor, ocorre na utilização de sulcadores DD em todas as intensidades de tráfegos (Figura 51). O percentual de O₂ é um indicador da condição da mistura. Quando o motor está funcionando com pouco combustível a taxa de O₂ aumenta. Por outro lado, pode indicar ineficiência na combustão (MANAVELLA, 2012).

Figura 51 - Emissão de oxigênio (%) pelo motor do trator nas configurações de sulcadores do tipo disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH) em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP)



Fonte: Autor.

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para o tráfego em cada sistema sulcador, e minúscula para o sistema sulcador em cada tráfego, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A menor porcentagem de O₂ expelido pelo motor, resultante da não utilização, foi observado no sulcador DDcH em todas as intensidades de tráfego avaliadas (Figura 51). Utilizando os valores da Tabela 10 e transformando-os em porcentagem, verifica-se que a

redução da emissão de O_2 pela utilização das hastes (DDsH para DDcH) foi de 5%, 3,3% e 2,4% respectivamente para as intensidades ST, TC e TCP.

A combustão em motores Diesel nunca é completa, e sua deficiência ocorre quando as reações em cadeia da combustão são presas em algum passo intermediário. Na região em torno da chama, interrupções podem ocorrer devido a uma provisão insuficiente de O_2 (mistura rica) ou devido à perda excessiva de calor (têmpera) (TORRES et al., 2003). A turboalimentação aproveita a energia dos gases de exaustão para promover o aumento da pressão de admissão e da massa de ar e volume de combustível admitida nos cilindros, proporcionando assim, um conseqüente aumento de potência do motor (MARTINS, 2006).

Reis (2013) também encontrou redução na emissão de O_2 para os maiores valores de cargas aplicados na barra de tração do trator. Fiorese (2011), avaliando emissões com diferentes misturas de combustíveis, encontrou presença de O_2 nos gases de exaustão durante a aplicação de cargas no dinamômetro, apresentando tendência oposta aos dados de CO_2 , resultados similares aos observados neste trabalho.

4.3.2 Tráfego controlado x tráfego aleatório

Para melhor comparação da técnica do tráfego controlado na redução das emissões de poluentes, realizou-se uma comparação entre as diferentes intensidades de tráfego em relação ao TA através do teste de Dunnett, considerando o TA como variável testemunha. Os resultados são apresentados de forma agrupada (Tabela 11) e, em detalhes, para cada variável analisada, descritas na sequência deste documento.

Tabela 11 - Particulados ($\text{g (kW h}^{-1}\text{)}$), monóxido de nitrogênio ($\text{g (kW h}^{-1}\text{)}$), dióxido de nitrogênio ($\text{g (kW h}^{-1}\text{)}$), óxidos de nitrogênio ($\text{g (kW h}^{-1}\text{)}$) e oxigênio (%) para a área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcador disco duplo, disco duplo com haste e disco duplo sem haste

(continua)

Tráfego	Sistema sulcador		
	Disco duplo	Disco duplo com haste	Disco duplo sem haste
----- Particulados ($\text{g (kW h}^{-1}\text{)}$) -----			
ST	0,074 *	0,106 *	0,059 *
TC	0,056 *	0,105 *	0,028 *
TCP	0,042 *	0,097	0,023 *
TA	0,045	0,098	0,033
----- Monóxido de nitrogênio ($\text{g (kW h}^{-1}\text{)}$) -----			
ST	2,53 *	2,83	2,48 *
TC	2,47 *	2,86 *	2,42 *
TCP	2,46 *	2,81 *	2,42 *
TA	2,45	2,83	2,44
----- Dióxido de nitrogênio ($\text{g (kW h}^{-1}\text{)}$) -----			
ST	0,17 *	0,11 *	0,17 *
TC	0,17 *	0,10 *	0,18
TCP	0,18 *	0,11 *	0,17 *
TA	0,18	0,12	0,18
----- Óxidos de nitrogênio ($\text{g (kW h}^{-1}\text{)}$) -----			
ST	2,70 *	2,94	2,65 *
TC	2,65 *	2,96 *	2,60 *
TCP	2,64 *	2,92 *	2,58 *
TA	2,63	2,94	2,61
----- Dióxido de carbono ($\text{g (kW h}^{-1}\text{)}$) -----			
ST	323 *	368	316 *
TC	315 *	372 *	309 *
TCP	312 *	366 *	311 *
TA	313	367	312

Tabela 11 - Particulados ($\text{g (kW h}^{-1}\text{)}$), monóxido de nitrogênio ($\text{g (kW h}^{-1}\text{)}$), dióxido de nitrogênio ($\text{g (kW h}^{-1}\text{)}$), óxidos de nitrogênio ($\text{g (kW h}^{-1}\text{)}$), dióxido de carbono ($\text{g (kW h}^{-1}\text{)}$) e oxigênio (%) para a área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcador disco duplo, disco duplo com haste e disco duplo sem haste

(conclusão)

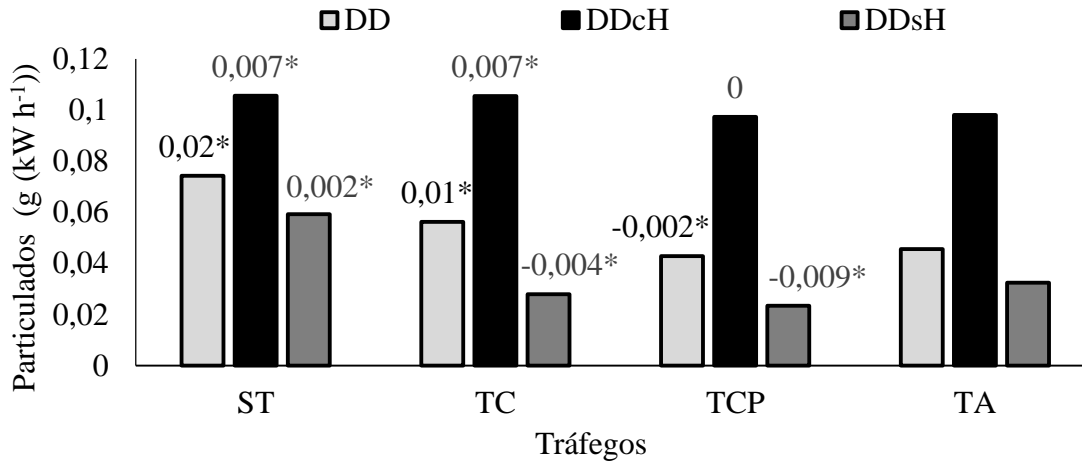
Tráfego	Sistema sulcador		
	Disco duplo	Disco duplo com haste	Disco duplo sem haste
----- Oxigênio (%) -----			
ST	14,63 *	13,78 *	14,51 *
TC	14,50 *	13,78 *	14,25
TCP	14,38	13,84 *	14,18 *
TA	14,37	13,83	14,25

Fonte: Autor.

*Diferem do tráfego aleatório pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

Analisando os particulados emitidos pelo motor do trator, e comparando as intensidades de tráfego com o sistema aleatório de movimentação das máquinas, que predomina nas áreas agrícolas, observa-se que todas as intensidades e configurações de sulcadores diferiram do TA pelo teste de Dunnett, com exceção da configuração DDcH no tráfego do TCP, que não diferiu do sistema aleatório (Figura 52). Observa-se que as diferenças encontradas nas intensidades de tráfego em relação ao sistema aleatório diferiram com valores superiores e inferiores. Cabe destacar nestes resultados, que a área ST para todas as configurações de sulcadores e o tráfego do TC para as configurações DD e DDcH apresentaram valores superiores ao TA.

Figura 52 - articulados ($\text{g (kW h}^{-1}\text{)}$) emitidos pelo motor em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcador disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)



Fonte: Autor.

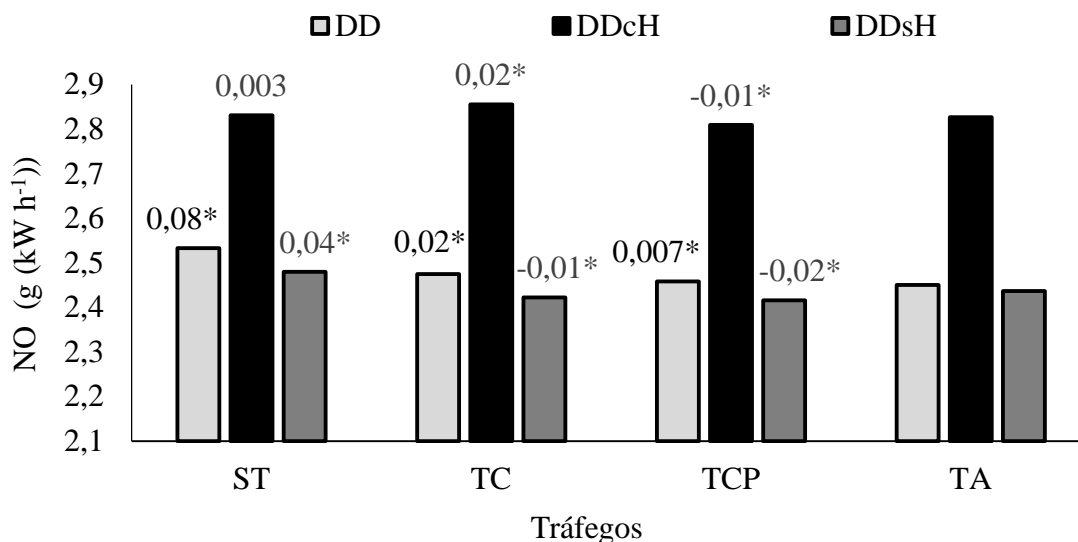
* Diferem do tráfego aleatório pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

Na busca pela redução nas emissões de gases, o material particulado emitido no tráfego controlado foi menor em várias intensidades e configurações em comparação ao TA. Transformando os dados da Tabela 11 para porcentagem, verifica-se que a redução das emissões de particulados do TA para TCP foi de 6,7% para DD e 30,3% quando utilizado DDsH.

Esse resultado destaca os benefícios que a orientação da movimentação das máquinas sobre a área pode promover na redução das emissões de particulados pelo motor das máquinas, embora a diferença encontrada tenha sido pequena, devido a baixa demanda de potência oferecida ao motor. A maior intensidade de tráfego diferiu pelo teste de Dunnett e merece atenção em relação a técnicas que objetivem reduzir emissões de poluentes.

O monóxido de nitrogênio (NO) emitido pelo motor do trator diferiu, com valores maiores e menores, em todas as configurações de sulcadores e intensidades de tráfego avaliadas em relação ao TA das máquinas sobre o solo, exceto na configuração DDcH na situação ST que não diferiu do TA (Figura 53). Os valores positivos que diferiram do TA foram observados na configuração DD em todas as intensidades de tráfego e na configuração DDcH para ST e TC e DDsH apenas na situação ST (Figura 53). O NO_2 emitido pelo motor do trator diferiu do TA em todas as intensidades e configurações de sulcadores, exceto na configuração DDsH no TC (Figura 53).

Figura 53 - Monóxido de nitrogênio (NO) (g (kW h⁻¹)) emitidos pelo motor em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcador disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)

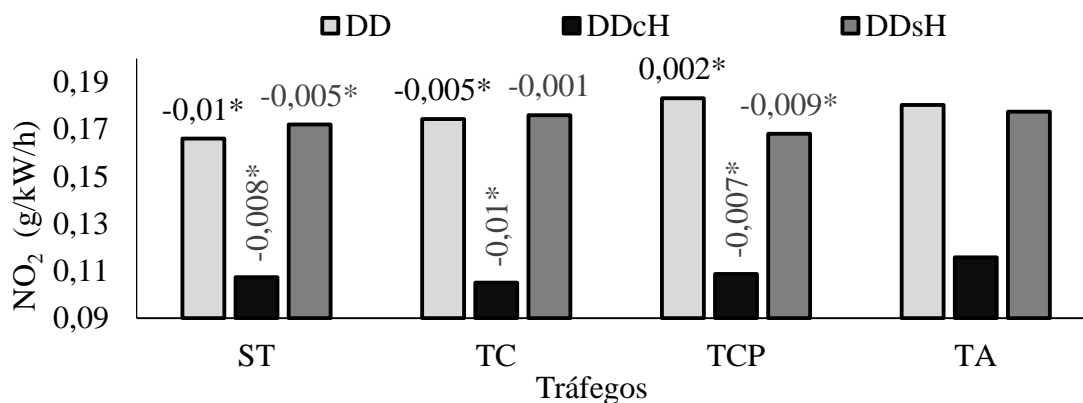


Fonte: Autor.

* Diferem do tráfego aleatório pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

Observa-se também que os valores encontrados foram menores em todas as configurações e intensidades comparando com o tráfego aleatório, exceto na configuração DD no tráfego TCP que apresentou valor positivo (Figura 54).

Figura 54 - Dióxido de nitrogênio (NO₂) (g (kW h⁻¹)) emitidos pelo motor em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcador disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)

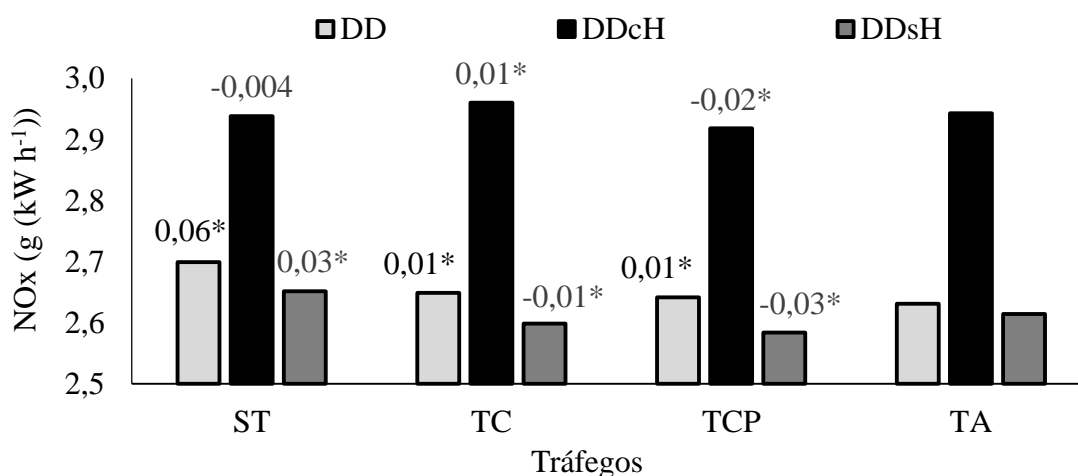


Fonte: Autor.

* Diferem do tráfego aleatório pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

A emissão de NO_x (Figura 55) apresentou o mesmo comportamento do NO (Figura 53), onde observa-se que o tráfego controlado de máquinas, dependendo da configuração de sulcadores utilizadas (DDcH e DDsH para TCP e DDsH para TC), contribuem para redução da emissão de NO_x emitido pelo motor do trator.

Figura 55 - Óxidos de nitrogênio (NO_x) ($\text{g (kW h}^{-1}\text{)}$) emitidos pelo motor em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcador disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)

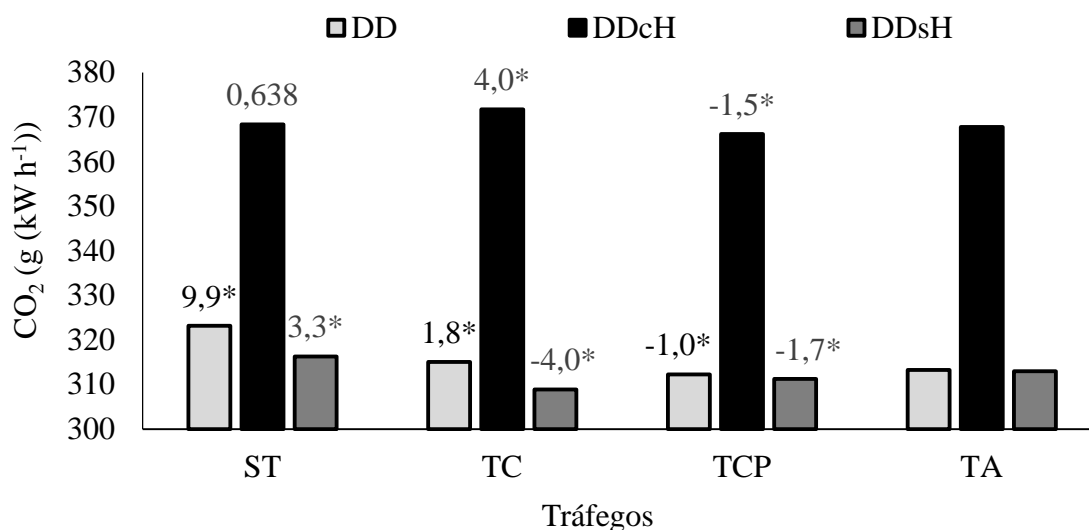


Fonte: Autor.

* Diferem do tráfego aleatório pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

O CO_2 emitido pelo motor do trator diferiu em todas as intensidades e configurações, com valores maiores e menores ao comparar com o TA, exceto no DDcH na situação ST, que não apresentou diferença quando comparado ao TA (Figura 56). Observa-se valores significativamente menores na intensidade TC com sulcador DDsH e no tráfego TCP em todas as configurações comparando com o TA. Esse resultado é expressivo ao demonstrar a significativa redução da emissão de CO_2 com a utilização do tráfego controlado de máquinas.

Figura 56 - Dióxido de carbono (CO_2) ($\text{g (kW h}^{-1}\text{)}$) emitidos pelo motor em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcador disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)



Fonte: Autor.

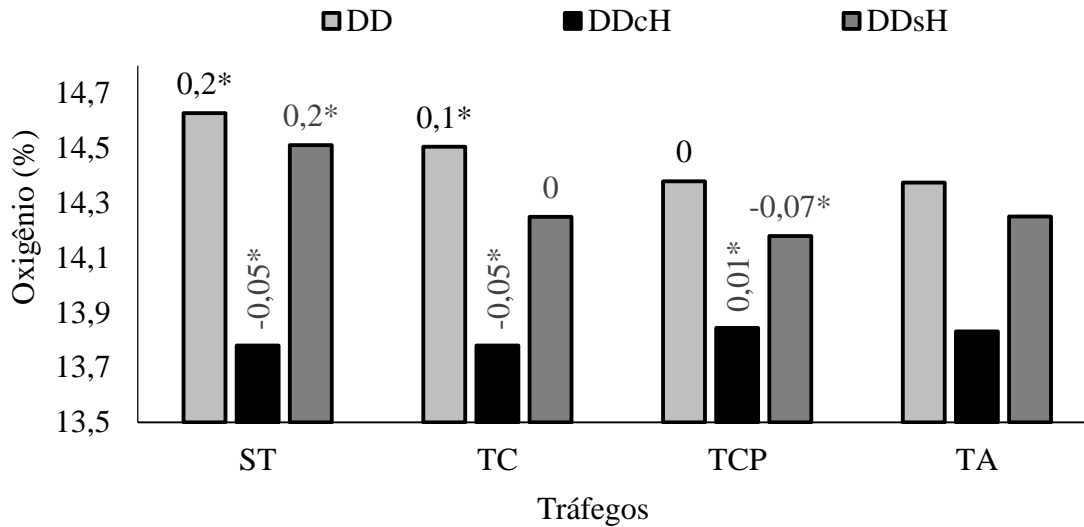
* Diferem do tráfego aleatório pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

Tomando por base que na intensidade de tráfego TCP houve redução superior à $1 \text{g (kW h}^{-1}\text{)}$. Estimando essa redução para os 33 milhões de hectares cultivados com soja no Brasil (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2017) e, utilizando o valor de 45,9 kW de potência do motor do trator no tráfego TCP (Tabela 3) com a média de $2,75 \text{ha h}^{-1}$ de capacidade operacional no TCP (Tabela 2), estima-se uma redução de 4.184 Mg de CO_2 que podem deixar de ser emitidos na operação de semeadura com utilização da técnica do tráfego controlado de máquinas (TCP), em comparação ao TA.

O O_2 emitido pelo motor diferiu em todas as intensidades e configurações em relação ao TA, exceto no TC na configuração DDsH e no TCP com DD que apresentaram o mesmo valor do TA, não diferindo pelo teste de Dunnett (Figura 57).

Ao analisar as emissões de gases do motor nas intensidades de tráfegos e configurações de sulcadores, e compará-las ao TA de máquinas sobre o solo, percebe-se redução dos principais gases em decorrência da utilização do tráfego controlado de máquinas, demonstrando que mais estudos devem ser realizados em diferentes áreas e configurações das máquinas, visando consolidar cientificamente as contribuições técnicas e ambientais que podem ser obtidas com o controle da movimentação das máquinas sobre o solo e a correta utilização de sulcadores nas semeadoras.

Figura 57 - Oxigênio (%) emitidos pelo motor em área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP), com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcador disco duplo (DD), disco duplo com haste (DDcH) e disco duplo sem haste (DDsH)



Fonte: Autor.

* Diferem do tráfego aleatório pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

A implementação de uma prática de tráfego controlado de máquinas no campo pode influenciar questões ambientais adicionais além das observadas nos dados apresentados. As emissões de diferentes operações no campo podem reduzir ainda mais com essa técnica ao observarmos, por exemplo, a menor distância percorrida pelas máquinas agrícolas no campo devido a orientação imposta ao entrarem na área (BOCHTIS et al., 2010).

A constante pesquisa e estudo na busca de alternativas para a redução de emissão de gases poluentes, emitidos pelos motores das máquinas agrícolas, são importantes para melhor eficiência na utilização dos recursos e preservação do meio ambiente. Neste sentido, o tráfego controlado de máquinas mostrou-se eficiente na redução dos principais e mais poluentes gases emitidos.

5. CONCLUSÕES

A ausência de sulcadores nas linhas de tráfego comparadas com o uso de sulcador com hastes proporciona redução de 56% de força de tração. Quando os sulcadores são substituídos por disco duplo, a diminuição é de 50%.

A ausência de sulcadores do tipo haste nas linhas de tráfego reduz a potência demandada na barra de tração em 57,9% com tráfego do trator e colhedora e 53,5% com o tráfego do trator, colhedora e pulverizador.

Área isenta de tráfego, em relação ao tráfego aleatório com o uso de sulcadores disco duplo e disco duplo sem haste, oferecem menor capacidade operacional e requerem maior demanda de potência e utilização do motor.

A maior intensidade de tráfego proporciona redução no consumo horário de combustível de 1,8% em comparação a área sem tráfego de máquinas.

A configuração disco duplo com haste promove maior emissão de particulados, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono, e menor emissão de dióxido de nitrogênio e oxigênio, independente da intensidade de tráfego.

O tráfego controlado na maior intensidade, comparado a área sem tráfego, proporcionam redução de 42,8% e 2,2% utilizando disco duplo e 66,7% e 2,6% com disco duplo sem haste de material particulado e óxidos de nitrogênio, respectivamente.

O não cultivo da área destinada ao tráfego, representada neste trabalho por 18,2%, reduz em 72,8%, 12,1% e 16,9% no tráfego do trator e colhedora, e 80%, 11,6% e 15% com o tráfego do trator, colhedora e pulverizador, as emissões de particulados, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono, respectivamente, comparado ao cultivo dessas linhas utilizando haste.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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**, v. 28, p. 519-531, 2004.
- ACUÑA, R. R. D. et al. Comparação do coeficiente de tração e da eficiência tratória de um trator agrícola obtidos pela equação de Wismer e Luth e por ensaios de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 523-530, 1995.
- AJAYI, A. E. et al. Relation of strength and mineralogical attributes in Brazilian Latosols. **Soil Tillage Research**, n. 102, p. 14-18, 2009.
- ALAKUKKU, L. et al. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review Part 1. Machine/soil interactions. **Soil and Tillage Research**, v. 73, n. 1-2, p. 145-160, 2003.
- ALBA, P. J. et al. Tráfego controlado em culturas de grãos no RS: princípios, desafios e resultados preliminares. **Revista Plantio Direto**, n. 122, 2011.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural machinery management. In: **ASAE standards 1999**: standards engineering practices data. San Joseph, p.359-66, 1999.
- ANDREOLLA, V. R. M.; FILHO, A. G. Demanda de potência de uma semeadora com dois tipos de sulcadores em áreas compactadas pelo pisoteio de animais no sistema de integração lavoura-pecuária. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p.768-776, 2006.
- ARATANI, R. G. et al. Desempenho de semeadoras-adubadoras de soja em Latossolo Vermelho muito argiloso com palha intacta de milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 517-522, 2006.
- ARAUJO, C. F. J. et al. Sistema poroso e capacidade de retenção de Água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n.3, p. 499-513, 2011.
- ARF, O. et al. Mecanismos de abertura do sulco e adubação nitrogenada no cultivo do feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 499-506, 2008.
- BARBOSA, J. A. et al. Resistência ao cisalhamento de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido ao tráfego de um trator agrícola. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2-3, p. 321-325, 2004.
- BIRIS, S.S. et al. A model for prediction of stress state in soil below agricultural tyres using the finite element method. **Science Bulletin**, Taipei, v.69, n.4, p.19-28, 2007.
- BMWFJ. **Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend**. Technische Grundlagen für die Beurteilung von Stationärmotoren, Viena, Áustria, 2012.

- BOCHTIS, D. D. et al. Effect of controlled traffic on field efficiency. **Biosystems Engineering**, n. 106, p. 14–25, 2010.
- BORDIGNON, J. **Projeto, construção e desenvolvimento de transdutores para medição de esforços em semeadoras-adubadoras**. 2005. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2005.
- BOTTA, G. F. Compactación en suelos labrados de baja capacidad portante. In: JORAJORUÍA COLLAZO, D. (ed.). **Reología del suelo agrícola bajo tráfico**: modificaciones físico-mecánicas del suelo vinculadas a la compactación debida al tráfico agrario. La plata: Universidad Nacional de La Plata, p. 73-84, 2005.
- BOWERS, C. G. J. **Southeastern tillage energy data and recommended reporting**. Transactions of the ASAE, v.28, p.731-737, 1985.
- BRASIL. Resolução nº433, de 13 de julho de 2011. Dispõe sobre a inclusão no Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE e estabelece limites máximos de emissão de ruídos para máquinas agrícolas e rodoviárias novas. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 jul. 2011, p. 69.
- BRIJESH, P.; SREEDHARA, S. Exhaust emissions and its control methods in compression ignition engines: a review. **International Journal of Automotive Technology**, v. 14, p. 195–206, 2013.
- CANILLAS, E. C.; SALOKHE, V. M. Regression analysis of some factors influencing soil compaction. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 61, n. 3- 4, p. 167-178, 2001.
- CASTELLANELLI, M. et al. Desempenho de motor ciclo Diesel em bancada dinamoétrica utilizando misturas Diesel/biodiesel. **Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 145-153, 2008.
- CEPIK, C. T. C. et al. Força de tração e mobilização do solo por hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p. 561–566, 2010.
- CEPIK, C. T. C. **Parâmetros de solo e máquinas em semeadura direta com doses de cobertura e configurações de deposição de fertilizante**. 104 f. 2006. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- CHAMEN, W. T. C. et al. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review. Part 2. Equipment and field practices. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, n. 1-2, p. 161-174, 2003.
- CHEN, H. et al. Traffic and tillage effects on wheat production on the Loess Plateau of China. 1. Crop yield and SOM. **Australian Journal of Soil Research**, n. 46, p. 645–651, 2008.
- CHEN, H.; YANG, Y. Effect of controlled traffic system on machine fuel saving in annual two crops region in North China Plain. **Soil & Tillage Research**, v. 153, p. 137–144, 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/imprensa-evento.php?id=45078>>. Acesso em: 11 de dez. 2017.

CONTE, O. et al. Demanda de tração, mobilização de solo na linha de semeadura e rendimento da soja, em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 10, p. 1.254-1.261, 2009.

CORTEZ, J. W. et al. Avaliação da intensidade de tráfego de tratores em alguns atributos físicos de um Argissolo Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1000-1010, 2014.

CUNHA, J. P. A. R. DA; CASCAÃO, V. N.; REIS, E. F. dos. Compactação causada pelo tráfego de trator em diferentes manejos de solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, p. 371-375, 2009.

DA ROSA, D. P. et al. Relação entre solo e haste sulcadora de semeadora em Latossolo escarificado em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.395-400, 2008.

DEBIASI, H. **Recuperação física de um Argissolo compactado e suas implicações sobre o sistema solo-máquina-planta**. 2008. 263p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; SANTI, A. Falhas na implementação do sistema plantio direto levam a degradação do solo. **Revista Plantio Direto**, v.18, p.33-34, 2008.

DODD A. E.; HOLUBECKI Z. **MIRA-Report**, 1965.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2017: Relatório Síntese – ano base 2016. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2017_Web.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2017.

ESPESSATO, R. R. et al. Soybean development as a function of traffic of tractor with radial tires. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 10, p. 726-730, 2017.

ESTRADA, J. S. et al. Mass of agricultural tractors available in the Brazilian market. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.46, n.8, p.1390-1394, 2016.

FARIAS, M. S. de. Fuel consumption efficiency of an agricultural tractor equipped with continuously variable transmission. **Ciência Rural**, v. 47, n. 6, 2017.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência agrotecnologia**. v.38, n.2 p. 109-112, 2014.

FERREIRA, S. L. et al. Análise por cromatografia gasosa de BTEX nas emissões de motor de combustão interna alimentado com diesel e mistura Diesel-biodiesel (B10). **Química Nova**, v. 31, n. 3, 2008.

- FIGLIANO, D. A. **Desempenho em dinamômetro e emissões residuais de um motor de trator agrícola operando com misturas binárias de óleo diesel B5 e biodiesel de óleo de frango**. 2011. 134 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, 2011.
- FRANCETTO, T. R. et al. Força de tração e potência demandada por mecanismos de corte e sulcadores de semeadora-adubadora. **Energia na Agricultura**, v. 31, n.1, p.17-23, 2016.
- FULTON, J. P. et al. **Spatial variation of soil physical properties**: a precursor to precision tillage. St. Joseph: ASAE, 1996. 9p. ASAE Paper 06-1002
- FURLANI, C. E. A. et al. Semeadora-adubadora: Exigências em função do preparo do solo, da pressão de inflação do pneu e da velocidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 345-352, 2008.
- 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**, v. 25, n. 2, p. 458-464, 2005.
- GABRIEL FILHO, A. et al. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 333-339, 2010.
- GAMERO, A. C. **Desempenho operacional de um subsolador de hastes com curvatura lateral ("Paraplow"), em função de diferentes velocidades de deslocamento e profundidades de trabalho**. 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008. 72p.
- GARCIA, L. C. et al. Influência da velocidade de deslocamento na semeadura do milho. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 520-527, 2006.
- GARCIA, R. F. et al. Desempenho operacional de conjunto trator-recolhedora de feijão. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 199-206, 2005.
- GASSO, V. et al. Controlled traffic farming: a review of the environmental impacts. **European Journal of Agronomy**, v. 48, p. 66-73, 2013.
- HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 82, n. 2, p. 122-145, 2005.
- HE, Y. et al. An energy optimization strategy for power-split drivetrain plug-in hybrid electric vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 22, p. 29-41, 2012.
- HEYWOOD, J. B. **Internal combustion engines fundamentals**. 2.ed., New York: McGraw-Hill, 1988. 897 p.
- HOWARD, C. N. et al. Testing the fuel efficiency of tractors with continuously variable and standard geared transmissions. **Transactions of the ASABE**, v. 56, n. 3, p. 869-879, 2013.

HUANG, Z. X. et al. Photosynthetic characteristics during grain filling stage of summer maize hybrids with high yield potential of 15,000 kg ha⁻¹. **Scientia Agricultura Sinica**, v. 40, n. 9, p. 1898–1906, 2007.

JORAJURÍA COLLAZO, D. Compactación del suelo agrícola inducida por tráfico vehicular. Una Revisión. In: JORAJURÍA COLLAZO, D. (Org.) **Reología del suelo agrícola bajo tráfico**: modificaciones físico-mecánicas del suelo vinculadas a la compactación debida al tráfico agrario. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, p.39-55, 2005.

KAMIMURA, K. M. et al. Parâmetros solo-máquina em função de doses de resíduos vegetais e profundidades de deposição de adubo em semeadura direta. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n.3, p. 431-439, 2009.

KELLER, T. A model for the prediction of the contact area and the distribution of vertical stress below agricultural tyres from readily available tyre parameters. **Biosystems Engineering**, London, v. 92, n. 1, p. 85-96, 2005.

KITTELSON, D. B., WATTS, W. F., JOHNSON, J. Diesel Aerosol Sampling Methodology – CRC E-43: Final Report, University of Minnesota, **Report for the Coordinating Research Council**, 2002.

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

LAGUE, C.; AGNEW, J.; KHELIFI, M. Theoretical evaluation on the feasibility of controlled traffic farming (CFT) using wide-span implements carriers (WSIC) for Canadian agriculture. In **Annual Meeting of the CSAE/SCGR**, 2003, Montréal, Proceedings... 2003.

LEVIEN, R. et al. Semeadura direta de milho com dois tipos de sulcadores de adubo, em nível e no sentido do declive do terreno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 6, p. 1003-1010, 2011.

LI, L.; WANG, J.; WANG, Z.; XIAO, J. Combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with diesel/biodiesel/pentanol fuel blends. *Fuel* v. 156, p. 211-218, 2015.

LINARES, P.; CATALÁN, H.; MÉNDEZ, V. **Teoría de la tracción de tractores agrícolas**. 2.ed. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. 2006. 215p.

LOUGH, C. et al. **Air Wast Manage**. Assoc. 2007, 1190 p.

MANAVELLA, H. J. **Emissões Automotivas** – Sistema de Controle Diagnóstico. São Paulo, SP: HM Autotrônica. 2012.

MÁRQUEZ, L. **Maquinaria agrícola**. Madrid: B&H, 2004. 700 p.

MÁRQUEZ, L. **Solo Tractor**. Madrid: Laboreo, 1990. 198p.

MARTINS, J. **Motores de combustão interna**. 2ª Ed. Publindústria Edições Técnicas, Portugal, 2006.

MASSAGARDI, M. **Hart World Fuels Conference Latin American & the Caribbean**, Rio de Janeiro, Brasil, 2004.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. 3rd ed. London: Blackwell Science, 2000. 432 p.

MAZIEIRO, J. V. G. et al. Avaliação de emissões poluentes de um motor diesel utilizando biodiesel de girassol como combustível. **Engenharia na Agricultura**, v. 14, p. 287-292, 2006.

MAZURANA, M. et al. Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um Argissolo Vermelho sob tráfego controlado de máquinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n.5, p. 1185-1195, 2013.

McCORMICK, R. L. et al. Impact of biodiesel source material and chemical structure on emissions of criteria pollutants from a heavy-duty engine. **Environmental Science and Technology**, v. 35, n. 9, p. 1742-1747, 2001.

McHUGH, R. K.; MURRAY, H. W.; BARLOW, D. H. Balancing fidelity and adaptation in the dissemination of empirically-supported treatments: the promise of transdiagnostic interventions. **Behaviour Research and Therapy**, n. 47, p. 946-953, 2009.

McPHEE, J. E. et al. Controlled traffic for irrigated double cropping in a semiarid tropical environment. 2. Tillage operations and energy use. **Journal of Agricultural Engineering Research** n. 60, p. 183-189, 1995.

MELLO, L. M. M.; PINTO, E. R.; YANO, E. H. Distribuição de sementes e produtividade de grãos da cultura do milho em função da velocidade de semeadura e tipos de dosadores. **Engenharia Agrícola**, v. 23, p. 563-567, 2003.

MERCANTE, E. et al. Demanda energética e distribuição de sementes de milho em função da velocidade de duas semeadoras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 424-8, 2005.

MIALHE, L.G. Ensaio e certificação de tratores. In: MIALHE, L.G. Máquinas agrícolas: ensaio e certificação. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiroz”, 1996. cap. 8, p.385- 462.

MION, R. L. et al. Tensões aplicadas no solo pelas diferentes pressões do pneu de um trator agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 1, p. 63-77, 2016.

MIRAGAYA, J. C. G. **BIODIESEL**: Tendências no mundo e no Brasil. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 26, p. 7-13, 2005.

MODOLO, A. J. et al. Demanda Energética solicitada por uma semeadora-adubadora de precisão com diferentes unidades de semeadura. **Revista Acta Scientiarum Agronomy**, v. 27, p. 473-479, 2005.

MODOLO, A. J. et al. Semeadura de milho com dois mecanismos sulcadores sob diferentes intensidades de pastejo. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n.6, p. 1200-1209, 2013.

MONTEIRO, L. A. **Desempenho operacional e energético, segundo a norma OECD - Code 2 de dois tratores agrícolas 4x2 TDA com motores de 132 kW em pista de concreto e solo agrícola**. 2011. 92f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP.

MOUAZEN, A. M.; PALMQVIST, M. Development of a framework for the evaluation of the environmental benefits of controlled traffic farming. **Sustainability**, n. 7, p. 8684-8708, 2015.

NEEFT, J. P. A.; MAKKEE, M.; MOULIJN, J. A.; **Fuel Process. Technol**, v. 47, n. 1, 1996.

NIKOLIC, R. et al. Research of the problems of soil compaction. **Acta Technol. Agric.** v. 4, p.107–112, 2001.

NUNES, M. R. et al. Mitigation of clayey soil compaction managed under no tillage. *Soil and Tillage Research, Amsterdam*, v. 148, p. 119–126, 2015.

OLIVEIRA, G. C. de et al. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 291-299, 2003.

PERIN, G. F. et al. Emissões de motor agrícola com o uso de diferentes tipos de Diesel e concentrações de biodiesel na mistura combustível. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 12, p. 1168-1176, 2015.

PETRANOVIC, Z. et al. Modelling pollutant emissions in diesel engines, influence of biofuel on pollutant formation. **Journal of Environmental Management**, 2017. 9 p.

RAPER, R. L. Agricultural traffic impacts on soil. **Journal of Terramechanics**, Amsterdam, v. 42, n. 3-4, p. 259-280, 2005.

RASHID, G. et al. Analysis and comparison exhaust gas emissions from agricultural tractors. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 5, n. 7, p. 688-694, 2013.

REIS, E. F. et al. Desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo Diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 17 n. 5, 2013.

RIPOLI, T. C. C.; MOLINA J. R, W. F.; RIPOLI, M. L. C. **Manual prático do agricultor – máquinas agrícolas**. Piracicaba, v, 1, 2005, 192p.

RODRIGUES, J. G. L. et al. Demanda energética de máquinas agrícolas na implantação da cultura de sorgo forrageiro. **Energia na Agricultura**, v. 26, p. 65-72, 2011.

ROQUE, A. A. O. et al. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 7, p. 744-750, 2010.

ROSA, D. P. et al. Cultivo mínimo: efeito da compactação e deformação abaixo da atuação da ponteira do subsolador. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 1199-1205, 2011.

ROSSET, J.; RAMPIM, L. Agricultura de precisão: Tráfego controlado. **Revista Plantar**, n. 68, 2013.

RUSSINI, A. **Estimativa do desempenho de tratores agrícolas em campo e pista a partir do ensaio dinamométrico**. 2012. 142 p. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

RUSSINI, A. **Projeto, construção e teste de instrumentação eletrônica para avaliação de tratores agrícolas**. 142p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

SÁNCHEZ-GIRÓN, V. **Dinámica y mecánica de suelos**, Madrid: Ediciones Agrotécnicas, 1996, 426 p.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2007.

SANTOS, A. J. M. et al. Desempenho de discos de corte de semeadora-adubadora em diferentes quantidades de cobertura vegetal. **Energia na Agricultura**, v. 25, p. 17-30, 2010.

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

SCHÄFFER, B.; ATTINGER, W.; SCHULIN, R. Compaction of restored soil by heavy agricultural machinery—Soil physical and mechanical aspects. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 93, n. 1, p. 28-43, 2007.

SCHLOSSER, J. F. **Administração de máquinas agrícolas**. Santa Maria: Núcleo de Ensaio de Máquinas Agrícolas, Centro de Ciências Rurais, UFSM, 1998. 100p. Série Técnica – Módulo 6.

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

SCHLOSSER, J. F. **Influencia del avance cinemático de las ruedas delanteras motoras em la eficiencia em tracción de los tractores agrícolas**. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, 1996. 286p. Tese (Doutorado em Ingeniería Rural) – Departamento de Ingeniería Rural, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, 1996.

SCHLOSSER, J. F. **Máquinas agrícolas**. Santa Maria: Departamento de Engenharia Rural, 1997. 220p. (Caderno Técnico).

SCHLOSSER, J. F. **Tratores agrícolas**. Santa Maria: UFSM, 2001. 63p. (Série técnica II).

SCHULER, R.T.; WOOD, R.K. Soil compaction. In: CONSERVATION tillage systems and management: crop residue management with no-till, ridge-till, mulch-till. Ames: **Midwest Plan Service**, p.42-45. 1992.

- SILVA, P. R. A. et al. Força de tração na barra e consumo de combustível de uma semeadora-adubadora de plantio direto em função do mecanismo sulcador. In: Congresso brasileiro de engenharia agrícola, 35, 2006, João Pessoa. Anais... João Pessoa: **Associação Brasileira de Engenharia Agrícola**, 2006
- SILVA, P. R. A.; BENEZ, S. H. Avaliação de forças resultantes de mecanismos sulcadores de semeadoras-adubadoras de plantio direto. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 20, n. 2, p. 76-82, 2005.
- SILVA, R. B. et al. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 973-983, 2003.
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 191-199, 2000.
- SILVEIRA, J. C. M. et al. Demanda energética de uma semeadora-adubadora em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do motor. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 44-52, 2013.
- SILVEIRA, J. C. M. et al. Força de tração e potência de uma semeadora em duas velocidades de deslocamento e duas profundidades de deposição de semente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 125-128, 2005.
- SIQUEIRA, R.; CASÃO JUNIOR, R. Trabalhador no cultivo de grãos e oleaginosas: máquinas para manejo de coberturas e semeadura no sistema de plantio direto. Curitiba, **Coleção SENAR**. 2004. 87p.
- SPOOR, G. Benefits from traffic control. **Landwards**, n. 52, 2-5, 1997.
- SQUAIELLA, L. L. F. **Efeitos do sistema de recirculação dos gases de escape no controle de emissões de NOx em motores a Diesel**. 2010. 160 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2010.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. SAS/STAT[®]. User's guide: statistics, versão 8.1.4. ed., Cary: SAS Institute, 2000. v. 2. CD-ROM.
- STRANDDORF, H., HOFFMANN, L., SCHMIDT, A. Impact categories, normalization and weighting in LCA. Environmental News no. 78. **Danish Environmental Protection Agency**, Copenhagen. 2001.
- SZYMCZAK, D. A. et al. Compactação do solo causada por tratores florestais na colheita de *Pinus taeda* L. na região sudoeste do Paraná. **Revista Árvore**, v. 38, n. 4, p. 641-648, 2014
- TARAWALLY, M. A. et al. Field compaction at different soil-water status: effects on pore size distribution and soil water characteristics of a Rhodic Ferralsol in Western Cuba. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 2, p. 95-103, 2004.

TAYLOR, J. H. Benefits of permanent traffic lanes in a controlled traffic crop production system. **Soil Tillage Res.** v. 3, p. 385–395, 1983,

TOBIAS, H. J. et al. Chemical Analysis of Diesel Engine Nanoparticles Using a Nano-DMA / Thermal Desorption Particle Beam Mass Spectrometer", Environment. **Science Technology**, 2001.

TORRES J. et al. Exhaust emissions evaluation of Colombian commercial Diesel fuels C.T.F. **Cienc. Tecnol. Futuro**, v.2 n.4 Bucaramanga, 2003.

TROGELLO, E. et al. Desenvolvimento inicial e produtividade da cultura do milho no sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v. 59, n. 2, p. 286-291, 2012.

TULLBERG, J. N. Tractor-based systems for traffic control in Australia. **Landwards**, v. 52, p. 12-15, 1997.

TULLBERG, J. N. Wheel traffic effects on tillage draught. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v. 75, n. 4, p. 375-382, 2000.

TULLBERG, J. N., YULE, D. F.; MCGARRY, D. Controlled traffic farming— From research to adoption in Australia. **Soil & Tillage Research**, v. 97 p. 272–281, 2007.

TULLBERG, J. N.; YULE, D. F.; MCGARRY, D. On track to sustainable cropping systems in Australia, Proceedings ISTRO 16, **University of Queensland**, Brisbane. 2003.

WALSH, M. P. **Global Trends in Diesel Particulate Control**, Update. SAE Technical Paper, 1993.

WILES, J. C.; YAMAOKA, R. S. Mecanização. In: IAPAR. **Plantio direto no Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1981. p.59-94. (Circular, 23)


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

ŻEBROWSKI, J. Traction efficiency of a wheeled tractor in construction operations. **Automation in Construction**, v. 19, p. 100-108, 2010.

ZHAO, Y. et al. Modeling grazing effects on coupled water and heat fluxes in Inner Mongolia grassland. **Soil Tillage Research**, v. 109, p. 75-86, 2010.

APÊNDICES


APÊNDICE A – QUADRO DE DESEMPENHO DO TRATOR NO DINAMÔMETRO

Relatorio		Massey Ferguson 74		medição 1	Data	05/07/2017
Numero do ordem	Numero do chassi	RPM nominal	RPM TDF	Pressão atmosférica	Temperatura local	
MF_7415_01			540	1017	12	
Horas de operação	Ano de fabricação	Relação	Cliente			
1557	2014	1893:540	Experimento_Gilvan			
Nota	Resultado		1. Medição	2. Medição	CV mir 	
Test routine after DIN 70020, Power reduction after DIN ISO 3046	max. potência:		179.8			
	com RPM:		1795			
	max torque:		812			
	com RPM:		1402			
	reserva de torque:		13.34			
	automático					

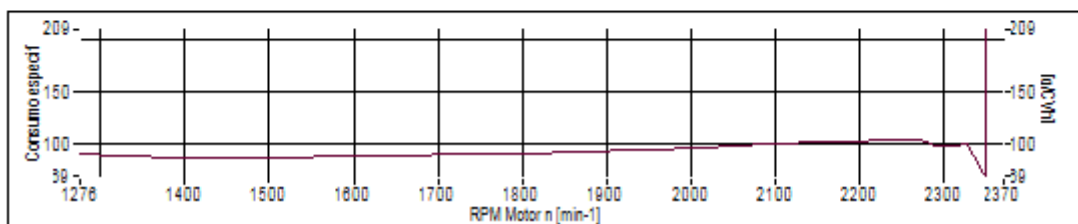
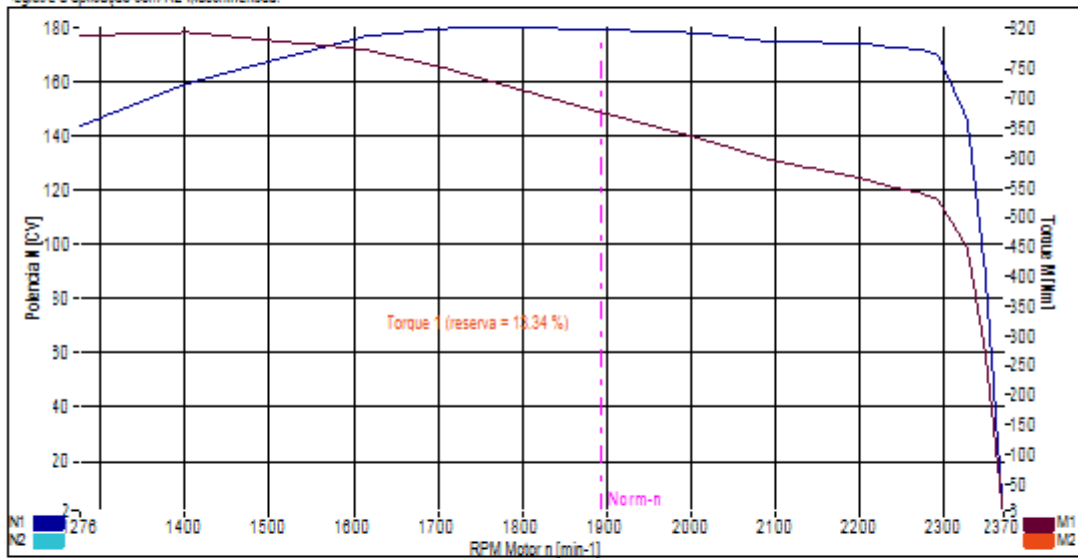
registre a aplicação com KL-Maschinenbau!

Nr.	RPM [1/min]	Torque [Nm]	Potencia [CV]	Consumo [l/h]	Consumo espe. [g/CVh]	Notas
1	2370	6	2,1	6,8	2839,4	
2	2349	275	90,2	7,2	69,8	
3	2328	449	146,1	16,6	99,7	
4	2293	529	169,8	18,9	97,4	
5	2272	541	171,9	20,5	104,2	
6	2237	551	172,5	20,7	105,0	
7	2201	566	174,3	20,5	102,8	
8	2096	596	174,6	20,0	100,3	
9	2005	635	178,0	19,6	96,2	
10	1886	680	179,3	19,1	93,3	
11	1795	716	179,8	18,7	90,9	
12	1704	753	179,5	18,5	89,9	
13	1613	783	176,6	17,8	88,1	
14	1486	800	166,3	16,6	87,6	
15	1402	812	159,2	15,8	86,6	
16	1276	805	143,7	14,9	90,4	

APÊNDICE B – GRÁFICO DE TORQUE, POTÊNCIA E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DO TRATOR

Relatório		Massey Ferguson 74		Data 05/07/2017	
Numero do ord: MF_7415_01	Numero do cha	RPM nomin	RPM TDF	Pressão atmosférica	Temperatura loc
1557	2014	1893:540	540	1017	12
Horas de operaç	Ano de fabricaç	Ralaçã	Client		
1557	2014	1893:540	Experimento_Gilvan		
Not:	Resultad	1. Mediçã	2. Mediçã		
Test routine after DIN 70020, Power reduction after DIN ISO 3046	max. potência:	179.8		CV mit	
	com RPM:	1795			
	max torque:	812			
	com RPM:	1402			
	reserva de torque:	13.34			automático

registre a aplicação com KL-Maschinenbau!



APÊNDICE C- TORQUE APLICADO NO DINAMÔMETRO

Tráfego*	Sulcador**	Repetição	Torque no motor	Torque no dinamômetro
ST	DD	1	201,9	777,39
ST	DD	2	205,2	790,22
ST	DD	3	196,9	758,21
ST	DDcH	1	299,9	1154,80
ST	DDcH	2	321,4	1237,60
ST	DDcH	3	308,6	1188,47
ST	DDsH	1	190,3	732,87
ST	DDsH	2	186,3	717,52
ST	DDsH	3	195,4	752,52
TC	DD	1	188,1	724,54
TC	DD	2	191,7	738,43
TC	DD	3	189,6	730,29
TC	DDcH	1	315,5	1215,00
TC	DDcH	2	327,7	1261,92
TC	DDcH	3	309,7	1192,76
TC	DDsH	1	176,2	678,74
TC	DDsH	2	171,4	660,23
TC	DDsH	3	172,9	666,02
TCP	DD	1	182,9	704,51
TCP	DD	2	189,1	728,41
TCP	DD	3	177,4	683,31
TCP	DDcH	1	302,6	1165,23
TCP	DDcH	2	294,2	1133,12
TCP	DDcH	3	314,2	1210,06
TCP	DDsH	1	171,3	659,69
TCP	DDsH	2	174,8	672,99
TCP	DDsH	3	167,2	643,76
TA	DD	1	184,2	709,50
TA	DD	2	182,6	703,34
TA	DD	3	186,6	718,68
TA	DDcH	1	311,5	1199,67
TA	DDcH	2	290,4	1118,46
TA	DDcH	3	316,9	1220,25
TA	DDsH	1	179,9	692,73
TA	DDsH	2	167,1	643,55
TA	DDsH	3	182,7	703,61

*ST – sem tráfego; TC – trator e colhedora; TCP – trator, colhedora e pulverizador

** DD – disco duplo; DDcH – disco duplo com haste; DDsH – disco duplo sem haste