

DANILO POMPERMAIER DE MELO

**COMPACTAÇÃO DO SOLO E DESEMPENHO OPERACIONAL DE TRATORES
AGRÍCOLAS EQUIPADOS COM PNEUS DIAGONAIS E RADIAIS NA OPERAÇÃO
DE ESCARIFICAÇÃO**

Botucatu

2024

DANILO POMPERMAIER DE MELO

**COMPACTAÇÃO DO SOLO E DESEMPENHO OPERACIONAL DE TRATORES
AGRÍCOLAS EQUIPADOS COM PNEUS DIAGONAIS E RADIAIS NA OPERAÇÃO
DE ESCARIFICAÇÃO**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Campus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Agrícola

Orientador(a): Kléber Pereira Lanças

Botucatu

2024

M528c

Melo, Danilo Pompermaier de

Compactação do solo e desempenho operacional de tratores agrícolas equipados com pneus diagonais e radiais na operação de escarificação / Danilo Pompermaier de Melo. -- Botucatu, 2024

45 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Kléber Pereira Lanças

1. Mecanização agrícola. 2. Escarificador. 3. Tratores agrícolas. 4. Compactação dos solos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

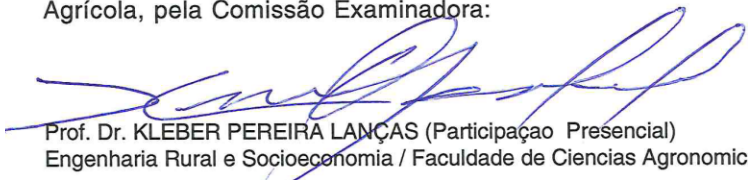
Título:

COMPACTAÇÃO DO SOLO E DESEMPENHO OPERACIONAL DE TRATORES AGRÍCOLAS EQUIPADOS COM PNEUS DIAGONAIS E RADIAIS NA OPERAÇÃO DE ESCARIFICAÇÃO.

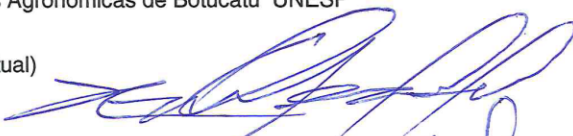
AUTOR: DANILO POMPERMAIER DE MELO

ORIENTADOR: KLEBER PEREIRA LANÇAS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola, pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. KLEBER PEREIRA LANÇAS (Participação Presencial)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu UNESP



Prof. Dr. ALBERTO KAZUSHI NAGAOKA (Participação Virtual)
Engenharia Rural / Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Dr. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI (Participação Presencial)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu UNESP

Botucatu, 02 de agosto de 2024.

Dedico aos meus queridos pais, Eduardo de Melo e Patrícia Schenk Pompermaier, cujos exemplos de amor, dedicação e perseverança sempre me inspiraram a alcançar meus objetivos. Aos meus avós, Antônio Izerci Pompermaier e Lia Schenk Pompermaier e Edmundo de Melo e Gilda Lúcia Rizzo, por seu carinho incondicional e sabedoria transmitida ao longo dos anos. Sem o apoio e incentivo de cada um de vocês, esta conquista não seria possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu pai pelo apoio incondicional, orientações, conversas e esclarecimentos. À minha mãe pelo amor e carinho.

Ao meu orientador, professor Kléber Pereira Lanças pela orientação, ensinamentos, companheirismo e oportunidade.

À Universidade Estadual Paulista, em especial à Faculdade de Ciências Agronômicas (UNESP/FCA) – Campus de Botucatu pelo ensino de qualidade, e aos seus servidores que contribuíram com toda estrutura necessária para a realização dessa pesquisa.

Ao Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais pela estrutura e ambiente de aprendizado, e à toda equipe do NEMPA pelo apoio, companheirismo e auxílio no desenvolvimento das atividades de pesquisa.

Aos companheiros Gabriel Cassini, Miguel Pascucci e Emanuel Spadim que incansavelmente me auxiliaram durante os anos de mestrado, agregando com amizade e boas risadas, tornando as dificuldades e desafios, obstáculos de fácil transposição.

A todos professores e servidores do Departamento de Engenharia Rural, pelos conhecimentos compartilhados, em especial, o professor Paulo Arbex pelas conversas e orientações de sala de aula e a professora Maria Márcia Sartori pelo auxílio na análise dos dados.

Aos meus amigos João Vicente, Evandro Molinari, Guilherme Trindade, Rafael Zambuzi e Gabriel Afonso pela irmandade e recepção em Botucatu.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001.

“Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina”

CORALINA, C. Vintém de cobre: Meias confissões de Aninha. São Paulo: Global Editora, 1997.

RESUMO

A mecanização agrícola tem possibilitado uma série de avanços tecnológicos nas lavouras, sendo esse o um dos pilares do desenvolvimento do setor. Em contraponto aos benefícios proporcionados pela mecanização agrícola, o uso inadequado e intensivo de máquinas agrícolas está relacionado à diversos efeitos ambientais adversos, associados a impactos negativos nos sistemas produtivos, tal como a degradação física dos solos, causada pelo tráfego intenso dos tratores, equipamentos e colhedoras. O objetivo principal desse trabalho foi avaliar a compactação do solo e o desempenho de tratores equipados com diferentes conjuntos de pneus durante a operação de escarificação. O delineamento experimental utilizado foi em faixas, apresentando seis tratamentos (TR1P1, TR1P2, TR2P3, TR2P4, TR3P5 e TR3P6), constituídos de três tratores (TR1 -125cv, TR2 - 145cv e TR3 – 210cv), cada um deles equipado com marcas de conjuntos de pneus (P1, P2, P3, P4, P5 e P6). As variáveis coletadas foram o consumo de combustível, a força na barra de tração, teor de água do solo e a resistência à penetração do solo na operação de escarificação. A partir dessas foi possível calcular as variáveis consumo horário e específico de combustível, velocidade, patinagem, potência e rendimento na barra de tração e Índice de Cone Médio e Máximo. Os tratamentos TR2P3, TR2P4 (145cv), TR3P5 e TR3P6 (210cv) não apresentaram diferença estatística para variável velocidade, enquanto os tratamentos TR1P1 e TR1P2 (125cv) apresentaram menores valores, associado à menor potência do trator utilizado, com acréscimo da patinagem. O menor consumo horário de combustível foi encontrado para TR1P1 (12,97 L h⁻¹), TR2P4 (14,97 L h⁻¹), TR2P3 (13,04 L h⁻¹) e TR1P2 (13,05 L h⁻¹), apesar de TR1 (125cv) ser um trator de menor potência, apresentou consumo igual ao TR2 (145cv). O consumo específico de combustível não apresentou diferença estatística entre os tratamentos TR2P3 (327,37 g/kWh), TR2P4 (373,28 g/kWh), TR3P5 (373,98 g/kWh) e TR3P6 (365,65 g/kWh), entretanto diferenciou de TR1P1 (519,85 g/kWh) e TR1P2 (536,25 g/kWh) que apresentaram as maiores médias para variável, que indica piores desempenhos para realizar a operação de escarificação. O Índice de Cone Médio apresentou menor valor para os tratamentos TR1P2 (1,68 MPa) e TR1P1 (1,69 MPa), já os maiores valores foram encontrados para TR3P5 (2,29 MPa) e TR3P6 (2,23 MPa). As maiores forças na Barra de Tração foram encontradas para TR3P5 (29,95 kN) e TR3P6 (29,57 kN), seguido de TR2P4 (24,53 kN) e TR2P3 (24,13 kN) e a menores forças na barra de

tração para TR1P2 (17,80 kN) e TR1P1 (17,44 kN). Os tratores com potência de 125cv, não se mostraram adequados para realizar operação de escarificação à profundidade de 30cm com sete hastes. Os tratores com potência de 145cv quando comparados com os de 210cv, realizam a mesma operação, mantendo a velocidade desejada, porém apresentam menor compactação do solo e menor consumo horário e específico de combustível, sendo mais indicados. Os tratores de 210cv (TR3P5 e TR3P6) apresentaram maior força e potência na barra de tração quando comparados aos demais tratamentos, entretanto o rendimento na barra de tração foi igual aos tratores de 145cv (TR2P3 e TR2P4).

Palavras-chave: Índice de cone; potência na barra; consumo de combustível; escarificador.

ABSTRACT

The agricultural mechanization has provided a series of technological advances in crops, that is one of the pillars to the sector's development. In contrast to the benefits of the agricultural mechanization, the inappropriate and intensive use of agricultural machines is related to a range of adverse ambiental effects, associated to negative impact in productive systems, such as the physical degradation of soils, caused by heavy machineries, equipment's and harvester's traffic. The main objective of this work is evaluating the soil compaction and tractor performance equipped with different sets of tires during the scarification operation. The experimental design used was in strips, including six treatments (TR1P1, TR1P2, TR2P3, TR2P4, TR3P5 and TR3P6), consisting of three tractors (TR1 – 125 cv, TR2 – 145 cv and TR3 – 210 cv), each of them equipped with brands of tire sets (P1, P2, P3, P4, P5 and P6). The variables collected were fuel consumption, drawbar force, soil water content and resistance to soil penetration during the scarification operation. From these, it was possible to calculate the following variables, hourly and specific fuel consumption, speed, tire slip, power and performance drawbar and Average and Maximum Cone Index. The treatments TR2P3, TR2P4 (145 cv), TR3P5 and TR3P6 (210 cv) showed no statistical difference for speed, while treatments TR1P1 and TR1P2 (125 cv) showed lower values, related with the lower tractor power, with increased slippage. The lowest fuel consumption was found for TR1P1 (12,97 L h⁻¹), TR2P4 (14,97 L h⁻¹), TR2P3 (13,04 L h⁻¹) and TR1P2 (13,05 L h⁻¹) despite the TR1 (125 cv) being the lower power tractor, it showed the same consumption to the TR2 (145 cv). The specific consumption showed no statistical difference between the treatments TR2P3 (327,37 g/kWh), TR2P4 (373,28 g/kWh), TR3P5 (373,98 g/kWh) and TR3P6 (365,65 g/kWh), however, it differed from TR1P1 (519,85 g/kWh) and TR1P2 (536,25 g/kWh) which present the highest averages for the variable, which indicates the worse performance to carry out the scarification operation. The average cone index presented the lowest value for treatments TR1P2 (1,68 MPa) and TR1P1 (1,69 MPa), while the highest values were found for TR3P5 (2,29 MPa) and TR3P6 (2,23 MPa). The highest drawbar forces were found for TR3P5 (29,95 kN) and TR3P6 (29,57 kN), followed by TR2P4 (24,53 kN) e TR2P3 (24,13 kN) and the lowest drawbar forces for TR1P2 (17,80 kN) and TR1P1 (17,44 kN). Tractors with 125 cv power, were not suitable for carrying out scarification operations at a 30cm depth with seven rods. Tractors with 145 cv power when

compared to those with 210 cv, perform the same operation, maintain the desired speed, but they present less soil compaction and lower hourly and specific fuel consumption, making them more suitable. Tractors with 210 cv (TR3P5 and TR3P6) showed greater drawbar strength and power when compared to other treatments, however the drawbar performance was equal to the 145 cv tractors (TR2P3 and TR2P4).

Key-words: Cone index; drawbar power; fuel consumption; scarifier.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1	ADEQUAÇÃO E REGULAGENS DE TRATORES AGRÍCOLAS....	19
2.2	RODADOS AGRÍCOLAS.....	20
2.3	LASTRAGEM.....	21
2.4	AVANÇO E PATINAGEM.....	22
2.5	COMPACTAÇÃO DO SOLO.....	22
2.6	ESCARIFICAÇÃO E DESEMPENHO OPERACIONAL.....	24
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5	CONCLUSÃO.....	41
	REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os seres humanos testemunharam notável transformação no modo como a agricultura é conduzida, pois os métodos tradicionais manuais deixaram de ser utilizados para abrir espaço a sistemas mecanizados altamente tecnificados.

A mecanização agrícola tem possibilitado uma série de avanços tecnológicos nas lavouras, sendo esse um dos pilares do desenvolvimento do setor, desempenhando papel importante na maximização da produção, proporcionando aumento da capacidade de trabalho das máquinas, reduzindo os esforços realizados pelo homem e diminuindo o tempo de execução das práticas culturais. A modernização e a otimização dos processos agrícolas estão intimamente relacionadas com a mecanização, permitindo a realização de tarefas complexas e dispendiosas de maneira rápida, eficiente e precisa, com significativo acréscimo na produtividade e rentabilidade das atividades no campo.

A fabricação de tratores, colhedoras e máquinas cada vez maiores e mais potentes, além da incorporação de sistemas autônomos e de agricultura de precisão, proporciona maior eficiência na área agrícola, como aumento das produtividades, redução dos custos de operação e otimização do uso de recursos naturais, auxiliando assim na oferta alimentar global e no desenvolvimento econômico do setor.

Em contraponto aos benefícios proporcionados pela mecanização, o uso inadequado e intensivo de máquinas agrícolas está relacionado à diversos efeitos ambientais adversos, associados a impactos negativos nos sistemas produtivos, tal como a degradação física dos solos, causada pelo tráfego intenso dos tratores, equipamentos e colhedoras, gerando maior impedimento físico para o desenvolvimento das raízes das plantas e afetando a produtividade das culturas.

Outro impacto negativo associado à mecanização está relacionado ao maior consumo de combustível e aumento nos custos de produção, resultante do incremento da potência e massa dos tratores. A redução do consumo de combustível através de técnicas de gestão eficientes de energia e a realização de práticas culturais adequadas é uma forma de mitigar esses problemas, auxiliando assim na diminuição das emissões de gases de efeito estufa e nos custos de produção.

Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas visando minimizar os impactos ambientais causados pelos conjuntos mecanizados, tais como a adequação do peso dos tratores, através da utilização de lastros e a seleção de diferentes tipos de rodados. Os rodados possuem 2 tipos de construção, os modelos radiais e os diagonais, os quais apresentam formato distintos que alteram a área de contato com o solo. Essas práticas, aumentam a eficiência das máquinas e podem reduzir a compactação do solo.

Avaliando-se a densidade e a resistência à penetração do solo é possível verificar a magnitude de sua compactação. Dessa forma, torna-se possível identificar a existência de camadas de maior impedimento físico para o desenvolvimento radicular das culturas e assim eliminar as operações desnecessárias de preparo do solo.

Pesquisas relacionadas à compactação do solo utilizam o Índice de Cone, que é a medida da pressão exercida por um cone sólido ao longo do perfil do solo, para identificar as camadas de impedimento físico. Dessa forma é possível estimar a distribuição das pressões causadas pelos pneus agrícolas no solo, gerando a sua compactação.

Os escarificadores são equipamentos de preparo do solo que possuem função de romper essas camadas compactadas em subsuperfície. Esses implementos possuem uma demanda energética alta para realizar a descompactação devido as suas partes ativas apresentarem ângulo de ataque ao solo contrário ao sentido de deslocamento do trator.

Dessa forma, o objetivo principal desse trabalho foi avaliar a compactação do solo e o desempenho de tratores equipados com diferentes conjuntos de pneus durante a operação de escarificação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Adequação e regulagens de tratores agrícolas

A maioria dos estudos de adequação de tratores agrícolas pertencem a décadas passadas, o que não considera as alterações de projetos de tratores modernos, dessa forma, há necessidade em realizar pesquisas que coincidam com a demanda produtiva atual (Zimmermann *et al.*, 2022).

A adequação dos conjuntos mecanizados resulta em melhor eficiência operacional e sustentabilidade nas atividades realizadas no campo. A eficiência na operação é influenciada pela relação entre peso e potência dos conjuntos mecanizados, assim, através da adequação de lastros nos tratores é possível obter menores perdas de energia devido ao aumento da tração e da resistência ao rolamento. Também se obtém redução da patinagem dos rodados, redução no tempo de operação e do consumo horário de combustível (Damanauskas; Janulevičius, 2015).

Conforme Monteiro *et al.* (2013) melhores rendimentos na barra de tração foram obtidos com os tratores adequados para relação peso e potência de 60 kg cv^{-1} , para cargas aplicadas na barra de tração de 25 a 40 kN. Zimmermann *et al.* (2022), ao realizarem pesquisa utilizando diferentes porcentagens de lastros e velocidades de deslocamento, encontram resultados semelhantes, ao concluírem que a utilização de lastro líquido a fração de $\frac{3}{4}$ do volume do pneu, apresentou superioridade na eficiência e rendimento operacional, proporcionando maior capacidade de tração na barra do trator, maior velocidade e redução no consumo específico de combustível.

A pressão dos pneus e carga nas rodas dos tratores são regulagens fáceis de adequar nos tratores e possuem influência significativa no controle da patinagem, no consumo de combustível e desempenho operacional de um trator. Damanauskas e Janulevičius, (2015), ao realizarem pesquisa com tratores de rodados simples e duplos, quatro pressões de inflação dos rodados e cinco cargas de lastros, concluíram que a pressão de 80 kPa (11,6 psi) associada à trator sem lastros, resultou em menor

consumo horário de combustível e redução na compactação do solo em tratores equipados com rodados duplos.

Segundo Kmiecik, et al. (2023), a distribuição de peso entre eixo de 35% dianteiro e 65% traseiro, quando associada à diferentes condições de superfície de solo, proporcionou redução no gasto energético gerado pela patinagem, resultando no aumento da velocidade operacional e desempenho tratório de um trator 4x2 TDA.

2.2 Rodados agrícolas

Os pneus agrícolas influem significativamente no desempenho das máquinas nas propriedades agrícolas, tendo como função suportar o peso dos conjuntos mecanizados, garantir o equilíbrio, o direcionamento, o desempenho operacional, amortecer as irregularidades do terreno e transferir a potência do motor durante o movimento dos tratores (Monteiro; Lanças; Guerra, 2011).

Pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o intuito de aprimorar o conhecimento das características dos pneus agrícolas, com ênfase na interação entre o pneu e o solo, que estão associadas ao desempenho dos tratores (Mazetto et al., 2004). Ao estudar pneus agrícolas, Zoz; Grisso (2003), afirmaram que, tratando-se de rodados pneumáticos, alguns fatores interferem na capacidade de tração das máquinas, tais como o tamanho do pneu, a pressão de inflação, a transferência de peso e o peso sobre o eixo motriz.

Os rodados pneumáticos são fabricados de duas formas construtivas, os modelos diagonal e radial. O pneu diagonal é constituído por lonas internas orientadas com ângulos entre 30 e 45°, atribuindo formato ovalado. O pneu radial apresenta uma disposição das lonas paralelas, formando um ângulo de 90° com o talão, resultando em pneu com formato retangular (Marques Filho, Moura; Lanças, 2020). Conforme Mazetto et al. (2004), o pneu radial, apresenta menores incrementos da resistência do solo à penetração, quando comparado com pneu diagonal.

Alguns fatores precisam ser considerados no momento do planejamento das operações agrícolas, tais como tipo de pneu, pressão de inflação, área de contato, teor de água do solo, profundidade de trabalho e especificações técnicas dos

equipamentos (Richart *et al.*, 2005). Segundo Mazetto *et al.* (2004), ao ensaiarem três tipos de rodados pneumáticos, o aumento das cargas verticais em pneu agrícola resultou em aumento da área de contato, maiores deformações elásticas, perfil de recalque mais profundos e acréscimo da resistência do solo à penetração.

2.3 Lastragem

A lastragem é a técnica utilizada para incrementar o peso de tratores proporcionando maior aderência das rodas motrizes no solo, melhorando a capacidade de tração, resultando em maior segurança e diminuição do risco de tombamento (Viana *et al.*, 2017). O uso de lastros em máquinas agrícolas se tornou um acessório indispensável durante as práticas no campo, podendo ser lastros metálicos e líquidos.

Os lastros metálicos podem ser fixados nas rodas traseiras e na parte dianteira do chassi do trator e o lastro líquido consiste na adição de água nos rodados pneumáticos. Lopes *et al.* (2003) concluíram que a utilização de lastro líquido nos pneus confere vantagens aos tratores, diminuindo o consumo específico de combustível, não apresentando custos adicionais e proporcionando maior estabilidade ao trator por baixar o seu centro de gravidade.

A utilização correta de lastros nos tratores proporciona maior conservação dos pneus ao evitar o excesso de patinagem e a redução do consumo de combustível, como demonstrado por Monteiro *et al.* (2011), melhorando a estabilidade e rendimento de trabalho, reduzindo custos e aumentando o desempenho operacional do trator.

A combinação de velocidade de deslocamento e condição de lastragem, foi avaliada por Lopes *et al.* (2005), ao evidenciarem a velocidade de 5 km h⁻¹ com trator lastrado, apresentou acréscimos na potência disponível na barra e na capacidade de campo efetiva, quando comparada a outras regulagens, em uma operação de preparo do solo com escarificador.

2.4 Avanço e patinagem

A patinagem pode ser definida como o deslizamento entre a superfície da banda de rodagem do pneu e o solo, sendo esse um fator determinante para que ocorra a tração (Gamero; Lanças, 1996).

Durante as operações de preparo do solo, o trator está submetido à ocorrência de maiores patinagens e variações no consumo de combustível, bem como alterações na velocidade de deslocamento, em função das rigorosas condições de trabalho no campo (Sichocki *et al.*, 2013).

Conforme Gabriel Filho *et al.* (2004), um dos motivos associados ao baixo desempenho na barra de tração está a patinagem, dentre outros fatores como o tipo de solo, suas características e propriedades, a distribuição de peso sobre os rodados, a transferência de peso durante a operação e as características dos rodados.

As condições superficiais do solo, como textura, teor de água no solo, adensamento, e tipo de cobertura, influenciam na interação rodado e solo, sendo que a aderência dos rodados motrizes é reduzida em situações de maiores velocidades, ocasionados pelo efeito da patinagem. Outro fator que possui influência sobre a patinagem é a força na barra de tração, que segundo Fiorese *et al.* (2015) possui relação exponencial com a patinagem, resultando em redução da eficiência tratória e intensificada em condições de preparo do solo subsuperficial.

Segundo Kmiecik *et al.* (2023), condições de solo firme promovem maior desempenho operacional quando comparados em condições de solo mobilizado, possibilitando maior eficiência tratória e eficiência na barra de tração, com menor consumo específico de combustível.

2.5 Compactação do solo

A compactação do solo é definida como alterações na sua estrutura física de maneira a reduzir os poros que são ocupados por água e ar, causando impedimento para o desenvolvimento das raízes das culturas. (Camargo; Alleoni, 1997)

O tráfego excessivo de máquinas agrícolas no campo pode depreciar a integridade física dos solos, influenciar no desenvolvimento de culturas e aumentar os custos com as operações (Paula, 2010). Segundo Richart *et al.* (2005), o principal motivo da compactação do solo é o tráfego de máquinas, que foi intensificada com a tecnificação do campo, agravando-se com o aumento do peso das máquinas e equipamentos.

Segundo Streck *et al.* (2004), a compactação do solo resulta em redução do crescimento e desenvolvimento radicular, aumentando a erosão e gerando maior consumo de combustível em operações de preparo do solo. Os autores concluem que o tráfego de máquinas sobre o solo aumenta a densidade e a resistência do solo à penetração, devido a redução da sua porosidade.

A resistência do solo à penetração (RP) tem diversas aplicações nos estudos agrônômicos e é uma forma de análise utilizada para diagnóstico de camadas compactadas em estudos de ação de implementos agrícolas no solo, predição da força de tração, entre outras (Cunha *et al.*, 2002). Segundo Acosta (2008), a distribuição da variabilidade espacial da compactação apresentou diferentes intensidades em função do conteúdo de água no solo, ocorrendo em diferentes profundidades no solo.

O solo que apresenta maiores valores de RP, pode apresentar influencia no desenvolvimento radicular das culturas, pois as camadas compactadas causam impedimento físico para o crescimento das raízes, afetando negativamente a produção. O valor crítico encontrado para a cultura da soja foi de 3,0 MPa, ocasionando decréscimo de 10% na produtividade (Girardello *et al.*, 2014), já para cultura do milho a resistência do solo à penetração na ordem de 1,4 MPa causaram impedimentos físicos para o desenvolvimento radicular da cultura (Foloni; Calonego; De Lima, 2003).

Segundo Cunha *et al.* (2002) a RP apresenta dependência de fatores intrínsecos do solo, tais como mineralogia, a textura e a estrutura, sendo influenciada pelo seu teor de água. Para teores baixos de água, há uma maior resistência à deformação do solo ou à penetração de raízes. A diminuição da RP ocorre devido ao aumento do teor de água no solo, apresentando uma diminuição da atuação das forças de coesão entre as partículas e do atrito interno.

2.6 Escarificação e desempenho operacional

O escarificador é um implemento agrícola utilizado no preparo primário do solo, devido a característica de romper camadas compactadas em profundidades de até 35cm, manter a superfície do solo com pouco revolvimento e mínima incorporação de restos culturais, sendo muito utilizado em manejos conservacionistas (Bianchini *et al.* 1999).

Segundo Gamero e Lanças (1996), os órgãos ativos dos implementos de preparo do solo são submetidos à resistência oferecida pelo solo, que depende da área mobilizada durante a operação, que é função da largura e da profundidade de trabalho do implemento e das características físicas do solo, estáticas e dinâmicas.

Segundo Machado (1996), dentre os fatores que influenciam o desempenho de equipamentos de preparo do solo, a velocidade de deslocamento e o tipo de solo afetam resultados operacionais, tais como consumo de combustível e força de tração. Bianchini *et al.* (1999) apontam que a profundidade de operação do escarificador influi na força de tração total requerida pelo conjunto mecanizado.

Com intuito de maximizar o desempenho e os efeitos do escarificador, as regulagens do implemento devem ser realizadas observando-se fatores como a teor de água do solo, a profundidade de trabalho, a distância entre hastes e a velocidade de operação (Bianchini *et al.*, 1999).

Segundo Girardello *et al.* (2014) há carência de trabalhos envolvendo a influência de escarificadores, na ocorrência da variabilidade espacial da compactação e da resposta das culturas às camadas compactadas. Pesquisas podem desenvolver metodologias para operação ideal dos conjunto trator-implemento

Segundo Leite *et al.* (2010) e Gabriel Filho *et al.* (2010) um conjunto de fatores interfere na eficiência tratória de uma máquina agrícola, sendo um deles a interação do rodado com as propriedades físicas do solo. Fatores como as características do rodado, patinagem, transferência de peso do trator, tipo de solo, teor de água do solo e tipo de cobertura, influem significativamente no desempenho do trator, tanto em solos firmes, quanto com cobertura vegetal.

Segundo Sichocki *et al.* (2013), ao comparar dois equipamentos de preparo do solo, constataram que houve diferença entre o consumo de combustível e o índice de patinagem. Sendo que implementos que trabalham em profundidade e possuem ângulo de ataque ao solo contrário ao de deslocamento do trator apresentam maiores índices de patinagem.

Conforme Lopes *et al.* (2005), ao realizar pesquisa verificando o desempenho operacional de um conjunto trator e escarificador, utilizando 4 velocidades e 3 tipos de pneus, concluíram que a combinação de pneu radial e velocidade próxima à 5 km h⁻¹ proporcionou maior potência na barra quando comparada aos demais tratamentos, parâmetros esse relacionado diretamente com a eficiência tratória e capacidade de campo efetiva.

Lopes *et al.* (2020) afirmam que maiores capacidades de campo efetiva são obtidas ao se aumentar a velocidade de deslocamento do conjunto trator e subsolador. Entretanto, segundo os autores, condições de solo com cobertura vegetal pode ocasionar maior patinagem e acréscimo de consumo horário de combustível, sendo uma das maneiras de minimiza-las é através da utilização de rodados duplos.

Outro componente importante no desempenho operacional, segundo Lopes *et al.* (2003), é o consumo específico, que permite a comparação de tratores distintos, pois quanto maior o valor, menor é a eficiência da conversão energética do combustível em energia mecânica.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Lageado, parte da Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA, da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Câmpus Botucatu, no estado de São Paulo e conduzido pelo NEMPA – Núcleo de Ensaios de Máquinas e Pneus Agroflorestais, do Departamento de Engenharia Rural, na área de pista de campo. A pista está localizada nas coordenadas 22°50'19.3" S, 48°25'19.5" W e altitude de 770m. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Roxo, nivelado no sentido da largura e apresentando declividade média de 0,7% no sentido do comprimento.

O delineamento experimental utilizado foi em faixas, apresentando seis tratamentos, constituídos de três tratores (TR1, TR2 e TR3), cada um deles equipado com marcas de conjuntos de pneus (P1, P2, P3, P4, P5 e P6), indicados na Tabela 1, com 4 repetições.

Tabela 1 – Tratamentos e características técnicas dos tratores e pneus

Tratamento	Potência Nominal (cv)	Rotação Nominal (rpm)	Marcha 5km h ⁻¹	Massa trator (kg)	Pneu dianteiro	Pneu traseiro
TR1P1	125	1860	L3 Red.	6230	14.9-24 Goodyear	18.4-34 Petlas
TR1P2					14.9-24 Ceat	18.4-34 Pirelli
TR2P3	145	1874	AM1	9100	18.4-26 Ceat	20.8-38 Firestone
TR2P4					18.4-26 Ozka	20.8-38 Firestone
TR3P5	210	1890	C1	12250	600/65 R28 Michelin	710/70 R38 Michelin
TR3P6					600/65 R28 Ceat	710/70 R38 Ceat

cv – cavalos; rpm – rotação por minuto; kg- quilogramas; Red – Reduzida.

Antes da realização da escarificação a área foi preparada com uma gradagem pesada, uma gradagem leve e uma compactação superficial (Figura 1).

Figura 1 – Área experimental preparada



A unidade experimental consistia de um retângulo de 25 m de comprimento por 4m de largura, com quatro repetições, sendo espaçadas em 8m, considerada área de manobra. O experimento foi organizado nas extremidades da pista de solo preparado, pertencente ao NEMPA, contendo 3 tratamentos em paralelo em cada extremidade (Figura 2).

Figura 2 – Imagem aérea da pista de campo de ensaio



As variáveis coletadas foram o consumo de combustível, a força na barra de tração e a resistência à penetração do solo em sete pontos do transecto perpendicular em cada lado do rastro do trator, na operação de escarificação. As coletas de força na barra e consumo de combustível foram realizadas dentro das unidades experimentais e as coletas de resistência à penetração nas áreas de manobra, as quais o implemento era levantado, preservando assim a compactação ocasionada. Como a escarificação é uma operação que realiza a descompactação do solo, as

áreas de manobra possibilitaram a coleta de resistência à penetração ocasionada pelo trator na operação de escarificação.

O escarificador (Figura 3) utilizado na pesquisa era da marca JAN modelo Jumbo Matic 7, com sistema de engate pela barra de tração, controle de profundidade por pistão hidráulico, com peso aproximado de 1.680kg, composto por 7 hastes com ponteiros sem asa, com espaçamento entre hastes de 0,4m, equipado com discos de corte em frente de cada haste, largura efetiva de trabalho de 2,9m, equipado com rolo destorreador laminar. As coletas foram realizadas com a rotação nominal dos tratores, com marcha respectiva à 5km h^{-1} , velocidade comumente utilizada na operação de escarificação. A profundidade alvo de operação do escarificador foi de 0,30m.

Figura 3 – Escarificador Jan Jumbo Matic 7



As coletas de força na barra foram realizadas com uma barra de tração especial com suporte para uma célula de carga (Figura 4a), com capacidade de 20 t. A célula de carga foi calibrada no Laboratório de Construções Rurais localizado no Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP, com utilização de uma Máquina de Ensaio Modelo DL-30000 (Figura 4b). As informações obtidas pela célula de carga foram enviadas e armazenadas a um CLP (Controlador Lógico Programável), modelo Vision 230, fabricado pela Unitronics®, usando uma expansão dedicada para a conversão de sinal, específica para célula de carga, registrando assim a força exercida na barra de tração com um período de 0,1s.

Figura 4 – (a) Barra de tração adaptada para coleta de força. (b) Calibração da célula de carga junto ao CLP



A medição do consumo de combustível foi realizada com fluxômetros volumétricos MIII, da FLOWMATE, fabricado pela OVAL Corporation do Japão e distribuído no Brasil pela K&K do Brasil, modelo LSF41, vazão de 1 mL/pulso, com precisão de $\pm 1\%$, sendo um instalado no sistema de alimentação de combustível do trator e o outro no sistema de retorno de combustível do trator, contabilizado por CLP, modelo Vision 120, fabricado pela Unitronics® (Figura 5b), utilizando as portas de aquisição digital, do tipo PNP, com capacidade de frequência de aquisição de dados de 10kHz.

Os fluxômetros foram calibrados deixando-se escoar por estes um determinado volume de óleo diesel, que foi registrado pelo CLP e conferido usando-se um becker graduado de 1L.

O consumo de combustível se dá pela diferença de volume entre o fluxômetro instalado no sistema de alimentação de combustível, localizado após o filtro de combustível e o fluxômetro instalado no sistema de retorno de combustível após a bomba injetora do sistema de alimentação de combustível (Figura 5a), segundo a equação 1.

Figura 5 – (a) Fluxômetros instalados no sistema de combustível do trator. (b) CLP para coleta de dados dos fluxômetros



Foto: Danilo Pompermaier de Melo – 2024

$$Ch = \frac{(pe-pr).3,6}{\Delta t} \quad (1)$$

Ch = Consumo de combustível horário (L h⁻¹)

Pe = pulsos entrada combustível

Pr = pulsos retorno combustível

Δt = variação do tempo (s)

O consumo específico de combustível é a variável que indica a eficiência com que o motor está convertendo o combustível fornecido em trabalho disponível na barra de tração, segundo a equação 2.

$$Ce = \frac{\rho.Ch}{PBT} \quad (2)$$

Ce = Consumo específico de combustível (g kWh⁻¹)

Ch = Consumo de combustível horário (L h⁻¹)

ρ = densidade do combustível à 24°C (g L⁻¹)

PBT = potência na barra de tração (kW)

Para determinar a resistência a penetração, foi utilizada a UMAS – Unidade Móvel de Amostragem de Solo (Figura 6), construída pelo NEMPA, que é uma carreta fechada, tracionada por um trator agrícola com sistema de acionamento hidráulico para movimentação dos equipamentos de amostrador hidráulico-mecânico de amostras indeformadas de solo e um penetrômetro hidráulico-eletrônico.

Figura 6 – Unidade Móvel de Amostragem de Solo



Foto: Danilo Pompermaier de Melo – 2024

Amostragens de solo foram realizadas para classificar o tipo de solo e o teor de água no solo presente na área do experimento. O teor de água do solo foi determinado através de 3 amostragens aleatórias na área experimental, realizando a pesagem em balança portátil com precisão de $\pm 1g$. Após a secagem do solo coletado, as amostras foram pesadas novamente, e a umidade determinada através da equação 3.

$$U = \left(\frac{PSu - PSs}{PSs} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

U = Teor de água do solo (%)

PSu = Peso Solo úmido (kg)

PSs = Peso Solo seco (kg)

As amostras de resistência do solo à penetração foram coletadas em transecto com 7 pontos espaçados em 0,1m, distribuídos transversalmente para cada rastro do

trator, posteriormente foram agrupados em 3 localizações (Figura 7), externo (referente à área de coleta fora do rastro do trator), rastro (por onde o trator passou e ficou a marca dos pneus no solo) e interno (correspondente à área entre a bitola do trator).

Figura 7 – Transecto de coleta de resistência do solo à penetração



Foto: Danilo Pompermaier de Melo – 2024

O cálculo de velocidade de deslocamento foi obtido através da equação 4, a patinagem pela equação 5, a força na barra de tração pela equação 6, a potência na barra de tração pela equação 7, o rendimento na barra na equação 8 e o índice de cone com a equação 9, conforme a seguir:

$$V = \frac{\Delta d_{3,6}}{\Delta t} \quad (4)$$

V = velocidade de deslocamento (km h^{-1})

Δd = variação da distância (m)

Δt = variação do tempo (s)

$$PAT = \frac{n1 - n0}{n1} \cdot 100 \quad (5)$$

PAT = Patinagem das rodas (%)

n1 = número de voltas da roda com carga

n0 = número de voltas da roda sem carga

$$FBT = \frac{\sum_{i=1}^n Fi}{n} \cdot 9,81 \quad (6)$$

FBT = Força Média na Barra de Tração (kN)

Fi = Força instantânea na Barra de Tração (kgf)

n = número de dados registrados

$$PBT = \left(\frac{FBT \cdot v}{3600} \right) \cdot \frac{1}{0.735} \quad (7)$$

PBT = Potência na Barra de Tração (cv)

FBT = Força na Barra de Tração (kN)

V = Velocidade de deslocamento (km h⁻¹)

$$RBT = \frac{PBT}{PNT} \cdot 100 \quad (8)$$

RBT = Rendimento na Barra de Tração (%)

PBT = Potência na Barra de Tração (cv)

PNT = Potência Nominal do Trator (cv)

$$IC = \frac{RSP.9,81}{\pi.\frac{d^2}{4}.10^6} \quad (9)$$

IC = Índice de cone (MPa)

RSP = Resistência do solo à penetração (kgf)

d = diâmetro da base do cone da haste de penetração (m)

A pressão de inflação dos rodados pneumáticos, rotação do motor, velocidade de operação e regulagens do trator foram determinados segundo recomendações dos fabricantes. Os resultados foram analisados estatisticamente, por meio da análise de variância, adotando-se o teste de separação de Tukey ao nível de 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados coletados no experimento foi possível apresentar o tempo decorrido em cada tratamento, a velocidade de deslocamento, a patinagem média e o teor de água do solo (Tabela 2).

Tabela 2 – Médias das variáveis tempo, velocidade, patinagem média e teor de água do solo para cada tratamento.

Tratamentos	Tempo (s)	Desvio Padrão	Velocidade (km/h)	Desvio Padrão	Patinagem Média (%)	Teor de água do solo
TR1P1	20,90 B C	0,76	4,31 A B	0,16	14,19	21,00
TR1P2	21,93 C	3,30	4,19 A	0,70	14,42	21,00
TR2P3	18,05 A B	0,24	4,99 B C	0,07	12,45	22,67
TR2P4	18,23 A B	0,49	4,94 B C	0,13	12,24	21,66
TR3P5	17,15 A	0,90	5,26 C	0,29	10,30	21,33
TR3P6	17,80 A B	0,70	5,06 C	0,20	11,03	21,00
CV (%)	7,77		6,92			ns

CV – Coeficiente de Variação; ns – Não significativo.

Houve uma diminuição no tempo decorrido na parcela, aumentando a velocidade de deslocamento, conforme a potência do trator aumentou, de 125cv (TR1), para 145cv (TR2) e 210cv (TR3). Os maiores tempos de deslocamento foram encontrados para TR1P1 (20,90 s) e TR1P2 (21,93 s) que não diferiram estatisticamente entre si. Enquanto que o menor valor de tempo ocorreu para TR3P5 (17,15 s) que não diferiu de TR3P6 (17,80 s), TR2P3 (18,05 s) e TR2P4 (18,23 s).

A Tabela 2 apresenta os resultados dos tratamentos TR2P3, TR2P4 (145cv), TR3P5 e TR3P6 (210cv) sem diferença estatística na velocidade média de deslocamento, enquanto os tratamentos TR1P1 e TR1P2 (125cv) apresentaram menores valores, associado à menor potência do trator utilizado. Em virtude da profundidade alvo de 0,3 m, e a capacidade menor de tração do trator, houve aumento da patinagem de 14,19% e 14,42%, para os tratamentos TR1P1 e TR1P2 respectivamente, excedendo o limite sugerido pela ASAE (2006).

A maior velocidade foi encontrada para o tratamento TR3P5 (5,26 km h⁻¹) que não apresentou diferença de TR3P6 (5,06 km h⁻¹), TR2P3 (4,99 km h⁻¹) e TR2P4 (4,94 km h⁻¹). Esses tratamentos apresentaram patinagem entre 10 e 12%, que corroboram com os resultados encontrados por Lopes *et al.* (2020), ao utilizarem trator de 149cv

tracionando um subsolador, obtiveram patinagem entre 10 e 11% a 5,2 km h⁻¹. O nível de patinagem do experimento, para os tratamentos TR2P3, TR2P4, TR3P5 e TR3P6 está de acordo com os valores sugeridos pela ASABE (2006), de 11 a 13% em solos arados, indicado para melhor desempenho do trator nas operações.

O teor de água do solo não apresentou diferença estatística entre os tratamentos apresentando valores próximos à 21%, garantindo que a área estava homogênea em teor de água.

A Tabela 3 apresenta as médias das variáveis dependentes calculadas a partir do consumo de combustível, do consumo específico, do Índice de Cone Médio e do Índice de cone Máximo para cada tratamento.

Tabela 3 – Médias das variáveis de consumo de combustível, de consumo específico, índice de cone médio e índice de cone máximo, com suas respectivas medidas de dispersão.

Tratamentos	Consumo de Combustível (L h ⁻¹)	Desvio Padrão	Consumo Específico (g/kWh)	Desvio Padrão	IC Médio (MPa)	Desvio Padrão	IC Máximo (MPa)
TR1P1 125cv	12,97 A	2,17	519,85 B	30,07	1,69 A	0,28	2,94
TR1P2 125cv	13,05 A	0,61	536,25 B	47,74	1,68 A	0,13	2,81
TR2P3 145cv	13,04 A	1,51	327,37 A	32,26	1,95 B	0,21	2,69
TR2P4 145cv	14,97 A B	2,19	373,28 A	54,14	1,98 B C	0,17	2,72
TR3P5 210cv	19,56 C	2,83	373,98 A	35,57	2,29 D	0,24	2,76
TR3P6 210cv	18,05 B C	1,82	365,65 A	48,58	2,23 C D	0,23	2,87
CV(%)	12,90		10,19		10,59		ns

IC – Índice de Cone; CV – Coeficiente de Variação; ns – Não significativo.

O consumo de combustível apresentou maior valor para TR3P5 (19,56 L h⁻¹), não diferindo estatisticamente do TR3P6 (18,05 L h⁻¹), que é o mesmo trator, porém o TR3P6 não diferiu de TR2P4 (14,97 L h⁻¹), que é trator de menor potência. O menor consumo de combustível foi encontrado para TR1P1 (12,97 L h⁻¹), que não apresentou diferença estatística para os tratamentos TR2P4 (14,97 L h⁻¹), TR2P3 (13,04 L h⁻¹) e TR1P2 (13,05 L h⁻¹), apesar de TR1 ser trator de menor potência, apresentou consumo igual ao TR2, um fator que justifica o elevado consumo para TR1, está associado à elevada patinagem de TR1P1 (14,19%) e TR1P2 (14,42%), evidenciado pelo valor de menor velocidade média 4,31 km h⁻¹ e 4,2 km h⁻¹ respectivamente.

O consumo de combustível foi coerente com os resultados encontrados por Lopes *et al.* (2020), ao utilizarem um trator de 149cv à 4,9 km h⁻¹, equipado com pneus diagonais e massa de 7125kg, na operação de subsolagem à 0,35 m, obtiveram consumo horário de combustível de 15,4 L h⁻¹.

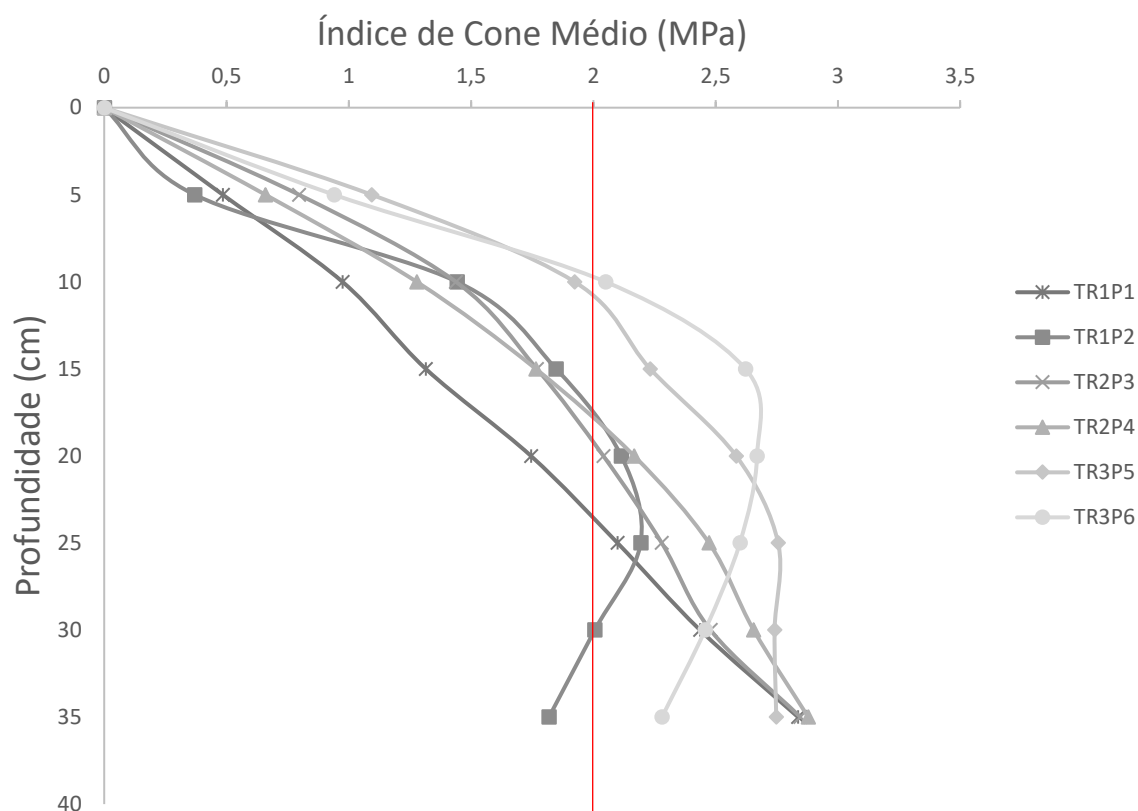
O consumo específico de combustível não apresentou diferença estatística entre os tratamentos TR2P3 (327,37 g/kWh), TR2P4 (373,28 g/kWh), TR3P5 (373,98 g/kWh) e TR3P6 (365,65 g/kWh), entretanto diferenciou de TR1P1 (519,85 g/kWh) e TR1P2 (536,25 g/kWh) que foram iguais entre si. Os tratamentos TR1P1 e TR1P2 apresentam as maiores médias para consumo específico, que indica piores desempenhos para realizar a operação de escarificação, resultados que corroboram com Fiorese *et al.* (2015), que obtiveram consumo específico médio de 520g kWh⁻¹ com um trator de 95 cv.

Dessa forma, ao comparar os três tratores é possível evidenciar que o trator TR2 (145 cv) não diferenciou estatisticamente de TR1 (125 cv) na variável consumo horário de combustível e não houve diferença de TR3 (210 cv) para consumo específico de combustível, apresentando consumo horário de 13,04 L h⁻¹ (TR2P3) e específico de 327,37 g kWh⁻¹ para operação de escarificação, sendo TR2 o trator mais indicado para operação.

O Índice de Cone Médio (Tabela 3) apresentou menor valor para o tratamento TR1P2 (1,68 MPa), não diferiu estatisticamente de TR1P1 (1,69 MPa). Os maiores valores de IC Médio foram encontrados para TR3P5 (2,29 MPa) e TR3P6 (2,23 MPa), que não diferiram estatisticamente. Os valores foram analisados estatisticamente pelo IC Médio de cada tratamento, pois não houve diferença entre a segmentação realizada no transecto (Interno, Externo e Rastro), fator associado à umidade elevada na área. Segundo Bonin *et al.* (2012), os valores de Índice de Cone apresentam um decréscimo à medida que se aumenta o teor de água no solo, concordando com Magalhães *et al.* (2005) identificaram correlação inversamente proporcional entre o teor de água e índice de cone.

Os valores de Índice de Cone Médios foram apresentados na Figura 8, relacionando cada tratamento com as respectivas profundidades e valores de IC, permitindo assim a interpretação visual dos dados coletados. O Índice de Cone Máximo não apresentou diferença estatística entre os tratamentos.

Figura 8 – Índice de Cone Médio e respectivas profundidades para os tratamentos



A Figura 8 apresenta as médias de IC Médio para os tratamentos, é possível notar que as faixas que ocorreram maiores valores de compactação estão localizadas entre 15 e 20cm de profundidade, corroborando com os resultados encontrados por Lopes *et al.* (2020) que ao realizarem a pesquisa com subsolador, encontraram uma camada compactada na mesma faixa de profundidade.

Tabela 4 – Médias de força, potência e rendimento na barra de tração para os tratamentos, com suas respectivas medidas de dispersão.

Tratamentos	Força BT (kN)	Desvio Padrão	Potência BT (cv)	Desvio Padrão	Rendimento BT (%)	Desvio Padrão
TR1P1	17,44 A	206,78	28,51 C	4,19	22,81 A	3,35
TR1P2	17,80 A	95,43	28,03 C	3,41	22,42 A	2,73
TR2P3	24,13 B	94,00	45,53 B	2,10	31,40 B	1,45
TR2P4	24,53 B	83,81	45,83 B	0,81	31,61 B	0,56
TR3P5	29,95 C	65,55	59,62 A	4,26	28,39 B	2,03
TR3P6	29,57 C	103,87	56,61 A	2,19	26,96 A B	1,04
CV(%)	4,82		7,01		7,67	

BT – Barra de tração; CV – Coeficiente de Variação.

As maiores forças na Barra de Tração foram encontradas para TR3P5 (29,95 kN) e TR3P6 (29,57 kN), seguido de TR2P4 (24,53 kN) e TR2P3 (24,13 kN) e as menores forças na barra de tração para TR1P2 (17,80 kN) e TR1P1 (17,44 kN). Os resultados corroboram com os resultados encontrados por Bianchini *et al.* (1999), que obtiveram a força na barra de tração de 21,01 kN para um escarificador acoplado à um trator de 102 cv, à profundidade de 32,5 cm.

Os tratamentos TR1P1 (28,51 cv) e TR1P2 (28,03 cv), apresentaram menores Potência na Barra de Tração e não diferiram estatisticamente entre si. As potências na barra de tração encontradas para TR1P1 e TR1P2, em solo preparado, foram próximos aos resultados encontrados por Monteiro *et al.* (2013) ao realizar experimento com trator de 121cv, na faixa de 34 a 40cv, em condições de solo firme. Foram encontrados valores intermediários de potência na barra para o TR2P3 (45,53 cv) e TR2P4 (45,83 cv), que divergem dos resultados encontrados por Savioli *et al.* (2020) que, realizando experimento com um trator de 140cv, obtiveram potência na barra de tração de 67,4 cv em solo gradeado.

Gabriel filho *et al.* (2010) obtiveram resultado semelhantes aos tratamentos TR1P1 e TR1P2 (125cv), ao realizar um experimento com trator de 120cv, que apresentou em pista de solo mobilizado força na barra de 25kN, a potência na barra de 34cv, e velocidade média de deslocamento de 4,9 km h⁻¹.

O Rendimento na Barra de Tração ficou entre os valores de 22,42% para TR1P2 com menor rendimento e 31,6% para TR2P4 o maior rendimento. Os rendimentos na BT apresentaram valores baixos, associados às condições de solo preparado, o que ocasionou elevada patinagem. Corroborando com os resultados obtidos por Kmiecik *et al.* (2023), que ao realizar experimento com duas condições de solo (firme e mobilizado) e três condições de distribuição de massa no trator (35/65%, 40/60% e 45/55%), afirmam que em condições de solo mobilizado, os tratores apresentaram menores eficiências tratória e na barra de tração, quando comparados em condições de solo firme.

Segundo a norma D497.7 da “American Society of Agricultural and Biological Engineers”, um trator pode apresentar uma eficiência máxima de desempenho na barra de tração de entorno de 68%, em superfícies de solos firme (ASABE, 2011). A divergência entre os resultados encontrados no experimento com os resultados

encontrados na literatura, evidenciam que não foram obtidas as maiores potência na barra de tração possível para os tratores em função das condições de superfície e de teor de água do solo.

5 CONCLUSÃO

Nas condições de lastros e pneus recomendados pelos fabricantes, utilizados na operação de escarificação no experimento obteve-se às seguintes conclusões:

Os tratores com potência de 125cv, presentes nos tratamentos TR1P1 e TR1P2, não se mostraram adequados para realizar operação de escarificação à profundidade de 30cm com sete hastes, pois apresentaram uma potência na barra de tração muito baixa de 28,51cv e 28,03cv, respectivamente, aumentando o consumo específico de combustível e a patinagem dos tratores.

Os tratores com potência de 145cv quando comparados com os de 210cv, realizam a mesma operação, mantendo a velocidade desejada de 5 km h^{-1} , porém apresentam menor compactação média do solo e menor consumo horário e específico de combustível, sendo mais indicados.

Os tratores de 210cv (TR3P5 e TR3P6) apresentaram maior força e potência na barra de tração quando comparados aos demais tratamentos, entretanto o rendimento na barra de tração foi igual aos tratores de 145cv (TR2P3 e TR2P4).

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, J. J. B. Índice de cone, capacidade de suporte de carga e teor de água de quatro solos da Fazenda Lageado, Botucatu – SP: Correlações e mapas de isocompactação. Tese (Doutorado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2008.
- ASABE. American Society of Agricultural and Biological Engineers. **ASAE EP496.3 Agricultural machinery management**. St. Joseph: ASABE Standards, 2006.
- ASABE. American Society of Agricultural and Biological Engineers. **ASAE D497.7 Agricultural machinery management data**. St. Joseph: ASABE Standards, 2011.
- BIANCHINI, A.; SABINO, M. H. C.; BORGES, P. H. M. e SGUAREZZI, J. J. Comportamento operacional de um escarificador de hastes parabólicas em solo de cerrado. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.3, p.395-401, 1999.
- BONIN, J. J.; LANÇAS, K. P. e AVALOS, J. M. M. Índice de cone, capacidade de suporte de carga e teor de água de um latossolo vermelho: Correlações e Mapas de Isocompactação. **Rev. Energ. Agric.**, Botucatu, vol. 27, n.2, abril-junho, 2012, p.60-75.
- CAMARGO, O.A. de.; ALLEONI, L.R.F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1997. 132 p.
- CUNHA, J.P.A.R. da; VIEIRA, L.B.; MAGALHÃES, A.C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.10, n.1-4, p.1-7, 2002.
- DAMANAUSKAS, V. e JANULEVIČIUS. Differences in tractor performance parameters between single-wheel 4WD and dual-wheel 2WD driving systems. Journal of Terramechanics 60 (2015), p. 63–73.
- IORESE, D. A.; MARASCA, I.; FERNANDES, B. B.; SANDI, J.; FERREIRA, F. M.; LANÇAS, K. P. Desempenho de três tratores agrícolas em ensaio de tração. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 2, n. 2, p. 68-76, 2015.
- FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. e DE LIMA, S. L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 947-953, ago. 2003.
- GABRIEL FILHO, A. SILVA, A. L.; MODOLO, A. J. e DA SILVEIRA, J. C. M. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.24, n.3, p.781-789, set./dez. 2004.
- GABRIEL FILHO, A.; LANÇAS, K. P.; LEITE, F.; ACOSTA, J. J. B. e JESUINO, P. R. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.3, p.333–339, 2010.

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

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; KUNZ, J. e TEIXEIRA, T. G. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em latossolo manejado sob plantio direto de longa duração. **R. Bras. Ci. Solo**, 38:1234-1244, 2014.

GOOGLE EARTH website. <http://earth.google.com/>, 2024.

KMIECIK, L. L.; JASPER, S. P.; PASSOS, M. L.; STRAPASSON NETO, L.; ZIMMERMANN, G. G.; SAVI, D. e PARIZE, G. L. Agricultural tractor with different mass distributions between axles. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.53:3, e20210604, 2023.

LEITE, F. *et al.* Influência do teor de água no solo e lastragem líquida de um trator agrícola no Arenito Caiuá. *Cultivando O Saber*, Cascavel-Pr, v. 3, n. 1, p. 72-81, abr. 2010.

LOPES, A. G. C.; CORREIA, T. P. S.; DE BRITO, G. R.; FARIA, A. P. F. A. e SILVA, P. R. A. Desempenho operacional e custo da subsolagem com e sem rodado duplo no trator agrícola. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 35, n. 3, p. 317-329, julho-setembro, 2020.

LOPES, A.; LANÇAS, K. P.; DA SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A.; NAGAOKA, A. K. e DOS REIS, G. N. Desempenho de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.2, p.366-370, mar-abr, 2005.

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

MACHADO *et al.* Desempenho de Escarificador em Planossolo. **Rev. Bras. de AGROCIÊNCIA**, v.2, nº 3, 151-154, Set.-Dez., 1996.

MAGALHÃES, R. P.; MOLIN, J. P. e FAULIN, G. D. C. Relação entre o índice de cone, teor de água, textura e matéria orgânica do solo em semeadura direta. XXXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. 25 a 29 de julho de 2005 – Canoas – RS.

MARQUES FILHO, A. C.; MOURA, M. S.; LANÇAS, K. P. Rodados agrícolas, desafios e perspectivas relacionadas ao trânsito de máquinas em áreas cultivadas. *Revista Plantio Direto*, ed. 154, 2020.

MAZETTO, F. R.; LANÇAS, K. P.; NAGAOKA, A. K.; CASTRO NETO, P.; GUERRA, S. P. S. Avaliação do contato pneu-solo em três modelos de pneus agrícolas. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.750-757, set./dez. 2004.

MONTEIRO, L. A.; ALBIERO, D.; DE SOUZA, F. H.; MELO, R. P. e CORDEIRO, I. M. Rendimento na barra de tração de um trator agrícola com diferentes relações de peso e potência. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 70-75, jan-mar, 2013.

MONTEIRO, L. DE A.; LANÇAS, K. P. e GUERRA, S. P. S. Desempenho de um trator agrícola equipado com pneus radiais e diagonais com três níveis de lastros líquidos. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v.31, n.3, p.551-560, maio/jun. 2011.

PAULA, V. R. DE. Avaliação dos danos causados pelo inadvertido tráfego de veículos sobre as soqueiras de cana-de-açúcar. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2010.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, jul./set. 2005.

SAVIOLI, J. S.; DOS SANTOS, F. F.; LEITE, F. e LOPES, R. A. P. Desempenho operacional e atributos físicos do solo sob tráfego de trator agrícola. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, 2020.

SICHOCKI, D.; RUAS, R. A. A.; DEZORDI, L. R.; CAIXETA, L. F.; SILVA, B. M. Consumo energético e patinagem de um trator agrícola tracionando uma enxada rotativa e um arado de discos. **Engenharia na agricultura**, viçosa - mg, V.21 N.5, SETEMBRO / OUTUBRO, 2013.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.3, p.755-760, mai-jun, 2004.

VIANA, L. A. *et al.*, Lastragem como forma de melhorar a eficiência de tração de trator agrícola. Paraíba: XXI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VII Encontro de Iniciação À Docência, Viçosa - MG, 2017.

ZIMMERMANN, G. G.; SAVI, D.; AULER, A. C.; STRAPASSON NETO, L. e JASPER, S. P. Effect of hydraulic and solid ballast on agricultural tractor performance. **Revista Ciência Agronômica**, v. 53, e20217963, 2022

ZOZ, F.; GRISSE, R.D. Traction and tractor performance. St Joseph: ASAE. 2003. 46 p.