

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

MILENA MACHADO PRATES DA SILVA

**DESEMPENHO DE UM TRATOR AGRÍCOLA NA OPERAÇÃO DE
ESCARIFICAÇÃO EM DIFERENTES VELOCIDADES E
CONFIGURAÇÕES DE IMPLEMENTO**

**Alegrete
2024**

MILENA MACHADO PRATES DA SILVA

**DESEMPENHO DE UM TRATOR AGRÍCOLA NA OPERAÇÃO DE
ESCARIFICAÇÃO EM DIFERENTES VELOCIDADES E
CONFIGURAÇÕES DE IMPLEMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Vilnei de Oliveira Dias

**Alegrete
2024**

MILENA MACHADO PRATES DA SILVA

**DESEMPENHO DE UM TRATOR AGRÍCOLA NA OPERAÇÃO DE ESCARIFICAÇÃO EM
DIFERENTES VELOCIDADES E CONFIGURAÇÕES DE IMPLEMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharela em Engenharia Agrícola.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 05, julho de 2024.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Vilnei de Oliveira Dias

Orientador
(UNIPAMPA)

Prof^a. Chaiane Guerra da Conceição

(UNIPAMPA)

Eng. Agríc. Maria Eduarda Hitz

(UNIPAMPA)



Assinado eletronicamente por **CHAIANE GUERRA DA CONCEICAO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/07/2024, às 14:48, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **VILNEI DE OLIVEIRA DIAS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/07/2024, às 10:33, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **Maria Eduarda Hitz, Usuário Externo**, em 13/07/2024, às 16:46, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1484206** e o código CRC **2870504B**.

“Escreva algo que valha a pena ser lido, ou
faça algo que valha a pena ser escrito”.

Benjamin Franklin

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por me guiar durante o caminho até o final da graduação.

À Universidade Federal do Pampa, pela oportunidade de formação e disponibilização de todos os equipamentos necessários para que o aprendizado fosse possível.

Ao meu orientador, Vilnei de Oliveira Dias, por todo o suporte, conselhos e conhecimentos transmitidos.

Aos técnicos administrativos, Jhon Pablo Lima Cornélio e Diogo Silveira Kersten, pelo tempo dedicado à configuração dos equipamentos utilizados e auxílio na execução do experimento.

Aos meus familiares, especialmente à minha mãe que sempre priorizou meus estudos.

Ao meu namorado Lucas, pelo incentivo e apoio em todos os momentos.

À todos meus amigos, que sempre tornam os momentos mais leves.

À todos que de alguma forma contribuíram para chegar até aqui.

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho energético de um trator agrícola na operação de escarificação atuando em diferentes velocidades de operação e configurações do implemento. Foram avaliados os parâmetros essenciais para se obter uma eficiência energética durante uma operação de escarificação, como: o consumo horário de combustível, consumo específico, consumo operacional, capacidade de campo efetiva, e patinamento. O trabalho foi desenvolvido no município de Alegrete/RS, sendo o experimento conduzido na área experimental da Universidade Federal do Pampa, com o uso de um conjunto mecanizado constituído de um trator modelo TL 75 e escarificador de 5 hastes. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com esquema fatorial de 2x3, formado através da combinação de duas configurações de escarificador e três velocidades de deslocamento com três repetições, em um total de 18 unidades experimentais. Foi constatado que a maior velocidade teórica obtida, teve maior efeito no comportamento operacional e energético do conjunto trator-escarificador. As diferentes posições de hastes do escarificador alteraram o comportamento operacional do trator. A velocidade ideal de escarificação foi de 2,68 km h⁻¹, visando consumo horário de combustível. O uso da haste parabólica no escarificador auxiliou na estabilização do consumo de combustível. Deve-se alternar as velocidades dentro de uma mesma rotação mais baixa do motor para se ter a redução de consumo específico na operação. O patinamento mais adequado para o tipo de superfície foi obtido quando o escarificador atuou com as hastes no modo original.

Palavras-Chave: Máquinas agrícolas. Consumo horário. Desempenho operacional.

ABSTRACT

The objective of the work was to evaluate the energy performance of an agricultural tractor in scarifying operations at different operating speeds and implement configurations. The essential parameters to obtain energy efficiency during a ripping operation were evaluated, such as hourly fuel consumption, specific consumption, operational consumption, effective field capacity, and slippage. The work was developed in the municipality of Alegrete/RS, with the experiment being conducted in the experimental area of the Federal University of Pampa, using a mechanized set consisting of a TL 75 model tractor and a 5-rod scarifier. The experiment was carried out in a completely randomized design with a 2x3 factorial scheme, formed through the combination of two scarifier configurations and three displacement speeds with three replications, in a total of 18 experimental units. It was found that the higher theoretical speed obtained had a greater effect on the operational and energetic behavior of the tractor-scarifier set. The different positions of the scarifier rods changed the operational behavior of the tractor. The ideal scarification speed was 2.68 km h⁻¹, aiming at hourly fuel consumption. The use of the parabolic rod in the scarifier helped to stabilize fuel consumption. You must alternate speeds within the same lower engine speed to reduce specific consumption during operation. The most suitable slip for the type of surface was obtained when the scarifier operated with the rods in the original mode.

Keywords: Agricultural machinery. Hourly consumption. Operational performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Constituição geral de um trator agrícola.....	17
Figura 2 - Variação da eficiência de tração em função do patinamento de um trator agrícola operando em três diferentes condições de superfície expressas pelo Índice de Cone (CI)	21
Figura 3 - Localização da área experimental da Universidade Federal do Pampa.....	22
Figura 4 - Conjunto mecanizado constituído pelo trator TL 75 e escarificador montado de 5 hastes	23
Figura 5 - a) Reta b) Curva c) Parabólica	24
Figura 6 - Haste parabólica integrante do escarificador	25
Figura 7 - Dimensões de haste (mm)	25
Figura 8 - Ângulos de ponteira	26
Figura 9 - Escarificador no modo de hastes original.....	27
Figura 10 - Escarificador no modo de hastes modificadas	27
Figura 11 - Proveta de 1 litro utilizada como tanque auxiliar de combustível	28
Figura 12 - Esquema do fluxo de combustível quando submetido ao método do tanque auxiliar	28
Figura 13 - Leitura do consumo de combustível sendo realizada diretamente na proveta	29
Figura 14 - Linha de tendência para o trator TL 75 considerando a potência média produzida (kW) e a rotação do motor (RPM)	31
Figura 15 - Ilustração de esquema alternativo para a determinação do patinamento (%) em condições de conjunto sem e com carga.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações técnicas do Trator TL 75	23
Tabela 2 - Especificações técnicas o escarificador 5 hastes	24
Tabela 3 - Grupos, marchas e rotações utilizadas	33
Tabela 4 - Composição dos tratamentos pela combinação de diferentes níveis de velocidade de operação e configurações do escarificador	34
Tabela 5 - Análise de Variância (ANOVA) para fatores de configuração e velocidade em relação a velocidade de operação (km h^{-1}) de um conjunto trator-escarificador	35
Tabela 6 - Teste de médias para velocidade com carga (km h^{-1}) de um conjunto trator-escarificador	35
Tabela 7 - Análise de Variância (ANOVA) para fatores de configuração e velocidade em relação ao consumo horário de combustível (l h^{-1}) de um conjunto trator-escarificador	36
Tabela 8 - Teste de médias entre velocidade (km h^{-1}) e consumo horário de combustível (l h^{-1}) de um conjunto trator-escarificador	37
Tabela 9 - Análise de Variância (ANOVA) para fatores de configuração e velocidade em relação ao consumo específico de combustível (g kW h^{-1}) de um conjunto trator-escarificador	37
Tabela 10 - Teste de médias entre velocidade (km h^{-1}) e consumo específico de combustível (g kW h^{-1}) de um conjunto trator-escarificador.....	38
Tabela 11 - Análise de Variância (ANOVA) para fatores de configuração e velocidade em relação a capacidade de campo efetiva (ha h^{-1}) de um conjunto trator-escarificador	39
Tabela 12 - Teste de médias entre velocidade (km h^{-1}) e capacidade de campo efetiva (h ha^{-1}) de um conjunto trator-escarificador.....	39
Tabela 13 - Análise de Variância (ANOVA) para fatores de configuração e velocidade em relação ao consumo operacional de combustível (l ha^{-1}) de um conjunto trator-escarificador	40
Tabela 14 - Análise de Variância (ANOVA) para fatores de configuração e velocidade em relação ao patinamento com carga (%) de um conjunto trator-escarificador.....	41
Tabela 15 - Teste de médias entre configurações de haste e patinamento (%) de um conjunto trator-escarificador	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo Geral.....	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3 REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 Compactação do solo	14
3.2 Remoção mecânica de camadas compactadas.....	15
3.3 Tratores agrícolas	17
3.4 Consumo de combustível em operações mecanizadas.....	18
3.5 Patinamento	19
4 MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1 Área experimental	22
4.2 Conjunto mecanizado	22
4.2.1 Ficha técnica do trator TL 75.....	23
4.2.2 Ficha técnica do escarificador	24
4.2.2.1 Hastes	24
4.2.2.2 Ponteiras	25
4.2.2.3 Configuração do escarificador.....	26
4.3 Variáveis resposta.....	27
4.3.1 Consumo horário de combustível	27
4.3.2 Consumo específico	30
4.3.4 Capacidade de campo efetiva	31
4.3.5 Consumo operacional.....	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1 Velocidade com carga (km h ⁻¹).....	35

5.2 Consumo horário de combustível (CHC, l h⁻¹)	36
5.3 Consumo Específico (Cesp, g kW h⁻¹)	37
5.4 Capacidade de Campo Efetiva (CCE, ha h⁻¹).....	38
5.5 Consumo operacional (Cop, l ha⁻¹)	40
5.6 Patinamento	41
6 CONCLUSÕES.....	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Ao passar o tempo, a tecnologia das máquinas agrícolas vem aumentando gradualmente e, conseqüentemente, causando modificações em sua estrutura, tornando máquinas mais pesadas e robustas, necessitando de maior força de tração para equipamentos como granaleiros, semeadoras, distribuidores, os quais depositam no solo uma maior carga ao realizar as operações, aumentando o potencial de risco de compactação (GIRARDELLO, 2014).

Conforme citam Filho *et al.* (2010), o monitoramento de tratores agrícolas tem despertado o interesse de vários pesquisadores nas últimas décadas, com a intenção da otimização da eficiência energética do trator em si e seus possíveis conjuntos, buscando formas em que se produza máxima quantidade de trabalho por unidade consumida. Os tratores agrícolas podem ter seu desempenho avaliado pela potência na TDP, da eficiência de tração, da patinagem das rodas motrizes e do consumo de combustível, além de demonstrar comportamento variável dependendo da superfície em que atua (CORDEIRO, 2000).

Junto a isso, Richart *et al.* (2005), cita que outro fator como a falta de cobertura no solo, promovida pelo uso contínuo do preparo convencional, torna camadas subsuperficiais compactadas. Neste sentido, a principal consequência, do ponto de vista da mecanização do solo, está relacionada a um maior esforço de tração requerido e uso excessivo de combustível.

Desta forma, é importante buscar alternativas para que a compactação seja amenizada, adicionando ao solo a palhada e restos vegetais como cobertura, auxiliando a diminuir o efeito físico do impacto das gotas de água da chuva (SEREIA, 2017).

Tais alternativas, visam reduzir o potencial de erosão e a intensificação da compactação nas camadas, já que uma considerável porção dos solos da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul são frágeis onde, segundo Rademann (2018), existem locais que possuem tendência no aumento da drenagem superficial, desencadeando uma maior ocorrência de feições erosivas nestas áreas, além de serem submetidos a contínuas variações climáticas ao longo do ano. Pode-se estudar a viabilidade de o preparo ser minimizado através da realização da operação de escarificação, cujo objetivo é descompactar as camadas mais superficiais do solo, além de avaliar o desempenho energético do conjunto trator-implemento.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho energético de um trator agrícola na operação de escarificação em diferentes velocidades em duas configurações de implemento.

2.2 Objetivos Específicos

- I. Verificar se diferentes configurações de posição das hastes de um escarificador alteram o desempenho energético e operacional do trator agrícola;
- II. Analisar o comportamento operacional e energético do trator agrícola em função de diferentes velocidades de deslocamento.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Compactação do solo

O termo compactação relaciona-se ao processo que propõe a diminuição da porosidade do solo, a partir do momento em que uma pressão é aplicada, podendo ser por máquinas, equipamentos ou o pisoteio de animais (LIMA, 2004).

De acordo com Stone *et al.* (2002), este processo implica na degradação dos solos, alterando sua estrutura de modo a causar uma reorganização nas partículas, o que promove um aumento da densidade, redução da porosidade total e macroporosidade, como consequência, altera fatores como a disponibilidade hídrica e de nutrientes, além de reduzir a penetração radicular das plantas. Em função disso, há necessidade de estudar a compactação em diferentes solos, culturas, e condições climáticas (REICHERT *et al.* 2007).

Um solo compactado é responsável por perdas na produção, onde as plantas inseridas na condição desse solo, são afetadas diretamente no seu crescimento e desenvolvimento da parte aérea (GONÇALVES, 2019).

Conforme Silva *et al.* (2000), o tráfego da máquina é uma das razões para risco de compactação do solo, onde o pneu utilizado muitas vezes pode ser classificado como um modelo de banda diagonal, o qual possui como característica uma superfície mais rígida e menos aderível ao formato do terreno, ocasionando a redução da área de contato entre pneu e solo.

Essa condição pode ser evidenciada através de um estudo realizado por Girardello (2014), onde foram realizados tratamentos experimentais sem o tráfego de máquinas e com tráfego de um trator com semeadora, analisando a produtividade das culturas do milho e soja em ambas condições. A menor produtividade constatada pelo estudo, se deu para a situação de tráfego do trator com semeadora, sendo 12.418 kg ha⁻¹ e 4.802 kg ha⁻¹, respectivamente, enquanto para a situação sem tráfego, 13.010 kg ha⁻¹ e 4.802 kg ha⁻¹. Por sua vez, Souza (2012), avaliou para a cultura da cana-de-açúcar, a variável de resistência do solo à penetração radicular, na condição com tráfego de máquinas sem controle e com controle a partir do ajuste de bitola e uso do piloto automático, obtendo em camadas de profundidade de 0,10 a 0,20 metros, uma resistência de 5,32 MPa e 5,09 MPa, respectivamente. O autor avaliou ainda, a porosidade total na mesma camada, com a condição de tráfego somente com ajuste de bitola, obtendo 0,558 m³ m⁻³ e para a

condição sem controle de tráfego $0,546 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, demonstrando os melhores resultados para as condições em que há algum controle do tráfego.

Além disso, outro fator que influencia o risco de compactação, conforme cita Tiecher (2016), é a umidade do solo, que independente da variação das características morfológicas de cada perfil, um solo com elevada umidade estará mais vulnerável aos efeitos da compactação. Lopes *et al.* (2006) constataram que a umidade elevada, juntamente com o tráfego de máquinas, exerceu grande influência sobre as propriedades físicas de um Cambissolo Húmico Alumínico típico. O autor destaca que quando o solo está em condição seca, se torna mais resistente às mudanças na distribuição do tamanho dos poros, assim sendo, sua resistência é aumentada com a redução do conteúdo de água.

Ainda neste âmbito, Machado (2003), comenta que camadas compactadas impedem o movimento da água descendente no perfil, resultando no acúmulo de água na superfície do solo, podendo desencadear erosão. O autor ressalta que essa condição está principalmente relacionada a lavouras convencionais, as quais não possuem palha ou vegetal como cobertura no solo. Coelho *et al.* (2000) verificaram que houve elevado potencial erosivo sobre um solo, quando aplicada uma precipitação simulada de $48,04 \text{ mm h}^{-1}$, atingindo um escoamento superficial de $29,97 \text{ mm h}^{-1}$.

3.2 Remoção mecânica de camadas compactadas

Escarificadores e subsoladores são equipamentos utilizados para trabalhar na superfície e subsuperfície do solo, com a finalidade de desagregar as camadas compactadas. Para profundidades entre 5 e 15 cm tem-se a escarificação superficial; para valores de 15 a 30 cm escarificação pesada e, para profundidades maiores que 30 cm, tem-se a subsolagem, que pode chegar a profundidades de trabalho de 1,0 m (SILVA *et al.* 2015).

Os equipamentos diferem em profundidades de trabalho e também estruturalmente, segundo Lanças (2015), o escarificador possui normalmente até 7 hastes com espaçamento maior que 50 cm, enquanto o subsolador possui mais que 5 hastes e o espaçamento deve ser de até 50 cm.

De acordo com Silva (2021), o método convencional de preparo do solo, utiliza diferentes combinações de equipamentos, entre eles o arado e grade, que preparam o solo em uma ou várias operações. A utilização destes, juntamente com práticas de

manejo inadequadas, por sucessivos anos e em mesmas profundidades, facilitam a formação de camadas com maior grau de compactação logo abaixo da linha de ação dos equipamentos, sendo entre 0,1 a 0,2 metros de profundidade, impedindo que as culturas possam desenvolver o potencial produtivo esperado. Estas camadas ficam denominadas como “pé de grade ou pé de arado” (FRANCHINI *et al.* 2011; SPERA *et al.* 2018).

Gamero (2008), ressalta que a vantagem da utilização do escarificador quanto do subsolador, comparado a outros implementos como o arado e a grade, é de que, estes não promovem a inversão das camadas, apenas as descompactam, posto isto, não modificam a estrutura do solo. Desse modo, TAVARES *et al.* (2020), salientam que o arado e a grade podem ser substituídos pelo escarificador em determinadas situações.

Rosa *et al.* (2008), avaliaram a duração dos efeitos da escarificação em um Latossolo Vermelho distrófico com sistema plantio direto, em camadas de 0,00 a 0,30 m de profundidade, com e sem o tráfego de máquinas, escarificado no verão de 2001, no inverno de 2003, e no inverno de 2005. De acordo com os autores, o solo escarificado no ano de 2001, apresentou a menor macroporosidade de 8,40%, microporosidade de 37,45% e a maior densidade de $1,44 \text{ Mg m}^{-3}$, demonstrando um avançado estado de consolidação. O solo escarificado em 2003, quando adicionado o efeito do tráfego de máquinas, obteve o maior aumento na área mobilizada. A escarificação mais recente, no inverno de 2005 se mostrou mais eficiente no aumento da macroporosidade da camada superficial de 0,00 a 0,10 m, obtendo 17,81%, microporosidade de 33,18% e densidade de $1,20 \text{ Mg m}^{-3}$, tornando a estrutura com menor efeito de compactação. Isso quer dizer, que há um declínio dos efeitos benéficos da escarificação no solo com o passar do tempo, entre dois a quatro anos.

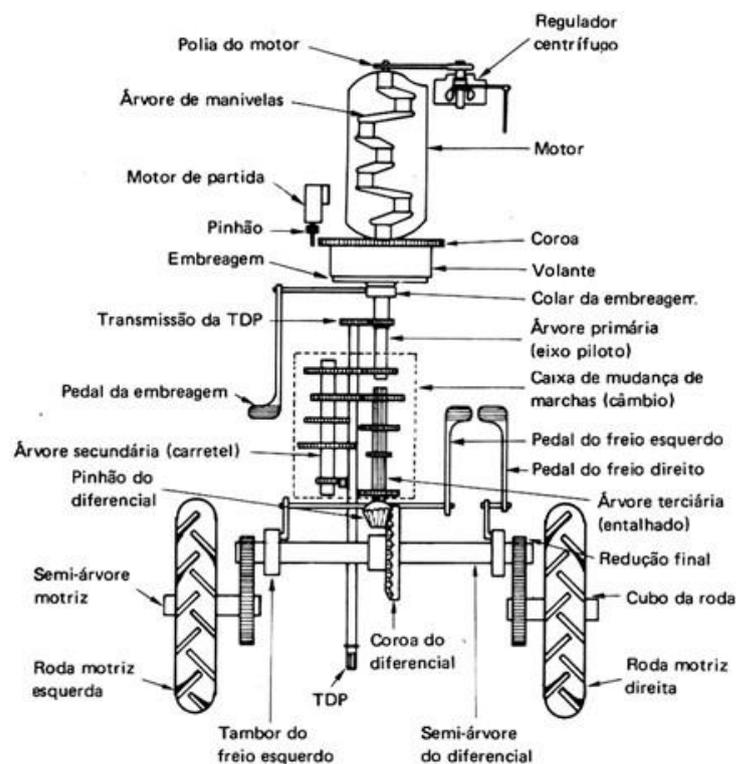
Garbiate (2013), realizou um estudo com a utilização de dois escarificadores trabalhando em profundidades de 0,15 e 0,30 em um solo estabelecido com cana-de-açúcar. Um deles possuía hastes simples, e o segundo escarificador constituía-se em uma estrutura de dupla ação. Foi verificado pelo autor, que a escarificação em si não promoveu melhorias significativas na qualidade física do solo, no entanto, o escarificador de dupla ação operando na profundidade de 0,30 m, contribuiu para o aumento da produtividade da cultura, quando comparado à testemunha sem escarificação, obtendo $68.839 \text{ kg.ha}^{-1}$ contra $60.335 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente. Isto se deve, ao motivo de que o efeito do mesmo escarificador na profundidade de 0,00 a 0,15 m, exerceu uma melhoria no desenvolvimento do tamanho dos colmos da planta, o que fez refletir em sua produtividade.

Apesar do escarificador e subsolador apresentarem funções semelhantes, sabe-se que o subsolador atinge camadas de solo mais profundas, conseqüentemente, necessita que o trator demande mais potência, sendo assim, resulta em um maior consumo de combustível (MACEDO *et al.* 2020; FURLANI E ZERBATO, 2020). Através de uma simulação de subsolagem em diferentes profundidades, certificou-se que quando o subsolador trabalha em profundidades fixas mais profundas, o consumo é maior do que em profundidades alternadas e mais superficiais. Isto deve-se ao aumento de consumo de 42,16% quando o subsolador passa da camada de 0,15 m para trabalhar fixamente na de 0,25 m e 66,50% quando alterna da camada de 0,25 m para a de 0,35m (MACHADO *et al.* 2015).

3.3 Tratores agrícolas

Segundo Varella (2012), tratores agrícolas são máquinas autopropelidas projetadas para tracionar e transportar máquinas e implementos agrícolas, sendo a principal fonte de potência neste meio (LANÇAS *et al.* 2020). A constituição geral de um trator agrícola está exemplificada na Figura 1.

Figura 1 - Constituição geral de um trator agrícola



Fonte: Filho e Santos, 2001.

Ferreira *et al.* (2020) cita que existem diferentes marcas e modelos, os quais podem variar de 11 cv em micros tratores e até mais de 500 cv, em tratores de grande porte. Os tratores podem ser classificados pelo tipo de rodado, sendo 4x2 com quatro rodas e tração simples, 4x2 TDA com quatro rodas e dianteiras direcionais possuindo tração e, 4x4, onde todas as rodas possuem dimensões iguais com tração constante (FILHO e HAMANN, 2016). Além do mais, podem ser de rodas, semi-esteiras ou unicamente de esteiras (ASSIS, 2012).

Quanto à estrutura, todo o sistema e o motor, são montados no chassi, o qual pode ser denominado como: chassi convencional, semi chassi, monobloco e articulado (FINGER e MATOS, 2015). Segundo Silva e Furlani (2006), o chassi convencional presta suporte ao motor, caixa de câmbio e transmissão final. O monobloco, é formado pelo motor, transmissão e diferencial (FORASTIERE, 2016). O semi chassi possui a característica de que o motor é montado sobre a estrutura, evitando o efeito dos esforços de tração. Já o chassi articulado, é comumente empregado em tratores de maior potência, e permite o uso de pneus de mesmas dimensões nos dois eixos, proporcionando maior tração (VARELLA, 2012).

A utilização do trator na agricultura, proporciona aumento da produção, pois a máquina realiza o trabalho que seria feito manualmente, com maior precisão e operacionalidade (COSTA *et al.* 2018). De acordo com o Ministério da Agricultura e Pecuária e o Censo Agropecuário do IBGE, até o ano de 2017, existiam em torno de 1.299.907 tratores em 734.280 estabelecimentos agropecuários no Brasil.

Logo, torna-se essencial avaliar o desempenho de máquinas e implementos agrícolas para obter a melhor condição de trabalho a partir do comportamento da máquina (CAMARA, 2006). Sasaki (2005), cita que são diversas as variáveis que podem ser determinadas, podendo ser: consumo horário e consumo específico de combustível, patinamento dos rodados, capacidade operacional e, ainda, outras como velocidade de deslocamento, potência na barra e força de tração.

3.4 Consumo de combustível em operações mecanizadas

Com a expansão das áreas cultivadas, atualmente, busca-se alternativas que otimizem o desempenho e economia das máquinas e seus conjuntos (FRANCETTO, 2015). De acordo com o mesmo autor, a quantidade de combustível consumida por um motor pode ser expressa de duas formas: em relação ao tempo, sendo denominado

consumo horário, e em relação ao trabalho mecânico que é desenvolvido, onde denomina-se consumo específico.

Lacerda *et al.* (2013), enfatizam que operações como a semeadura, tem efeitos consideráveis sobre os custos de produção, pois é o momento em que se define o melhor estande da cultura, sua profundidade de deposição, aplicação de fertilizantes, e além da quantidade de produto para cada linha de plantio.

Considerando assim, Almeida *et al.* (2009), avaliaram o consumo de combustível em uma operação de semeadura nas situações de escalonamento de marchas e rotações do motor de um trator trabalhando com lastro e tração dianteira auxiliar, sendo: 6ª marcha a 1500 rpm; 5ª marcha a 1900 rpm; 4ª marcha a 2200 rpm e 5ª marcha a 1500 rpm. Os autores obtiveram como variáveis respostas, o menor consumo horário de 7,14 L h⁻¹ na 5ª marcha a 1500 rpm e o maior consumo específico de 643,15 g kWh⁻¹ em 4ª marcha a 2200 rpm, o que caracteriza-se pelo fato de ser o escalonamento de marcha com a maior rotação do motor, obtendo uma maior velocidade de deslocamento. Os autores destacam, que o consumo de combustível será menor quando utilizada baixa rotação e uma velocidade de trabalho que não ultrapasse 5,0 km h⁻¹, pois ao aumentar a velocidade variando as marchas e rotações, houve incremento de 38,4% e 36,2% para o consumo horário e específico, respectivamente.

As mesmas definições foram encontradas por Cortez *et al.* (2008), que conferiram através da operação de semeadura realizada com quatro diferentes marchas de um trator, sendo velocidades de 4, 5, 7 e 8 km h⁻¹, que o consumo horário aumentou entorno de 16% quando a velocidade passou de 4 km h⁻¹ para 5 km h⁻¹. Além disso, para o consumo específico, o qual é obtido em função da potência consumida, diminuiu com a troca de marcha, pelo aumento da potência exigida na barra de tração.

3.5 Patinamento

De acordo com Ferreira *et al.* (2000), em termos percentuais, o patinamento representa o deslizamento da banda de rodagem dos pneus motrizes do trator sobre uma superfície de apoio. Por outro lado, Russini (2012), descreve o patinamento em excesso, como a redução da velocidade real do trator, resultando em um decréscimo da capacidade operacional do conjunto mecanizado. Quando os valores de patinamento são elevados, podem acabar proporcionando maior consumo de combustível, desgaste dos pneus, transmissões e mecanismos de tração do trator, reduzindo a eficiência

operacional (LEITE *et al.* 2020). Para que se possa verificar se os valores estão dentro dos limites de patinamento, pode-se determinar o percentual pela diferença entre a rotação dos pneus do trator, com carga e sem carga de tração (Klaver, 2013; LEITE *et al.* 2020)

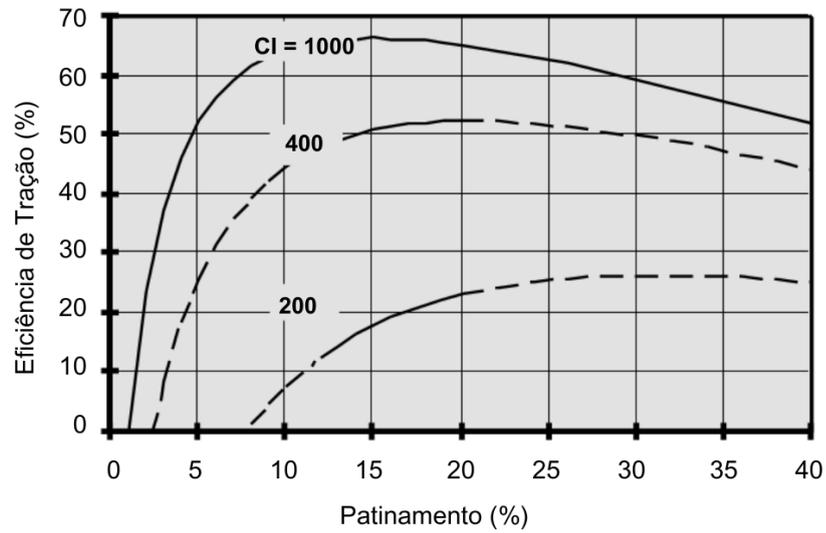
Filho *et al.* (2004), avaliando o desempenho de um trator operando num solo com diferentes coberturas vegetais definidas como: aveia; ervilhaca; nabo e aveia; e ainda uma parcela sem cobertura, pôde confirmar o que foi dito por Herzog (2020), de que o percentual de patinamento dos rodados pode variar de acordo com o tipo de superfície. O autor relata que, os tratamentos com cobertura vegetal de aveia, nabo e aveia e somente nabo, apresentaram os maiores percentuais de patinamento, sendo o maior entre eles de 20,74%, visto que, os mesmos tratamentos obtiveram os menores valores de eficiência tratória.

Silveira (2018), também avaliou o percentual de patinamento em função da superfície, que neste caso, de concreto e nas condições de 7 velocidades variadas, sendo: 2,5; 3,5; 5,0; 6,5; 8,0; 11,0 e 17 km h⁻¹. O patinamento aumentou de acordo com o aumento da velocidade e que, ainda, comparando um jogo de pneus novos com o de pneus desgastados, os desgastados apresentaram menor eficiência em relação aos novos, isto pois, o valor de patinamento foi muito baixo, sendo de 2,77%. Para o autor, esta condição se deve, pelo fato de que quando o pneu está com desgaste, a área de contato com a superfície torna-se maior e conseqüentemente terá uma maior aderência dos pneus com o solo.

Nos tratores agrícolas, segundo Herzog (2020), o patinamento nos rodados motiva-se principalmente pela demanda de força de tração que determinadas operações e equipamentos exigem, além de variar de acordo com a superfície que os pneus estão em contato. Corroborando esta afirmação, Masiero (2010), definiu em sua pesquisa valores aproximadamente aceitos para patinamento em diferentes superfícies, sendo: 7,60% em pista de concreto, 11,90% em solo firme, 14,60% em solo que possui cobertura vegetal e 16,20% em solo mobilizado.

Macmillan (2002), comenta que a eficiência em tração varia de acordo o índice de patinamento para solos com diferentes capacidades de suporte, sendo tolerados níveis maiores de patinamento em solos menos consistentes para que se atinja valores melhores de eficiência como apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Variação da eficiência de tração em função do patinamento de um trator agrícola operando em três diferentes condições de superfície expressas pelo Índice de Cone (CI)



Fonte: Adaptado de Macmillan, 2002.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área experimental

O trabalho foi desenvolvido no município de Alegrete, localizado na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, sendo o experimento conduzido na área experimental pertencente à Universidade Federal do Pampa com o auxílio de equipamentos do Laboratório de Mecanização Agrícola do Pampa (LAMAP), localizados nas coordenadas 29°47' 23" S e 55°46' 6" O. O solo da área é classificado como um Neossolo litólico eutrófico típico, e encontrava-se no momento do experimento com textura considerada friável.

Figura 3 - Localização da área experimental da Universidade Federal do Pampa



Fonte: Google Earth, 2023.

4.2 Conjunto mecanizado

O conjunto mecanizado utilizado foi composto por um trator modelo TL 75 4X2 TDA (tração simples), equipado com pneus traseiros 18.4-30 R1 e dianteiros 14.4-28 R1, ambos lastrados com 75% de água, e um escarificador de acoplamento montado, 5 hastes com uma potência de aproximadamente 57,42 kW. O conjunto pode ser visualizado na Figura 4.

Figura 4 - Conjunto mecanizado constituído pelo trator TL 75 e escarificador montado de 5 hastes



Fonte: A autora, 2024.

4.2.1 Ficha técnica do trator TL 75

As informações técnicas do trator estão dispostas na Tabela 1:

Tabela 1 - Especificações técnicas do Trator TL 75

Descrição	Características
Ano de fabricação	2011
Motor	D229.4 (4T)
Potência do motor @RPM	57,42 kW \approx 77 cv @2400
Rotação de torque máximo	1400 rpm
Cilindros	4
Transmissão	Sincronizada 12 x 4
Posto de Operação	Plataformado
Tipo de bomba	Engrenagens
Capacidade de levante	3.690 kgf
Capacidade do tanque de combustível	126 L
Peso máximo admissível	4.300 kg

Fonte: New Holland.

4.2.2 Ficha técnica do escarificador

As informações técnicas do escarificador estão dispostas na Tabela 2:

Tabela 2 - Especificações técnicas o escarificador 5 hastes

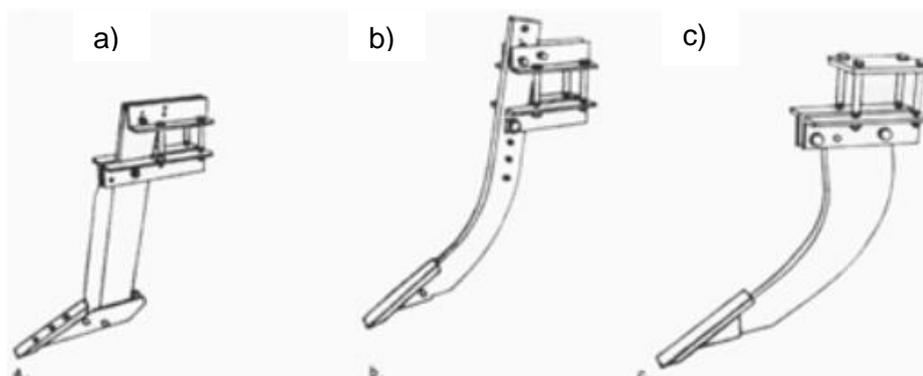
Descrição	Medida
Largura de trabalho	até 3000 mm
Largura total	2420 mm
Largura útil	2250 mm
Comprimento total	3100 mm
Largura de haste	30mm
Largura de ponteira	75 mm
Diâmetro do disco de corte	450 mm
Espaçamento entre hastes	450 mm

Fonte: A autora, 2023.

4.2.2.1 Hastes

A haste do escarificador, constitui-se de uma barra de aço plana, que conforme descreve Balastreire (2007), podem ser denominadas como reta, curva e parabólica, sendo a reta a de maior demanda de tração devido seu perfil de angulação. Os tipos de hastes podem ser visualizadas na Figura 5 abaixo.

Figura 5 - a) Reta b) Curva c) Parabólica



Fonte: Balastreire, 2007.

Por esta classificação, a haste do escarificador em questão, tratou-se de um modelo do tipo parabólica, considerada como sendo a de menor exigência de potência de trabalho, conforme demonstra a Figura 6.

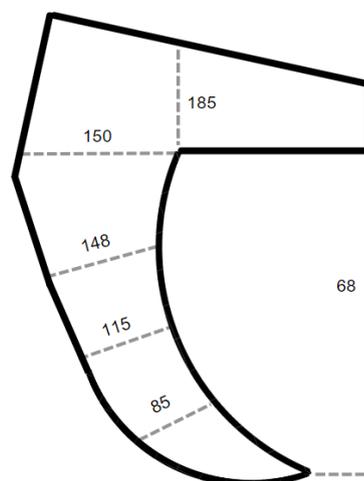
Figura 6 - Haste parabólica integrante do escarificador



Fonte: A autora, 2023.

Para o melhor entendimento das condições de contato do equipamento com o solo, também se fez necessário conhecer as dimensões de haste, a qual está exemplificada na Figura 7.

Figura 7 - Dimensões de haste (mm)



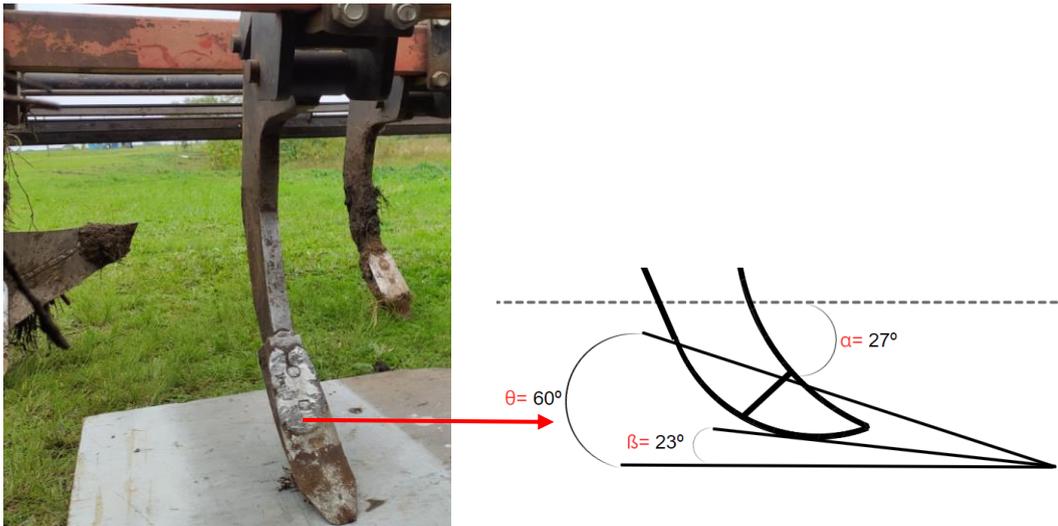
Fonte: A autora, 2023.

4.2.2.2 Ponteiros

Classificou-se ainda, a ponteira que constituiu a haste do escarificador, pois é o

órgão ativo do implemento que atua em contato com o solo. A ponteira do escarificador utilizado neste experimento, possuiu um ângulo de ataque ao solo de 60° , a qual está ilustrada na Figura 8.

Figura 8 - Ângulos de ponteira



Fonte: A autora, 2023.

Onde:

θ – Ângulo de ataque da ponteira;

β – Ângulo de sucção;

α – Ângulo de ataque ao solo

4.2.2.3 Configuração do escarificador

As configurações do escarificador foram definidas como modo original, que caracteriza-se por possuir três hastes na parte central do implemento e duas na parte da frente, e no modo modificado, sendo essa com as ponteiros do escarificador totalmente alinhadas à frente, conforme demonstrado pelas Figuras 9 e 10.

Figura 9 - Escarificador no modo de hastes original



Fonte: A autora, 2024.

Figura 10 - Escarificador no modo de hastes modificadas



Fonte: A autora, 2024.

4.3 Variáveis resposta

4.3.1 Consumo horário de combustível ($l\ h^{-1}$)

Para a determinação do consumo horário de combustível, foi adotada a metodologia utilizada por Batistella (2015) e Araújo *et al.* (2015), a qual consistiu na utilização de um tanque auxiliar que realizou o papel do tanque de combustível do trator. Foi empregue um tanque auxiliar em forma de proveta, com a capacidade de 1 litro de combustível, que ficou fixado lateralmente ao posto de operação do trator. Adicionalmente, duas mangueiras foram acopladas ao tanque auxiliar, sendo que a primeira serviu como caminho da bomba alimentadora até o reservatório auxiliar e a

segunda como conexão para o retorno de combustível dos bicos injetores até o mesmo reservatório. A proveta e as mangueiras podem ser visualizadas na Figura 11.

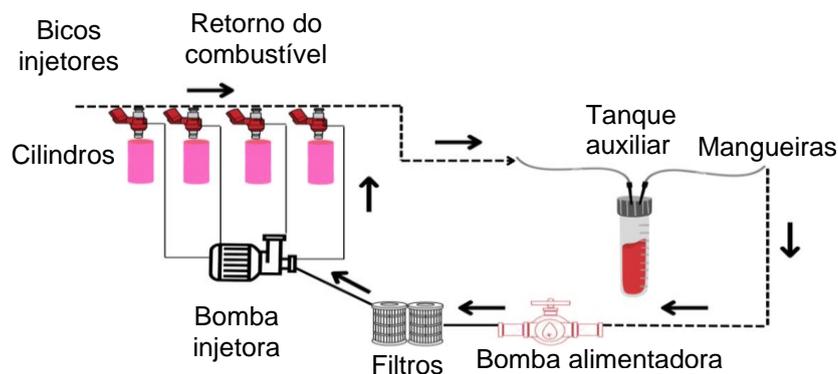
Figura 11 - Proveta de 1 litro utilizada como tanque auxiliar de combustível



Fonte: A autora, 2024.

As leituras de consumo se deram de forma direta na proveta, sendo realizada anterior ao início do trajeto de 30 metros a ser percorrido e imediatamente ao final do trajeto. Desta forma, foi possível a aferição do consumo volumétrico (litros) e também da quantidade que não foi consumida e retornou ao tanque. O esquema da Figura 12, demonstra o fluxo do combustível.

Figura 12 - Esquema do fluxo de combustível quando submetido ao método do tanque auxiliar



Fonte: O autor, 2023.

Para a leitura do consumo do combustível na proveta, o trator percorreu uma distância de 30 metros, e as leituras foram realizadas antes e após o trator percorrer a parcela, no momento da partida, com a proveta ainda abastecida e imediatamente após a parada, identificando o consumo do percurso, conforme a Figura 13.

Figura 13 - Leitura do consumo de combustível sendo realizada diretamente na proveta



Fonte: A autora, 2024.

Após as leituras, o consumo foi determinado através da quantidade de volume observado que foi consumido. Sendo assim, foram utilizadas as equações (1) e (2), empregadas por Lopes *et al.*, (2003).

$$Chv = \frac{C * 3,6}{t} \quad (1)$$

Onde:

Chv – Consumo horário volumétrico (L h⁻¹);

C – Volume consumido na parcela (mL);

t – Tempo de percurso (s);

3,6 – Fator de conversão.

$$Chm = \frac{Chv \times (863,22 - 0,72 \times T)}{1000} \quad (2)$$

Onde:

Chm – Consumo horário em massa (kg h⁻¹);

Chv – Consumo horário em volume (L h⁻¹);

T – Temperatura do combustível (°C);

863,22 e 0,72 – Parâmetros de regressão de densidade;

1000 – Fator de conversão

4.3.2 Consumo específico de combustível

O consumo específico de combustível foi obtido empregando a equação (3), conforme utilizado por Batistella (2015), relacionando o produto da densidade do combustível e do consumo horário pela potência produzida, fazendo-se necessário conhecer a densidade do combustível para a realização do cálculo.

$$Ce = \frac{(D * Chv)}{P} \quad (3)$$

Onde:

Ce – Consumo específico de combustível (g kWh⁻¹);

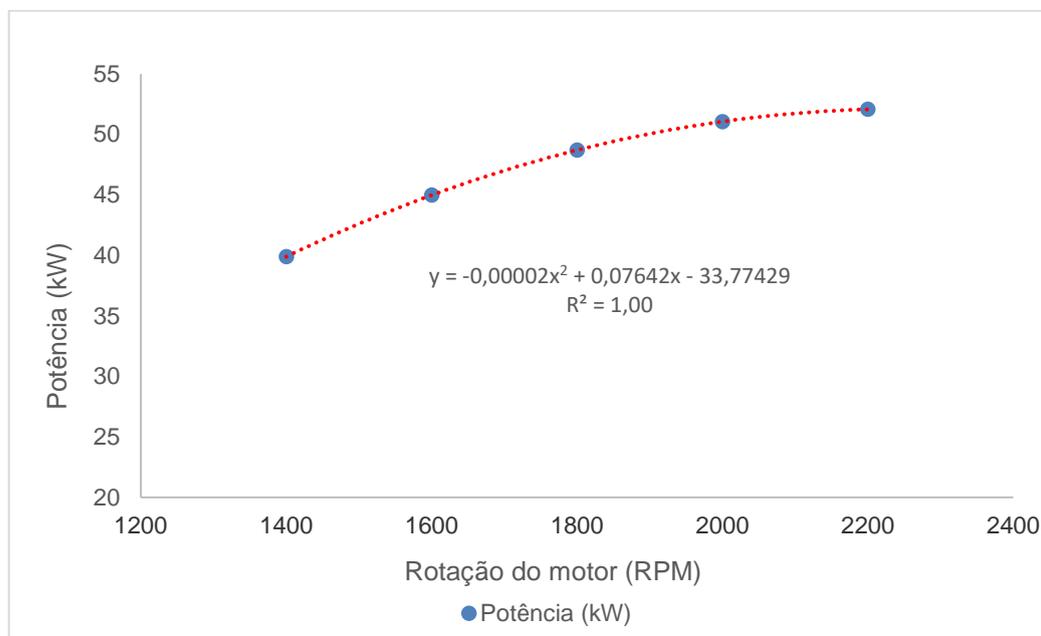
D – Densidade do combustível (g L⁻¹);

Ch – Consumo horário de combustível (L h⁻¹);

P – Potência média produzida (kW)

A potência média produzida (kW) foi estimada pela equação apresentada por Farias (2014), que ilustra a curva de potência obtida após ensaios dinamométricos de um trator TL 75 similar ao utilizado neste estudo. De acordo com os autores, a equação e a figura ilustradas na Figura 11 mostram a relação entre rotação do motor (RPM) e potência produzida pelo trator (kW).

Figura 14 - Linha de tendência para o trator TL 75 considerando a potência média produzida (kW) e a rotação do motor (RPM)



Fonte: Adaptado de Farias, 2014.

4.3.3 Densidade do combustível

Para a determinação da densidade do combustível, foi aplicada a metodologia de LOPES *et al.*, (2003), utilizando a densidade de 0,85.

4.3.4 Capacidade de campo efetiva

Pelas especificações dos mesmos autores, a capacidade de campo efetiva foi calculada através da equação (5), que correlaciona a área útil da parcela a ser trabalhada com o tempo gasto no percurso.

$$CCef = \frac{Atr}{\Delta t} * 0,36 \quad (5)$$

Onde:

CCef – Capacidade de campo efetiva (ha h⁻¹);

Atr – Área útil da parcela trabalhada (m²);

Δt – Tempo gasto no percurso da parcela (s);

0,36 – Fator de conversão

4.3.5 Consumo operacional

O consumo operacional de combustível foi determinado pela equação (6), utilizada por MARTINS *et al.* (2018), a qual depende das variáveis de consumo horário volumétrico e a capacidade de campo efetiva.

$$COC = \frac{Chv}{CCef} \quad (6)$$

Onde:

COC – Consumo de combustível operacional ($L\ ha^{-1}$);

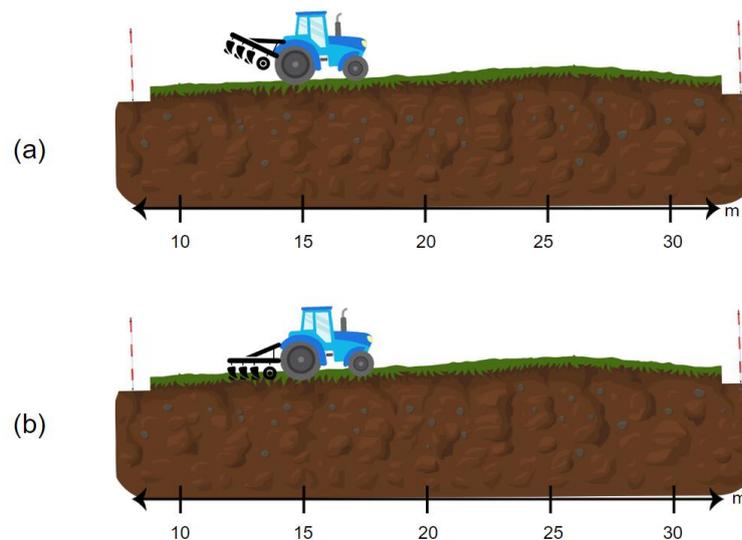
Chv – Consumo horário volumétrico ($L\ h^{-1}$);

CCef – Capacidade de campo efetiva ($ha\ h^{-1}$)

4.3.6 Patinamento do conjunto

Para determinação do patinamento, foi cronometrado o tempo necessário (s) para percorrer uma parcela de 30 metros inicialmente sem carga (implemento levantado) e posteriormente com carga (implemento atuando), conforme demonstra as situações (a) e (b) da Figura 12.

Figura 15 - Ilustração de esquema alternativo para a determinação do patinamento (%) em condições de conjunto sem e com carga



Fonte: A autora, 2023.

Após a realização deste percurso, foram calculadas as velocidades do conjunto com e sem carga e, posteriormente, a percentagem obtida de patinamento através da equação (7), conforme Leite *et al.* (2020).

$$P = \frac{V_{sc} - V_{cc}}{V_{cc}} * 100 \quad (7)$$

Onde:

- P – Patinamento do conjunto (%);
- V_{sc} – Velocidade sem carga (m/s);
- V_{cc} – Velocidade com carga (m/s)

4.4 Tratamentos e análise estatística

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com esquema fatorial de 2x3, formado através da combinação de três níveis de velocidades de operação dispostos na Tabela 3 e duas configurações do escarificador (original e alinhado) com três repetições (2x3x3) em um total de 18 unidades experimentais.

Tabela 3 - Grupos, marchas e rotações utilizadas

Velocidade	Km h ⁻¹	Grupo	Marcha	Rotação
V1	≅ 2,68	A	III	2000
V2	≅ 4,56	B	II	2100
V3	≅ 6,58	B	III	2300

Fonte: O autor, 2024.

As combinações dos fatores para formação dos tratamentos podem ser visualizadas na Tabela 4. Após os dados serem coletados no andamento do experimento, os mesmos foram dispostos em planilha e posteriormente analisados pelo Software SISVAR, sendo realizada a análise de variância (ANOVA) e o Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, para comparar as médias de cada tratamento.

Tabela 4 - Composição dos tratamentos pela combinação de diferentes níveis de velocidade de operação e configurações do escarificador

Tratamento	Configuração	Velocidade (km h ⁻¹)
T1	Original	V1
T2	Original	V2
T3	Original	V3
T4	Modificado	V1
T5	Modificado	V2
T6	Modificado	V3

Fonte: A autora, 2024.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Velocidade com carga (VCG, km h⁻¹)

Analisando a Tabela 5, observa-se que as configurações de haste não tiveram efeitos significativos na velocidade com carga do conjunto trator-escarificador. Entretanto, a velocidade apresentou efeito, conforme já esperado, pois o experimento foi realizado com base em diferentes velocidades teóricas que influenciam nas variáveis analisadas.

Forastiere *et al.* (2015), alternando velocidades de forma crescente em operação de escarificação, constataram que a força de tração do equipamento aumentou conforme a velocidade e profundidade, confirmando que a velocidade é um fator determinante durante a operação.

Tabela 5 - Análise de Variância (ANOVA) para fatores de configuração e velocidade em relação a velocidade de operação (km h⁻¹) de um conjunto trator-escarificador

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Configuração	1	1,59	1,59	3,83	0,07
Velocidade	2	45,49	22,74	54,62	0,00
C*V	2	0,06	0,03	0,07	0,93
Erro	12	4,99	0,41		
Total corrigido	17	52,14			
CV (%)	14,00				

FV: fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma de quadrados, QM: quadrados médios, FC: F crítico, Pr>FC: significância.

A Tabela 6 demonstra a média das velocidades utilizadas durante o experimento. Constata-se que as velocidades de 2,68 km h⁻¹ e 6,58 km h⁻¹ foram obtidas pela marcha III, com rotações de 2000 e 2300 rpm, respectivamente. Já a velocidade de 4,56 km h⁻¹ foi obtida pela marcha II, com rotação a 2100 rpm.

Tabela 6 - Teste de médias para velocidade com carga (km h⁻¹) de um conjunto trator-escarificador

Velocidade	Média
V1	2,68 c
V2	4,56 b
V3	6,58 a

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

5.2 Consumo horário de combustível (CHC, l h⁻¹)

Na Tabela 7, que representa a síntese da análise de variância (ANOVA), pode-se observar que quanto ao modo de configuração das hastes do escarificador, não houve efeito significativo sob o consumo horário de combustível (l h⁻¹).

Para a fonte de variação velocidade, obteve-se 0% de probabilidade de erro, o que indica que as diferentes velocidades utilizadas durante o experimento, tiveram efeitos significativos na variação do consumo horário de combustível.

Tabela 7 - Análise de Variância (ANOVA) para fatores de configuração e velocidade em relação ao consumo horário de combustível (l h⁻¹) de um conjunto trator-escarificador

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Configuração	1	0,11	0,11	0,04	0,83
Velocidade	2	149,49	74,74	31,38	0,00
C*V	2	9,40	4,70	1,97	0,18
Erro	12	28,58	2,38		
Total	17	187,58			
CV (%)	12,99				

FV: fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma de quadrados, QM: quadrados médios, FC: F crítico, Pr>FC: significância.

Na Tabela 8, é demonstrada a análise de comparação de médias pelo Teste de Tukey para o fator velocidade. Foi observado que as velocidades utilizadas diferem entre si, e se pode notar o maior consumo de combustível quando a operação foi realizada na velocidade de 6,58 km h⁻¹ (grupo B, marcha III a 2300 rpm do motor). Observa-se também, um aumento significativo de consumo horário com a velocidade 4,56 km h⁻¹ (grupo B, marcha II com rotação a 2100 rpm). Já o menor consumo encontrado foi utilizando a velocidade 2,68 km h⁻¹ (grupo A, marcha III a 2000 rpm).

Resultados similares foram encontrados por Oliveira (2018), que observou tendência de um maior consumo horário com o aumento da marcha e rotação do motor, quando passou de 2000 rpm na marcha L2 para 2200 rpm com a marcha L3, tendo um aumento de velocidade de operação de aproximadamente 3 km h⁻¹, sendo o consumo elevado de 13,39 L h⁻¹ para 14,90 L h⁻¹. Além disso, o autor também constatou que ao alterar o espaçamento das hastes do escarificador (0,30; 0,40 e 0,50 m), não houve efeitos no consumo horário de combustível.

Os resultados encontrados, corroboram com Almeida (2010), que cita que, quanto maior a marcha trabalhada dentro de uma maior rotação do motor, maior será o consumo de combustível, ou seja, o consumo é menor quando se trabalha com baixa rotação do motor e baixa velocidade, isso pois, segundo Moura (2023), há maior disponibilidade de torque em rotações menores além de reduzir a potência de atrito do motor.

Tabela 8 - Teste de médias entre velocidade (km h^{-1}) e consumo horário de combustível (l h^{-1}) de um conjunto trator-escarificador

Velocidade (km h^{-1})	Média
2,68	8,28 c
4,56	12,01 b
6,58	15,33 a

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

5.3 Consumo Específico (Cesp, g kW h^{-1})

Observando a Tabela 9, é possível verificar que somente o fator velocidade apresentou efeito significativo no consumo específico de combustível.

Tabela 9 - Análise de Variância (ANOVA) para fatores de configuração e velocidade em relação ao consumo específico de combustível (g kW h^{-1}) de um conjunto trator-escarificador

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Configuração	1	21,25	21,25	0,01	0,89
Velocidade	2	97378,65	48689,32	40,00	0,00
C*V	2	4942,75	2471,37	2,030	0,17
Erro	12	14605,95	1217,16		
Total	17	116948,60			
CV (%)	13,02				

FV: fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma de quadrados, QM: quadrados médios, FC: F crítico, Pr>FC: significância.

Na Tabela 10, encontra-se especificado o comportamento de cada velocidade durante a operação. Nota-se que o consumo específico aumentou conforme o aumento de velocidade, resultado também encontrado por Oliveira (2018), que avaliando o desempenho de um conjunto trator-escarificador, obteve acréscimo no consumo específico, quando alternou da marcha 1 ($3,0 \text{ km h}^{-1}$ a 2.000 rpm) para marcha 2 ($6,0 \text{ km}$

h^{-1} a 2.200 rpm), assim como Fernandes *et al.* (2007), que constataram o aumento gradual de consumo utilizando as respectivas velocidades: V1 (2 km h^{-1}), V2 (3 km h^{-1}) e V3 (5 km h^{-1}).

Contraditório a estes resultados, Silveira *et al.* (2019), observou o decréscimo dos valores de consumo específico de combustível ao modo que aumentou a velocidade de 3 km h^{-1} para 7 km h^{-1} . O autor ressalta que, neste caso, a mudança de velocidades foi realizada dentro de uma só rotação, e que, devido o consumo específico de combustível estar relacionado com a potência consumida, a mudança de marcha utilizando rotações menores, influencia na exigência de demanda de potência na barra de tração, o que acarreta na diminuição do consumo específico verificada.

Realizando a comparação com este experimento, observa-se que devido ter sido utilizado rotações de forma crescente, ocorreu o aumento da rotação no volante do motor, implicando no aumento do consumo específico. Como o consumo específico considera o consumo horário, as mudanças nesta variável não foram acompanhadas pela elevação na potência produzida, o que resultou em aumento no consumo específico de combustível.

Tabela 10 - Teste de médias entre velocidade (km h^{-1}) e consumo específico de combustível (g kW h^{-1}) de um conjunto trator-escarificador

Velocidade (km h^{-1})	Média
2,68	180,15 c
4,56	263,48 b
6,58	360,15 a

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

5.4 Capacidade de Campo Efetiva (CCE, ha h^{-1})

A Tabela 11 demonstra as médias obtidas para a variável capacidade de campo efetiva para os fatores de configuração de haste e velocidade de operação. Nota-se que das variáveis analisadas, apenas a velocidade de deslocamento do conjunto trator-escarificador teve efeito de significância.

Tabela 11 - Análise de Variância (ANOVA) para fatores de configuração e velocidade em relação a capacidade de campo efetiva (ha h^{-1}) de um conjunto trator-escarificador

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Configuração	1	0,03	0,03	3,79	0,07
Velocidade	2	1,13	0,56	54,93	0,00
C*V	2	0,00	0,00	0,06	0,93
Erro	12	0,12	0,01		
Total corrigido	17	1,29			
CV (%)	13,99				

FV: fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma de quadrados, QM: quadrados médios, FC: F crítico, Pr>FC: significância.

Analisando as médias do teste de tukey pela Tabela 12, foi possível verificar o aumento da capacidade de campo efetiva, conforme o aumento de marchas e suas respectivas velocidades. Essa análise corrobora com os resultados encontrados por Pequeno *et al.* (2012), que através do acréscimo das velocidades de deslocamento de um conjunto trator-grade diante das marchas mais curtas até as mais longas, constataram a influência no aumento dos valores da capacidade de campo efetiva. Destaca-se que embora ambos os resultados foram obtidos pelo aumento da velocidade, no caso deste experimento, ainda na velocidade denominada como V2 ($4,56 \text{ km h}^{-1}$), a marcha utilizada foi menor que em V1 e V3, porém, a rotação do motor foi de forma crescente.

Adicionalmente, Coutinho (2018), através do estudo do desempenho operacional de um conjunto trator-escarificador, atingiu as melhores condições de capacidade de campo efetiva quando utilizou a rotação de 2200 rpm na velocidade de 6 km h^{-1} , condizendo com o encontrado neste experimento, onde na rotação de 2300 rpm a uma velocidade de aproximadamente $6,58 \text{ km h}^{-1}$, obteve-se o melhor valor de capacidade de campo efetiva.

Tabela 12 - Teste de médias entre velocidade (km h^{-1}) e capacidade de campo efetiva (h ha^{-1}) de um conjunto trator-escarificador

Velocidade (km h^{-1})	Média
2,68	0,42 c
4,56	0,71 b
6,58	1,03 a

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

5.5 Consumo operacional (Cop, l ha⁻¹)

A Tabela 13 apresenta a análise de variância para o consumo operacional, sendo observado que não houve efeitos significativos em relação a configuração das hastes do escarificador e das marchas utilizadas durante o experimento e nenhuma interação entre os fatores avaliados.

Esse resultado também foi encontrado por Fiorese *et al.* (2019), quando avaliaram o desempenho de um conjunto trator-escarificador no preparo do solo, utilizando duas marchas que proporcionaram velocidades entre 4,5 e 6km/h. Reis *et al.* (2017), verificaram ainda que alterando o espaçamento entre hastes de 0,3 m para 0,87 m, não foi observado resultado significativo.

Por outro lado, Gamero (2018), avaliando o desempenho de um conjunto trator-subsolador, constatou que houve um incremento de 101,6% de consumo por hectare, quando o equipamento trabalhou na profundidade de 0,35 m e na marcha que proporciona a menor velocidade, exigindo maior demanda de potência na barra de tração. Essa diferença pode ser explicada pelo escarificador ser um equipamento que atua em menores profundidades quando comparado ao subsolador, fazendo com que seja mobilizada uma maior unidade de área em função da sua maior capacidade de campo efetiva, o que implica no maior consumo operacional.

Tabela 13 - Análise de Variância (ANOVA) para fatores de configuração e velocidade em relação ao consumo operacional de combustível (l ha⁻¹) de um conjunto trator-escarificador

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Configuração	1	20,11	20,11	1,88	0,19
Velocidade	2	64,18	32,09	3,00	0,08
C*V	2	13,46	6,73	0,62	0,54
Erro	12	128,35	10,69		
Total corrigido	17	226,12			
CV (%)	18,92				

FV: fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma de quadrados, QM: quadrados médios, FC: F crítico, Pr>FC: significância.

5.6 Patinamento (%)

Na Tabela 14, observa-se pela análise de variância para o patinamento, que somente as configurações de haste tiveram efeitos significativos. Diferentemente, Silveira (2018) verificou que o patinamento aumentou conforme a velocidade de operação. Nesse caso, o trator trabalhou com ausência de carga, em pista de concreto e em maiores velocidades do que as utilizadas neste experimento. Essas características implicam na alteração do comportamento do trator, devido estar atuando em uma pista relativamente lisa e sem carga, ou seja, não demandando força de tração, sendo a variação de velocidade um importante fator a interferir diretamente no deslocamento do trator.

Tabela 14 - Análise de Variância (ANOVA) para fatores de configuração e velocidade em relação ao patinamento com carga (%) de um conjunto trator-escarificador

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Configuração	1	687,33	687,33	5,52	0,03
Velocidade	2	201,00	100,50	0,808	0,46
C*V	2	81,04	40,52	0,326	0,72
Erro	12	1492,49	124,37		
Total corrigido	17	2461,88			
CV (%)	91,13				

FV: fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma de quadrados, QM: quadrados médios, FC: F crítico, Pr>FC: significância.

Pela Tabela 15, é possível verificar a comparação das médias entre as duas configurações pelo teste de tukey. É constatado que quando o escarificador atuou no modo de hastes modificadas houve diminuição do patinamento do trator, enquanto no modo original, houve um aumento de 67,24% no patinamento. Essa diferença entre as duas configurações pode ser justificada pela interação do órgão ativo com o solo, que se comporta de maneira diferente nos dois modos.

No caso da configuração modificada (todas as hastes alinhadas à frente do implemento), a força de resistência solo-implemento ficou concentrada na parte da frente, causando um desequilíbrio de peso entre o implemento e o trator, resultando em um patinamento de 6,05%, sendo não adequado para as condições, de acordo como classifica Masiero (2010), que para solos mobilizados, considera-se um patinamento aceitável em torno de 16,20%. Além disso, existem outros fatores que podem explicar o

baixo valor de patinamento nesta configuração, como o modelo de haste empregada no escarificador, que conforme já citado, denomina-se uma haste parabólica, a qual requer uma menor demanda de potência de trabalho devido ao ângulo de ataque ao solo ser maior, quando comparada à hastes retas.

Já no modo original (três hastes à frente e duas na parte central do implemento), a distribuição de força foi mais homogênea com as duas hastes inseridas no meio, fazendo com que a força de resistência não acumulasse somente em uma parte do implemento, ainda assim, essa configuração apresentou um patinamento significativamente elevado de 18,41%, mas que ainda assim pode ser considerado mais eficiente que o obtido com a configuração modificada.

Tabela 15 - Teste de médias entre configurações de haste e patinamento (%) de um conjunto trator-escarificador

Configuração	Média
Modificado	6,05 a
Original	18,41 b

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

6 CONCLUSÕES

A maior velocidade teórica obtida, teve maior efeito no comportamento operacional e energético do conjunto trator-escarificador. Proporcionando a maior capacidade de campo efetiva. Visando a economia do consumo horário de combustível, a velocidade ideal de escarificação foi de 2,68 km h⁻¹.

As diferentes posições de hastes do escarificador alteraram o comportamento operacional do trator. O patinamento mais adequado para o tipo de superfície em que se trabalhalhou, foi obtido quando o escarificador atuou com as hastes no modo original.

Para redução do consumo específico de combustível, deve-se alternar as velocidades dentro de uma mesma rotação mais baixa do motor.

Sugere-se para estudos futuros, uma maior investigação testando diferentes modelos e espaçamento de hastes, além de avaliar a insuflagem dos pneus.

REFERÊNCIAS

BALASTREIRE, Luiz Antonio. **Máquinas Agrícolas**, v. 3. 2007. 310 p.

BATISTELLA, Bruna F. **Demanda energética e avaliação da qualidade de aplicação de um pulverizador em diferentes condições de operação**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agrícola) - FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA - UNIPAMPA, Alegrete, 2015.

COELHO, Rubens D.; MIRANDA, Jarbas H.; DUARTE, N. Sergio. Infiltração de água no solo: Parte II Acúmulo de água sobre a superfície do terreno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 142-145, 2000. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/7fDDgpNYd5ZPJ8bCtBZrbrt/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 28 abr. 2023.

COSTA, Enio *et al.* Desenvolvimento de um artefato para atenuação da vibração de corpo inteiro em tratores agrícola. **Revista Energia na Agricultura**, v. 33, p. 22-26, 2018. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/2883/pdf>. Acesso em: 30 mai. 2023.

COUTINHO, Francisco. **Desempenho operacional do conjunto mecanizado trator implemento na operação de escarificação**. Fortaleza, 2018 Monografia (Agronomia) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/35521/1/2018_tcc_fhmcoutinho.pdf. Acesso em: 29 abr. 2024.

CORDEIRO, M. A. L. **Desempenho de um trator agrícola em função do pneu, da lastragem e da velocidade de deslocamento**. 2000. 153 f. Tese (doutorado em agronomia) Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2000.

CORTEZ, Jorge W. *et al.* Efeito residual do preparo de solo e velocidade de deslocamento na operação de semeadura da *Crotalaria juncea*. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 3, p. 357-362. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/995/99516777011.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2023.

DA CAMARA, Felipe Thomaz. **Desempenho operacional de uma máquina para preparo reduzido do solo**. Jaboticabal, 2006. 68 p Dissertação (Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2006. Disponível em: <https://livros01.livrosgratis.com.br/cp013862.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2023

DE ALMEIDA, Robson Andrei S.; SILVA, Carolina A. T.; SILVA, Suedêmio L. Desempenho energético de um conjunto trator-semeadora em função do escalonamento de marchas e rotações do motor. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 3, n. 7, p. 63-70. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/1086/631>. Acesso em: 3 jun. 2023.

DE ASSIS, Renato Lara. **Mecanização agrícola tratores**. 2012. 44 slides. Disponível em: <https://www.bibliotecaagpatea.org.br/agricultura/mecanizacao/livros/TRATORES.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2023.

DE LIMA, Renato P.; DE LÉON, Maurício J.; DA SILVA, Anderson Rodrigo. Comparação entre dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 4, p. 577-581, 2013. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scielo.br/j/rceres/a/VGYDfBgdbQhLrsFxp4pbq7C/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 16 jun. 2023.

DE SOUZA, Fábio R. **Influência da velocidade do tráfego e de sistemas de manejo nas propriedades físicas do solo e nas culturas de soja e girassol**. Dourados, 2012. 96 p Tese (Agronomia) - Fundação Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/432/1/FabioRegisdeSouza.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2023

FARIAS, Marcelo S. **Avaliação de motores de tratores agrícolas utilizando dinamômetro móvel**. Santa Maria, 2014. 162 p Dissertação (Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7576/FARIAS%2c%20MARCELO%20SILVEIRA%20DE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 jun. 2023

FERREIRA, Antonio C. *et al.* Comparação de um material comercial sem especificações técnicas, em relação a um material padronizado, utilizando ensaio mecânico. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 90421-90436, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/20222/16588>. Acesso em: 28 jun. 2023.

FERREIRA, Mauro F.; SCHLOSSER, José F.; NEUJAHN, Eduardo B. Patinamento de pneus diagonais de um trator 4x2 em função da variação de pressão interna e carga na barra de tração. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 6, n. 3, p. 254-257, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/CAST/article/view/339>. Acesso em: 7 jun. 2023.

FERNANDES, Carlos *et al.* Avaliação de demanda energética numa operação conjugada de preparo ao solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 54, p. 133-139, março 2007. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/3052/305226740004.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2024.

FIORESE, Diego *et al.* Desempenho de um trator agrícola em operações de preparo de solo no estado de Mato Grosso. **Nativa, Sinop**, v. 7, 2019. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/7554/5645>. Acesso em: 14 mai. 2024.

FILHO, Abílio; SANTOS, João. **Apostila de Máquinas Agrícolas**. Bauru, 2001. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/>

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Literatura/maqagri_unesp.pdf. Acesso em: 19 jun. 2024.

FILHO, Antonio *et al.* Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/kvSTyqDWfnCQZDNCkxnNJBf/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 2 mai. 2024.

FINGER, Gustavo S. W.; MATOS, Jan-Andreas F. **Conjunto de dados de veículos utilizados na colheita e transporte de cana-de-açúcar para inventário de ciclo de vida**: Estudo de caso. Curitiba, 2015. 126 p Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10326/1/CT_DAMEC_2016_2_50.pdf. Acesso em: 31 mai. 2023.

FIORESE, Diego *et al.* Desempenho de um trator agrícola em operações de preparo de solo no estado de Mato Grosso. **Nativa, Sinop**, v. 7, 2019. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/7554/5645>. Acesso em: 14 mai. 2024.

FORASTIERE, Paulo *et al.* Efeito da velocidade e da profundidade de escarificação no desempenho de um trator agrícola 4x2 TDA. *In: XLIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA*, n. 44. 2015. Anais eletrônicos [...] São Pedro. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://conbea.org.br/anais/publicacoes/conbea-2015/anais-2015/mma-maquinas-e-mecanizacao-agricola/2330-efeito-da-velocidade-e-da-profundidade-de-escarificacao-no-desempenho-de-um-trator-agricola-4-x-2-tda/file. Acesso em: 26 jun. 2024.

FORASTIERE, Paulo Roberto. **Parâmetros de desempenho do trator agrícola modificado "TRANSFORMAX"**. Viçosa, 2016. 90 p Dissertação (Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/8204/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2023.

FRANCETTO, Tiago R. *et al.* Comportamento operacional de associações entre sulcadores e disco de corte para sistema de semeadura direta. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, p. 542-554, 2015. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://www.scielo.br/j/eagri/a/cCKJ64L7Xbk4Zwp8SfJBxMv/?lang=pt&format=pdf. Acesso em: 31 mai. 2023.

FRANCETTO, Tiago R. *et al.* Consumo horário de combustível em função de diferentes discos de corte associados a uma haste sulcadora. *In: XLIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA 2015*. 2015, São Pedro - SP, 2015. 5 p. Disponível em: chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://www.researchgate.net/profile/Tiago

Francetto/publication/282013682_Consumo_horario_de_combustivel_em_funcao_de_diferentes_discos_de_corte_associados_a_uma_haste_sulcadora/links/5601682508aeafc8ac8c9c16/Consumo-horario-de-combustivel-em-funcao-de-diferentes-discos-de-corte-associados-a-uma-haste-sulcadora.pdf. Acesso em: 1 jun. 2023.

FRANCHINI, Julio C. *et al.* Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná. **Embrapa soja**, Londrina - PR, 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/897259>. Acesso em: 25 mai. 2023.

FURLANI, Carlos Eduardo A.; ZERBATO, Cristiano. Operação e manutenção de escarificadores e subsoladores. **SENAR**, Paraná, 2020. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/engenhariarural/CARLOSEDUARDOANGELIFURLANI/apostila_operacao-e-manutencao-de-escarificadores-e-subsoladores.pdf. Acesso em: 31 mai. 2023.

FURLANI, Carlos Eduardo A.; SILVA, Rouverson. **Compactação do solo**. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/engenhariarural/CARLOSEDUARDOANGELIFURLANI/compactacao.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2023.

GARBIATE, Marcos Vinícios. **Qualidade estrutural de latossolo vermelho distrófico sunmetido à escarificação em área de colheita mecanizada em cana-de-açúcar**. Dourados-MS, 2013 Dissertação (Agronomia) - FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/amprefix/554/1/MarcosViniciosGarbiate.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2023.

GAMERO, Alessandra C. **Desempenho operacional de um subsolador de hastes com curvatura lateral ("paraplow"), em função de diferentes velocidades de deslocamento e profundidades de trabalho**. Dissertação (Agronomia) - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO, Botucatu-SP, 2008. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90467/gamero_ac_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 4 mai. 2023.

GABRIEL FILHO, Antonio *et al.* Desempenho de um trator operando em solos com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 781-789, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/LQRFPmwmP6QGd5LR8zKL8mM/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 10 jun. 2023.

GIRARDELLO, Vitor C. **Atributos físicos do solo e a produtividade de soja e milho em áreas sob tráfego controlado de máquinas agrícolas**. Tese (Engenharia Agrícola) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, Santa Maria, 2014. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/3616/GIRARDELLO%20VITOR%20CAUDURO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Acesso em: 10 abr. 2023.

GONÇALVES, Gabriel S. **Mapeamento da compactação do solo em sistema de plantio direto na região da estrada de ferro**. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) - Centro Universitário de Anápolis UNIEVANGÉLICA, Anápolis, 2019. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/9475/1/Gabriel%20Silveira%20Gon%c3%a7alves%20TCC.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2023.

HERZOG, Daniela. **Parâmetros de projeto e desempenho de tratores agrícolas a partir do banco mundial de ensaios**. Santa Maria, 2020. 82 p Dissertação (Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/22933/DIS_PPGEA_2020_HERZOG_DANIELA.pdf?sequence=1. Acesso em: 9 jun. 2023.

KLAVER, Pablo P. C. **Programa computacional para otimização da lastragem de tratores agrícolas**. Campos dos Goytacazes, 2013. 80 p Tese (Mecanização Agrícola) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2013. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/producao-vegetal/wp-content/uploads/sites/10/2014/08/Pablo-Klaver.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2023.

LACERDA, Elcio G. *et al.* Determinação da força de tração e consumo de combustível de um trator de pneus em função da profundidade de adubação em plantio direto de feijão. *In: XLII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA 2013*. 2013, Campo Grande - MS, 2013. 4 p. Disponível em: <https://conbea14.sbea.org.br/2014/livro/R0369-2.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2023.

LANÇAS, Kléber P. *et al.* Ensaio de Tratores Agrícolas. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza-CE, v. 51. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scielo.br/j/rca/a/KLwhfzj5sLRBjJjW5chHqqC/?lang=en&format=pdf>. Acesso em: 26 mai. 2023.

LANÇAS, Kleber P. Subsolação ou escarificação. **Revista Cultivar Máquinas**, 2015. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/subsolação-ou-escarificação>. Acesso em: 2 mai. 2023.

LEITE, Daniel Mariano *et al.* Avaliação de patinação em tratores. **Revista Cultivar Máquinas**, v. 164, 2020. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/avaliacao-de-patinagem-em-tratores>. Acesso em: 5 jun. 2023.

LIMA, Claudia Liane. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. São Paulo. 70 p Tese (Agronomia) - Universidade de São Paulo, 2004. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-24052004-160909/publico/claudia.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2023.

LOPES, Eduardo S. *et al.* Avaliação da umidade na compactação do solo submetido ao

tráfego de máquinas de colheita florestal. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 35, p. 659-667, 2011. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scielo.br/j/rarv/a/zZMQ89ZcH7jYfSb8Lz7yxFJ/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 15 abr. 2023.

LOPES, Afonso *et al.* 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**, v. 7, p. 382-386, 2003. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/FmBW5sD3JWd8bFNjCKWqYny/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 23 jun. 2023.

MACEDO, Deivielison X. S. *et al.* Quando utilizar subsolador e escarificador. **Revista Cultivar Máquinas**, 2020. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/quando-utilizar-subsolador-e-escarificador>. Acesso em: 23 mai. 2023.

MACHADO, Pedro L. O. A. Compactação do solo e crescimento de plantas como identificar, evitar e remediar. **Embrapa**, dez. 2003. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/338323/1/doc562003compactacaosolo.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2023.

MACHADO, Thiago M. *et al.* Estimativa de gasto energético da operação de subsolagem em profundidades variáveis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 1121-1125, 2015. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/GXvpLGfkppgFWpyVL5khyvD/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 30 mai. 2023.

MACMILLAN, R. H. The mechanics of tractor-implement performance: theory and worked examples: a textbook for students and engineers. 2002. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://rest.neptune-prod.its.unimelb.edu.au/server/api/core/bitstreams/1fb33cfd-03a2-523e-9958-bfcceebc9ef5/content>. Acesso em: 29 jun. 2023.

MARTINS, Murilo B. *et al.* Otimização energética de um trator agrícola utilizando normas técnicas em operações de gradagem. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 26, n. 01, p. 52-57, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Kleber-Lancas/publication/324955559_OTIMIZACAO_ENERGETICA_DE_UM_TRATOR_AGRICOLA_UTILIZANDO_NORMAS_TECNICAS_EM_OPERACOES_DE_GRADAGEM/links/5b8d41184585151fd145478e/OTIMIZACAO-ENERGETICA-DE-UM-TRATOR-AGRICOLA-UTILIZANDO-NORMAS-TECNICAS-EM-OPERACOES-DE-GRADAGEM.pdf. Acesso em: 13 jun. 2023.

MASIERO, Fabrício C. **Determinação do rendimento da barra de tração de tratores agrícolas com tração dianteira auxiliar (4x2 TDA)**. Botucatu, 2010. 91 p. Dissertação - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2010. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90491/masiero_fc_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 9 jun. 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Idagro maq**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/idagro>. Acesso em: 2 jun. 2023.

NEW HOLLAND. **Série TL**: Tratores. New Holland. 2018. 2 p. Disponível em: <https://assets.cnhindustrial.com/nhag/iar/pt-br/Documents/newholland-agriculture-tratores-TL.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2023.

NOGUEIRA FILHO, Hércules; HAMANN, Jonas J. **Mecanização Agrícola**. Santa Maria: Rede e-Tec Brasil, 2016. 90 p. Disponível em: <https://www.bibliotecaagpatea.org.br/agricultura/mecanizacao/livros/APOSTILA%20MECANIZACAO%20AGRICOLA%20E%20TEC.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2023.

OLIVEIRA, Jean. **Desempenho energético de um trator 4x2 TDA em operação de escarificação, em função da marcha de trabalho, tipo de ponteira e espaçamento entre hastes..** Fortaleza Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia), 2018. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/35429/1/2018_tcc_jlpoliveira.pdf. Acesso em: 13 mai. 2024.

RADEMANN, Lucas; TRENTIN, Romario; ROBAINA, Luis. Zoneamento Geoambiental do município de Cacequi, Rio Grande do Sul. **Geosul**, Florianópolis, v. 33, p. 85-104, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/2177-5230.2018v33n66p85/36052>. Acesso em: 14 mai. 2024.

REICHERT, José Miguel; SUZUKI, Luis Eduardo A. S.; REINERT, Dalvan José. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos Ciência do Solo**, p. 5-49 - 134, 2007. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://fiscadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Producao_Artigos/2007_Topicos.pdf. Acesso em: 5 abr. 2023.

REIS, Maria *et al.* Desempenho do conjunto trator-escarificador em função da profundidade de trabalho e espaçamento das hastes. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, n. XLVI. 2017, Maceió. Disponível em: <https://conbea.org.br/anais/publicacoes/conbea-2017/livros-2017/mma-maquinas-e-mecanizacao-agricola-5/1324-desempenho-do-conjunto-trator-escarificador-em-funcao-da-profundidade-de-trabalho-e-espacamentos-das-hastes/file>. Acesso em: 6 mai. 2024.

RICHART, Alfredo *et al.* Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26. 24 p. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744077016.pdf>. Acesso em: 6 mai. 2024.

ROSA, David 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. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.scielo.br/j/pab/a/HmZGbs98CY6M4FXhCGFQCnR/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 23 mai. 2023.

RUSSINI, Alexandre. **Estimativa do desempenho de tratores agrícolas em campo e pista a partir do ensaio dinamométrico**. Santa Maria, 2012. 142 p Tese (Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/3599/RUSSINI%2c%20ALEXANDRE.pdf?sequence=1&isAllowed=>. Acesso em: 8 jun. 2023.

SASAKI, Cassiano M. **Desempenho operacional de um subsolador em função da estrutura, do teor de argila e de água em três Latossolos**. Piracicaba, 2005. 95 p Tese (Engenharia Florestal) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-15062005-150804/publico/cassiano.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2023.

SEREIA, Rodrigo. **Qualidade do solo em sistemas consorciados de milho, capim-marandu, e feijão-gandu e sobressemeadura da aveia para pastejo de cordeiros**. Botucatu, 2017 Tese - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/da46a84b-1b8b-4643-b7c1-7f63af79da3d/content>. Acesso em: 13 mai. 2024.

SILVA, Jose Geraldo. **Manejo do solo**. Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo/arroz-de-terras-altas/manejo-do-solo>. Acesso em: 29 mai. 2023.

SILVA, Rouverson P *et al.* **Compactação do solo, escarificação e subsolagem**. Unesp. Jaboticabal-SP. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/engenhariarural/rouversonpereiradasilva/apostila-compactacao-subsolador-e-escarificador.pdf>. Acesso em: 2 mai. 2023.

SILVA, Rouverson P.; FURLANI, Carlos Eduardo A. **Tratores agrícolas**. 2006. 38 slides. Disponível em: https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/engenhariarural/CARLOSEDUARDOANGELIFURLANI/3_aula-tratores_2006.pdf. Acesso em: 31 mai. 2023.

SILVA, Vanderlei R.; REINERT, Dalvan José; REICHERT, José Miguel. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, p. 795 - 801, 2000. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scielo.br/j/cr/a/JYMz74ZbyFkrJqkJ7XKn8mD/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 6 abr. 2023.

SILVEIRA, João *et al.* Demanda energética de uma semeadora-adubadora em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do motor. **Revista Ciência Agronômica**, Ceará, v. 44, p. 44-52, 2013. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scielo.br/j/rca/a/jrvpKdBBQ9QcZ4DtnNJdkPf/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 19 jun. 2024.

SILVEIRA, Walisson M. **Eficiência energética de um trator agrícola 4x2 em pista de concreto em função do desgaste dos pneus e da velocidade de**

deslocamento. Fortaleza, 2018. 73 p Dissertação (Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/38124/5/2018_dis_wmsilveira.pdf. Acesso em: 12 jun. 2023.

SPERA, Silvio Tulio *et al.* Escarificação em áreas de lavouras e pastagens em Mato Grosso: quando e como efetuar. **Circular Técnica Empraba**, Sinop-MT, 2018. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/187527/1/2018-cpamt-silvio-spera-escarificacao-lavoura-pastagem-mato-grosso.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2023.

STONE, Luis F.; GUIMARÃES, Cleber M.; MOREIRA, José A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. Efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 207-212, 2002. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/220121/1/2002.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2023.

TAVARES, Tiago O. *et al.* Descompactação do solo com subsoladores e escarificadores. **Revista Cultivar Máquinas**, 2020. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/descompactacao-do-solo-com-subsoladores-e-escarificadores>. Acesso em: 29 mai. 2023.

TIECHER, Tales. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre, 2016. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/149123/001005239.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 abr. 2023.

VARELLA, Carlos Alberto A. **Introdução ao estudo dos tratores agrícolas**. 2012. 47 slides. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/apresenta/introducao%20ao%20estudo%20dos%20tratores%20agricolas.pdf. Acesso em: 29 mai. 2023.