



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**LUIZ GONZAGA DOS SANTOS FILHO**

**DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UM TRATOR 4X2 TDA EM OPERAÇÃO DE  
ESCARIFICAÇÃO, EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE E DOS DESGASTES DOS  
PNEUS**

**FORTALEZA**

**2019**

LUIZ GONZAGA DOS SANTOS FILHO

DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UM TRATOR 4X2 TDA EM OPERAÇÃO DE  
ESCARIFICAÇÃO, EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE E DOS DESGASTES DOS PNEUS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S236d Santos Filho, Luiz Gonzaga dos.  
Desempenho operacional de um trator 4x2 TDA em operação de escarificação, em função da velocidade e dos desgastes dos pneus / Luiz Gonzaga dos Santos Filho. – 2019.  
50 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2019.  
Orientação: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.

1. Força de tração. 2. Deslizamento de pneus. 3. Ensaio de Máquinas. I. Título.

CDD 630

---

LUIZ GONZAGA DOS SANTOS FILHO

DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UM TRATOR 4X2 TDA EM OPERAÇÃO DE  
ESCARIFICAÇÃO, EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE E DOS DESGASTES DOS PNEUS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Carlos Alberto Viliotti  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. José Wally Mendonça Menezes  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFCE)

A Deus.

Aos meus pais, irmãos e amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

À FUNCAP, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro, pela excelente orientação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – PPGEA

Aos colegas do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas – LIMA, pela amizade e aprendizado.

Aos meus amigos do ESA - Engenharia de Sistemas Agrícolas que sempre contribuíram com ideais positivas e parcerias

Aos professores participantes da banca examinadora Prof. Dr. Carlos Alberto Viliotti e Prof. Dr. José Wally Mendonça Menezes pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

E aos demais professores do mestrado e do PPGEA que contribuíram com aprendizado, sabedoria e críticas construtivas.

“Se a educação sozinha não pode transformar a sociedade, tampouco sem ela a sociedade muda.”

(Paulo Freire)

## RESUMO

Com a necessidade de aumentar a produtividade no campo durante períodos históricos, se tornou necessário o avanço da mecanização que ao longo dos anos veio substituindo o trabalho manual e tração animal. A velocidade de deslocamento do trator e os conjuntos pneumáticos utilizados são fatores que afetam diretamente o desempenho de máquinas agrícolas. Buscando saber a eficiência dos pneus agrícolas e velocidade em operação de preparo do solo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho energético de um trator 4x2 TDA em função da velocidade de deslocamento, utilizando conjunto de pneus novos e desgastados realizando a operação de escarificação. O trabalho foi conduzido na área experimental do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas – LIMA, pertencente a UFC, em solo firme, utilizando um trator 4x2 TDA Valtra BM120, com potência de 88,26 kW (120 cv), equipado com lastros líquidos e sólidos para a realização da operação. Utilizou-se dois conjuntos de pneus, novos e desgastados. Avaliou-se o consumo horário (CH) e específico (CE) de combustível, potência (PB) e rendimento na barra de tração (RB), coeficiente de tração (CT) e patinamento. Os dados foram adquiridos com o auxílio de sensores instalados por todo o trator e armazenados em um *datallogger*. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), num esquema fatorial 3x2, com três velocidades de deslocamento (2,5; 3 e 5 km.h<sup>-1</sup>) e dois tipos de conjuntos de pneus (novos e desgastados), com cinco repetições, em seguida realizada a análise de variância e teste de médias. Não houve interação significativa no pneu, velocidade e interação pneu x velocidade para o consumo horário e específico de combustível. A velocidade de 5 km.h<sup>-1</sup> apresentou diferença significativa nas variáveis de potência na barra de tração e rendimento na barra de tração. No coeficiente de tração, o conjunto de pneus novos apresentaram melhor resultado. O patinamento apresentou-se maior em pneus desgastados. Conclui-se que os jogos de pneus novos adotando a maior velocidade de deslocamento são os mais recomendáveis a se usar.

**Palavras-chave:** Ensaio de máquinas. Força de tração. Deslizamento de pneus.

## ABSTRACT

With the need to increase productivity in the field during historical periods, it became necessary the advancement of mechanization that over the years has replaced manual labor and animal traction. The tractor's traveling speed and the pneumatic assemblies used are factors that directly affect the performance of agricultural machinery. The aim of this study was to evaluate the energy performance of a 4x2 TDA tractor as a function of the displacement speed, using a set of new and worn tires, performing the scarification operation. The work was carried out in the experimental area of the Laboratory of Investigation of Accidents with Agricultural Machines - LIMA, belonging to UFC, in solid ground, using a tractor 4x2 TDA Valtra BM120, with power of 88,26 kW (120 hp), equipped with ballast liquids and solids to perform the operation. Two sets of new and worn tires were used. The hourly (CH) and specific (EC) consumption of fuel, power (PB) and yield on the traction bar (RB), traction coefficient (CT) and skating were used. The data were acquired with the aid of sensors installed throughout the tractor and stored in a datalogger. The design was a completely randomized design (DIC), in a 3x2 factorial scheme, with three displacement speeds (2.5, 3 and 5 km.h<sup>-1</sup>) and two types of tire sets (new and worn) with five repetitions, followed by analysis of variance and test of means. There was no significant interaction in the tire, speed and tire interaction x speed for hourly and specific fuel consumption. The velocity of 5 km.h<sup>-1</sup> showed a significant difference in the variables of power in the traction bar and yield in the traction bar. In the coefficient of traction, the set of new tires presented better results. Skating was higher in worn tires. It is concluded that the new tire sets adopting the highest speed of displacement are the most advisable to use.

**Keywords:** Traction strength. Tires slippage. Testing machines.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Forças que atuam no solo em superfície sólida .....	16
Figura 2	– Forças que atuam numa roda em solo solto .....	17
Figura 3	– Constituição do rodado agrícola .....	19
Figura 4	– Classificação do pneu de acordo com ALAPA 2013 .....	20
Figura 5	– Composição do escarificador .....	24
Figura 6	– Área experimental .....	27
Figura 7	– Vista lateral do trator utilizado da marca VALTRA .....	28
Figura 8	– Suporte para medição das garras .....	31
Figura 9	– Vista lateral do subsolador à ser utilizado da marca MARCHESAN AST/MATIC 450 .....	32
Figura 10	– Sensores instalados nos rodados .....	33
Figura 11	– Célula de carga instalada na barra de tração .....	34
Figura 12	– Fluxômetro utilizado durante o experimento .....	36
Figura 13	– Datalogger utilizado durante o experimento .....	37
Figura 14	– Curvas características de operação para diferentes valores de n para um nível de significância $\alpha = 0,05$ .....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Umidade e resistência à penetração do solo .....	28
Tabela 2	– Peso do trator sem lastro .....	29
Tabela 3	– Relação peso/potência por tipo de operação .....	29
Tabela 4	– Distribuição de peso por eixo em função do tipo de transmissão acoplamento .....	29
Tabela 5	– Especificação dos pneus .....	30
Tabela 6	– Combinação de marcha e rotação utilizadas no experimento .....	27
Tabela 7	– Esquema do delineamento experimental .....	39
Tabela 8	– Análise de variância com valor do teste F, os Coeficientes de Variação (CV) e os valores de média, assimetria e curtose para cominação de 3 velocidades de deslocamento do trator e dois níveis de desgaste dos pneus em operação de escarificação para os testes de Consumo Horário de combustível (CH), Consumo Específico (CR), Potência na Barra de Tração (PB), Rendimento da Barra de Tração (RB), Coeficiente de Tração (CT) e Patinação (Pat) ....	40
Tabela 9	– Valores médios da potência exigida na barra de tração (PB), em KW, para as três velocidades durante a operação de escarificação .....	42
Tabela 10	– Valores médios do rendimento na barra de tração (RB), em %, para as três velocidades durante a operação de escarificação .....	43
Tabela 11	– Valores médios do coeficiente de tração (CT), em %, para os dois níveis de desgaste de pneus (novo e desgastado .....	44
Tabela 12	– Valores médios do patinação, em % para os diferentes tipos de pneus .....	45

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Avanço da aecanização agrícola</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Tração de máquinas agrícolas</b> .....	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>Conjuntos pneumáticos</b> .....	<b>19</b>
<b>2.4</b>	<b>Preparo do solo</b> .....	<b>22</b>
<b>2.5</b>	<b>Operações de preparo do solo</b> .....	<b>23</b>
2.5.1	Escarificação .....	23
<b>2.6</b>	<b>Desempenho de máquinas agrícolas</b> .....	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>27</b>
<b>3.1</b>	<b>Local de trabalho</b> .....	<b>27</b>
<b>3.2</b>	<b>Caracterização do solo da área de estudo</b> .....	<b>27</b>
<b>3.3</b>	<b>Caracterização do trator</b> .....	<b>28</b>
<b>3.4</b>	<b>Conjunto pneumático</b> .....	<b>30</b>
<b>3.5</b>	<b>Caracterização do implemento</b> .....	<b>31</b>
<b>3.6</b>	<b>Velocidade teórica</b> .....	<b>32</b>
<b>3.7</b>	<b>Parâmetros avaliados</b> .....	<b>32</b>
3.7.1	Velocidade de deslocamento .....	32
3.7.2	Patinagem dos rodados .....	33
3.7.3	Força de tração na barra .....	34
3.7.4	Potência na barra de tração .....	34
3.7.5	Consumo horário de combustível .....	35
3.7.6	Consumo específico de combustível .....	36
<b>3.8</b>	<b>Sistema de aquisição de dados</b> .....	<b>37</b>

<b>3.9</b>	<b>Delineamento experimental .....</b>	<b>37</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1</b>	<b>Consumo horário e específico de combustível .....</b>	<b>41</b>
<b>4.2</b>	<b>Potência na barra de tração .....</b>	<b>42</b>
<b>4.3</b>	<b>Rendimento na barra de tração .....</b>	<b>43</b>
<b>4.4</b>	<b>Coefficiente de tração .....</b>	<b>44</b>
<b>4.5</b>	<b>Patinamento .....</b>	<b>44</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com a necessidade de aumentar a produtividade no campo durante períodos históricos, se tornou necessário o avanço da mecanização que ao longo dos anos veio substituindo o trabalho manual e tração animal. A utilização de máquinas agrícolas em produções rurais veio trazendo benefícios como aumento da produção, redução de tempo para realização das operações de cultivo e redução dos esforços do trabalhador, acarretando assim em melhoras não só para as lavouras como também para a sociedade.

Grande parte das atividades envolvendo máquinas agrícolas são realizadas a partir do conhecimento empírico o que acaba realizando uma operação de menor qualidade, tendo um maior gasto de combustível e desgaste dos rodados, assim não garantindo uma operação com o máximo de eficiência possível não importa qual ela seja

Para obtermos um melhor conhecimento do comportamento destes equipamentos em condições de trabalho, se torna necessário a realização de ensaios de campo, principalmente no que se diz respeito a tração, consumo de combustível e potência, afim de gerar informações importantes que serão repassadas para os agricultores e sociedade, a partir da avaliação do desempenho energético de máquinas e implementos agrícolas.

A operação de escarificação é utilizada para romper camadas subsuperficiais compactadas. A melhoria na estrutura do solo pode também aumentar a umidade e a disponibilidade de nutrientes, o que favorece o aumento da produtividade das culturas. À velocidade de deslocamento do trator e os conjuntos pneumáticos utilizados são fatores que afetam diretamente o desempenho de máquinas agrícolas. Os pneus agrícolas são um dos principais componentes do trator e da maioria das máquinas agrícolas, tendo relevante importância nos custos operacionais de campo e, principalmente, nos custos finais de sua fabricação, podendo chegar até a um terço do seu valor final.

Desta maneira, o presente trabalho pretende avaliar o desempenho energético de um trator agrícola 4x2 TDA em operação de preparo de solo variando a velocidade de deslocamento (2,5, 3 e 5 km.h<sup>-1</sup>) e o nível de desgaste dos pneus (conjunto de pneus novos e conjunto de pneus desgastados).

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Avanço da mecanização agrícola

As máquinas agrícolas foram inseridas na agricultura como instrumentos de trabalho substituindo a força animal nos trabalhos de tração com os objetivos de aumentar a produtividade do agricultor tornando o trabalho mais atraente e menos árduo (BARGER *et al*, 1966; BORGES, 2016).

As máquinas agrícolas surgiram no continente Europeu durante o período da I Revolução Industrial, devido a necessidade de garantir uma maior produtividade no campo reduzindo os custos de produção e tempo de plantio e colheita. Durante o período de Guerra Cívil no continente americano, os Estados Unidos tomaram a dianteira na invenção de máquinas agrícolas de forma agressiva para que fosse capaz de suprir a necessidade da população e dos seus combatentes (BARICELO, 2015).

A expansão do setor de máquinas agrícolas no Brasil ocorreu em sucessão da II Guerra mundial, anteriormente a esse período era utilizado apenas implementos e arados de tração animal produzidos de forma artesanal. Tratores passaram a ser usados em alguns estados da região sudeste e sul principalmente durante o ciclo de café (BARICELO, 2015).

A demanda de máquinas agrícolas automotrizes era integralmente suprida por meio de importações até 1960. O início da indústria de máquinas agrícolas no Brasil se deu principalmente á necessidade de elevar a produtividade da agricultura brasileira, facilitando a reposição de peças e assistência técnica (VEGRO, FERREIRA, CARVALHO; 1997).

Ao longo dos anos o trator passou a atuar com mais funcionalidades, o que anteriormente atuava apenas no emprego de força de tração passou a assumir outras funções tal como oferecer potência para a movimentação de outras máquinas e implementos para facilitar a realização de atividades agrícolas no campo (BORGES, 2016).

A agricultura brasileira vem se tornando cada vez mais mecanizada devido a modernização que se adapta as necessidades do mercado (VASCONCELOS, 2003). Schlosser *et al* (2005) informa que os tratores vem se tornando mais leves devido o melhor dimensionamento do chassi eliminando assim materiais desnecessários e reduzindo os custos de produção.

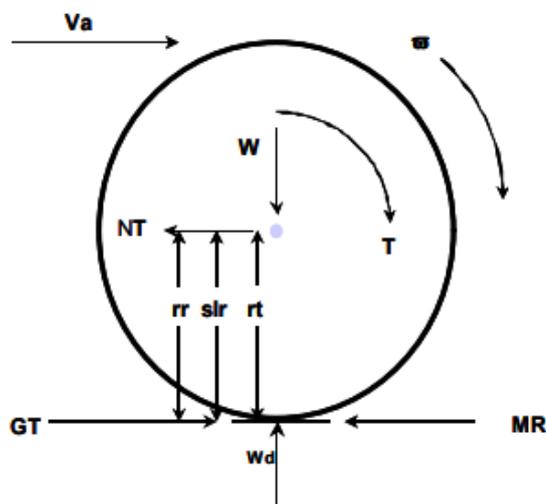
## 2.2. Tração de máquinas agrícolas

A tração é definida como a força, na mesma direção e sentido do deslocamento produzido por um trator na barra de tração, a força na barra depende da potência do trator da máquina agrícola, altura e posição dos engates da barra, da distribuição de peso sobre os rodados e da superfície do solo. As rodas pneumáticas são os dispositivos de tração nas máquinas agrícolas responsáveis pela eficiência do uso dessas forças (SRIVASTAVA et al., 1996).

Existe uma importante diferença entre o desempenho do trator e o desempenho da tração. Para se obter o desempenho de tração é necessário conhecer a potência disponível no dispositivo de tração, o desempenho do trator é proporcional ao desempenho dos mecanismos de tração, mas não igual a ele (ZOZ *et al.*, 2002).

Uma compreensão da mecânica da tração é fundamental para entender as diferenças entre o desempenho de tração e o desempenho do trator. As forças básicas existentes em uma roda motorizada para o caso simples de uma roda sólida em uma superfície dura são mostradas na figura 1. A entrada de torque ( $T$ ) desenvolve uma tração bruta ( $GT$ ) atuando na superfície de contato. Parte da tração bruta é necessária para superar a força de resistência ao movimento da roda ( $MR$ ), que inclui forças internas e externas (ZOZ & GRISSO, 2003).

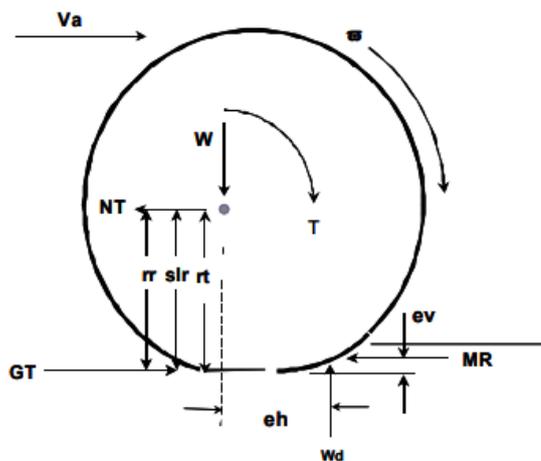
Figura 1 - Forças que atuam no solo em superfície sólida



- $V_a$  = Velocidade real
- $W_d$  = Reação da superfície
- $W$  = Carga na roda
- $T$  = Torque
- $NT$  = Tração líquida (tração real)
- $r_r$  = Raio de rolamento
- $s_{lr}$  = Raio carregado, estático
- $GT$  = Tração total (tração teórica)
- $Mr$  = Resistência ao rolamento
- $\omega$  = Velocidade angular

Entretanto em situações de trabalho de campo o solo não se apresenta 100% duro e sim solto, nesse estado de superfície, o solo e a roda sofrem deformações resultando em forças e momentos como os mostrados na figura 2.

Figura 2 - Forças que atuam numa roda em solo solto



$V_a$  = Velocidade real

$W_d$  = Reação da superfície

$W$  = Carga na roda

$T$  = Torque

$NT$  = Tração líquida (tração real)

$r_r$  = Raio de rolamento

$s_{lr}$  = Raio carregado, estático

$GT$  = Tração total (tração teórica)

$M_r$  = Resistência ao rolamento

$e_h$  = coeficiente de atrito de rolamento

$e_v$  = recalque do solo

$\omega$  = Velocidade angular

Fonte: Zoz e Grisso (2003)

O coeficiente de atrito de rolamento ( $e_h$ ) e o recalque do solo ( $e_v$ ) adicionados, são o deslocamento vertical e horizontal resultante da maleabilidade do solo, a quantidade de deslocamento depende da força de resistência ao movimento ( $M_r$ ), o raio do pneu carregado ( $s_{lr}$ ) e a força vertical resultante. (ZOZ & GRISSO, 2003). A velocidade de deslocamento depende do raio de rolamento ( $r$ ) e da velocidade angular ( $\omega$ ). O produto da velocidade teórica com a tração total é a potência no eixo motriz, enquanto que a potência disponível é dada pelo produto da velocidade real com a tração útil conforme Brixius (1987). A razão entre essas potências define a eficiência trativa (TE), conforme apresentado nas equações 1 e 2.

$$(1) TE = \frac{(NT \times V_a)}{(NT \times V_a)}$$

Dividindo esses termos pela carga dinâmica sobre o rodado ( $W_d$ ):

GT/Wd = coeficiente de tração total (GTR)

NT/Wd = coeficiente de tração útil (NTR)

MR/Wd = coeficiente de resistência ao rolamento = GTR-NTR

$$(2) \quad TE = \left( \frac{NTR}{GTR} \right) \left( \frac{Va}{Vt} \right)$$

A ineficiência da tração é causada por perdas de velocidade e perda de tração, uma perda de tração (tração líquida) ocorre quando a resistência ao movimento reduz a quantidade de tração bruta que é convertida em saída útil (tração líquida), isso é parte do que acontece quando o trator está com excesso de peso (ZOZ & GRISSO, 2003).

Segundo Zoz (1997) avalia-se o desempenho da tração do trator em ensaios agrícolas realizados em pistas de concreto, pois as condições de solo firme apresentam melhores resultados de eficiência trativa comparando-se ao solo solto. Em trabalhos de campo em solo solto as perdas se tornam maiores, pois é na interação interface-rodado que as perdas de potência se tornam mais críticas (SILVEIRA, 2018). A “American Society of Agricultural and Biologicals Enginners” (ASABE, 2011), um trator operando sobre superfície de solo firme, segundo a norma D 497.7 apresenta um desempenho na barra de tração com eficiência máxima de aproximadamente 68% considerada intermediária se comparada com pista de concreta que possui maior eficiência e com solos cultivados e mobilizados, de menor eficiência.

Estudando o torque nos rodados motrizes dos tratores agrícolas realizando ensaios de tração em pista de concretos submetendo o trator a diferentes marchas (5, 7, 8 e 9 km.h<sup>-1</sup>) e oito cargas na barra de tração (4, 8,12, 16, 20, 24, 28, 30 kN), Fiorese *et al.* (2015a) obteve como resultado que conforme o aumento da força na barra de tração, ocorre crescimento linear da demanda de torque no eixo traseiro do trator. Na máxima força tracionada pelo trator, a distribuição de torque foi aproximadamente 70% no eixo traseiro e 30% no eixo dianteiro, já para a menor força de tração, foram de 70% no eixo dianteiro e 30% no traseiro.

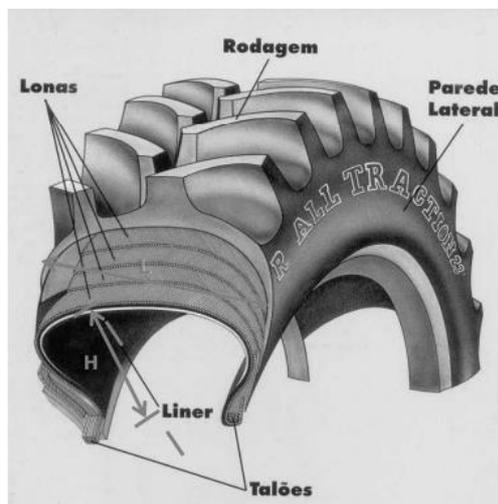
Fiorese *et al.* (2015b) avaliou o desempenho de três tratores agrícolas em ensaios de tração utilizando seis níveis de esforços na barra de tração, sendo essas de 5, 10, 15, 20, 25 e 27 kN e obteve como resultado que a força de tração média ficou próxima para os três modelos, diferenciando apenas no consumo de combustível do trator 2 na qual operou com maior regime de rotação.

### 2.3. Conjuntos pneumáticos

Os rodados pneumáticos de um trator possuem importantes funções tais como deslocar, direcionar e permitir o equilíbrio e amortecimento da máquina em contato com o solo. O seu tipo de construção assim como pressão de inflação, pressão da carga e o desgaste influenciam diretamente o desempenho operacional da máquina (JESUÍNO, 2007). Os pneus apresentam estrutura em forma circular que por meio de sua inflação resiste às cargas nele aplicadas e às solicitações de força dinâmicas que agem sobre o mesmo. Mitas (2013) informa que o pneu é constituído de 4 partes principais (Figura 3).

1. Banda de rodagem: parte que está em contato com a superfície de rolamento;
2. Flancos: paredes laterais. Protegem a carcaça das lonas. São dotados de uma mistura especial de borracha com alto grau de flexibilidade;
3. Talão: constituído internamente de arames de aço de grande resistência e tem por finalidade manter o pneu acoplado ao aro;
4. Carcaça: é a parte de resistência do pneu. Corresponde ao conjunto de camadas ou lonas de poliéster, nylon ou aço. Retém o ar sob pressão que suporta o peso total das máquinas agrícolas.

Figura 3- Constituição do rodado agrícola



Fonte: Silva Júnior (2011)

Os pneus podem ser classificados em: pneus de tração, pneus direcionais, pneus de transporte e pneus para motocultivadores. De acordo com a carcaça podem ser classificados em diagonais e radiais. Os pneus diagonais apresentam lonas dispostas diagonalmente ao plano médio da banda de rodagem e os pneus radiais possuem lonas dispostas de talão a talão

em ângulos de 90° com o plano médio da banda de rodagem (Furlani, 2006). Existem também os pneus de baixa pressão e alta flutuação (BPAF) onde as lonas são dispostas igualmente ao pneu diagonal, abaixo da banda de rodagem e sobre as lonas existem cintas estabilizadoras, que proporcionam uma característica mais plana da banda de rodagem com a superfície (ALEIXO, 2015).

A associação Latino Americana dos Fabricantes de Pneus, Aros e Rodas (ALAPA, 2013) classificam os pneus de acordo com suas dimensões e disposição interna dos cordonéis e lonas, essas informações são descritas na lateral do pneu conforme a figura 4.

Figura 4- Classificação do pneu de acordo com ALAPA 2013



Fonte: Silveira (2018)

Jadoski *et al.* (2016) estudando a influencia de diferentes lastragens, pressões, construções de pneu e diferentes superfícies no desempenho do trator apresentou como resultado a maior efetividade do pneu radial sobre o diagonal em mesmas condições de patinagem utilizando 40% de água em pneus radiais e 75% em pneus diagonais.

Ao avaliar o desempenho de um trator equipado com pneus radiais e diagonais com três condições de lastragem líquida (0%, 40% e 75% de água), Monteiro (2011) concluiu que o melhor consumo de combustível foi quando o trator estava equipado com pneus radiais. Entretanto, Barbosa (2005) não encontrou diferença significativa com relação ao consumo horário de combustível entre os dois pneus ao avaliar o desempenho operacional de um trator equipado alternadamente com pneus radiais e diagonais.

Monteiro (2008) afirma que os pneus agrícolas são um dos principais componentes das máquinas agrícolas tendo grande importância nos custos de fabricação e nos custos

operacionais de campo. Um trator equipado com pneus adequados resulta em melhor desempenho geral, melhor qualidade de serviço, menor custos, menor impacto nas condições estruturais e um aumento na capacidade operacional.

A pressão interna dos pneus é um fator relevante nas operações com tratores agrícolas. Biris (2011) afirma que a pressão de inflação do pneu é extremamente importante na superfície de contato entre o pneu e o solo, portanto na distribuição do estresse no solo causado pelo tráfego de máquinas agrícolas pesadas. Dependendo da pressão dos pneus, podem ser obtidas diferentes distribuições de tensões no solo ocasionando uma maior compactação devido a uma distribuição de peso inadequada.

Utilizando-se pressão interna dos pneus e lastragem adequada é possível prolongar a vida útil do pneu e obter um maior rendimento na operação, além de minimizar o consumo de combustível, problemas de perda de tração e patinagem excessiva (SPAGNOLO *et al*, 2012). As pressões recomendadas variam de acordo com o número de lonas e a carga sobre o pneu.

Paula (2008) afirma que a interação pneu/solo possui influência direta no desempenho dos tratores. Baixas pressões de inflação ou altas cargas podem levar a uma sobrecarga nos pneus, provocando grandes deformações em solo mobilizado. Pneus com pressão de inflação baixa tendem a ter maior área de contato com o solo, fornecendo ao trator maior capacidade de tração (ALONSO, 2016).

Ao avaliar a influência da alteração da pressão interna dos pneus e da velocidade de deslocamento de um trator agrícola 4x2 TDA em propriedades físicas do solo, Feitosa *et al*. (2015) conclui que o uso de diferentes pressões internas e velocidade de deslocamento não alteram a patinagem dos rodados quando se desloca sem carga na barra de tração, e também afirma que a aplicação das pressões de 110 e 124 kPa, nos pneus dianteiros e traseiros do motor, respectivamente, combinada com a velocidade de deslocamento de  $1,51 \text{ m s}^{-1}$  ocasiona uma maior redução da porosidade total.

A altura das garras também são fatores que afetam a patinagem da máquina agrícola e consequentemente afetam a capacidade de tração, devido as alturas das garras ser um fator que afeta diretamente a interação rodado/solo. Jesuíno (2011) comparou o desempenho de um trator equipado com pneus diagonais novos e pneus diagonais desgastados em três condições de superfície: pista com solo mobilizado, pista com cobertura vegetal e pista com solo firme e obteve como resultado que os níveis de desgaste dos pneus provocaram alterações

significativas no desempenho na pista de solo mobilizado, sendo necessário substituí-lo para evitar prejuízo econômico.

## **2.4. Preparo do solo**

Atualmente na implantação de uma cultura, a maioria das operações desde o preparo do solo até a colheita pode ser mecanizada, desde que bem conduzidas empregando tecnologia e maquinário adequado essas operações podem apresentar grande eficiência de tempo e retorno econômico ao produtor (DUARTE JÚNIOR *et al*, 2008).

A realização de um preparo de solo prévio ao cultivo da cultura é de extrema importância para o destorroamento e mobilização do solo garantindo assim uma compactação desejável para que seja possível um ótimo desenvolvimento radicular das plantas (CARVALHO FILHO *et al*, 2007).

A operação de preparo de solo tem como finalidade a movimentação de solo para a realização do cultivo e pode ser dividido em: preparo primário do solo e preparo secundário. O preparo primário do solo tem como objetivo o revolvimento do solo; geralmente deixa a superfície do terreno irregular, com torrões e desnivelada, dificultando as operações seguintes de plantio e cultivo. Já o preparo secundário são todas as operações realizadas após o preparo primário que visam o nivelamento do terreno, ao destorroamento produzindo ambiente favorável ao desenvolvimento inicial da cultura. (MAZUCHOWSKI & DERPSCH, 1984, apud CARVALHO FILHO *et al*.2010).

A escolha e utilização dos equipamentos agrícolas para preparação do solo são dependentes do tratamento que se quer dar para o mesmo. Para que um equipamento seja utilizado de forma correta e eficiente é necessário conhecer o sistema de manejo que deseja atender. Os sistemas de manejo de solo mais utilizados são: convencional, cultivo mínimo e conservacionista (MANTOVANI, 1987).

Mantovani (1987) descreve o sistema convencional como sendo uma combinação de aração e gradagem com a finalidade de criar condições favoráveis para o estabelecimento da cultura. O sistema de cultivo mínimo refere-se a quantidade mínima de preparo do solo para criar nele condições favoráveis para o estabelecimento do cultivo. Sistema conservacionista é qualquer sistema de preparo do solo para melhorar a qualidade física do solo para elevar a permeabilidade e o armazenamento de água e ar.

Costa (2014) avaliando o efeito de sistemas de preparo do solo e de velocidade de semeadura em atributos da relação máquina-solo-planta no semiárido nordestino concluiu que a densidade e porosidade do solo não foram influenciadas pelo sistema de preparo. No entanto, o arado de aivecas apresentou a menor resistência á penetração nas camadas estudadas (0-0,10cm; 0,10-0,20cm; 0,20- 0,30cm; 0,30-0,40cm).

Avaliando a qualidade operacional dos conjuntos mecanizados de preparo reduzido do solo e transplântio de mudas de café por meio de indicadores de qualidade utilizando-se o controle estatístico de processo, Silva *et al.* (2014) concluiu que a operação de preparo reduzido do solo apresentam valores de patinação abaixo do ideal.

## **2.5. Operações de Preparo do Solo**

A operação de escarificação melhora a condição estrutural do solo, que atua na capacidade de troca de cátions e na amenização da variação da temperatura, que por sua vez repercutirá na atividade microbiológica. O rompimento de camadas compactadas do solo trazem benefícios expressos pela redução da densidade que diminui a resistência á penetração das raízes e aumento no volume de macroporos que melhora a aeração e a drenagem interna (SANTOS *et al.* 2011).

### **2.5.1. Escarificação**

A escarificação por romper o solo da camada arável até o máximo de 25 a 30 cm de profundidade se apresenta como uma substituição á aração, sendo muitas vezes utilizada isoladamente pode ser considerada como um sistema de preparo mínimo (ANDRÉ, 2009). O escarificador pulveriza menos o solo do que o arado, deixa a superfície bem mais rugosa e com uma boa quantidade de resíduos vegetais, resultando em efeito altamente positivo no controle da erosão (BORGES, SOUZA; 2004).

A escarificação objetiva reduzir a densidade do solo, a sua resistência mecânica á penetração das raízes e aumentar a permeabilidade do através do rompimento de camadas compactadas (ANDRÉ, 2009). Conforme a profundidade de atuação do escarificador, tem-se a superficial (de 5 a 15cm) e profunda (15 a 30 cm).

A composição do escarificador é ilustrada na figura 5 e é composta por uma estrutura de ferro conhecida como chassi na qual sustenta as hastes que são responsáveis por fazer a

ligação entre o chassi e as ponteiros. As ponteiros são a parte ativa deste implemento e responsáveis pela mobilização do solo podendo ser estreitas (possuem de 4 a 8cm de largura) ou largas (acima de 8 cm de largura) (GASSEN, 2011).

Figura 5- Composição do escarificador



Fonte: Próprio autor

Para maximizar o desempenho do escarificador, a regulagem deve ser realizada observando-se criteriosamente os fatores umidade de solo, profundidade de trabalho, distância entre as hastes e velocidade de operação (BIANCHINI, 1999).

Avaliando o desempenho de um conjunto trator-escarificador em função do teor de água do solo (26,2 e 21,9%) e profundidade de trabalho (0,20 e 0,30 cm), Compagnon *et al.*(2013) obtém como resultado que o aumento do teor de água proporciona menor consumo horário de combustível, menor patinação dos rodados, menor capacidade de campo operacional e maior consumo de combustível operacional. A maior profundidade de trabalho aumentou o consumo horário e operacional de combustível, força de tração e potência na barra e patinação dos rodados dianteiros.

Comparando o tratamento utilizando escarificador convencional com profundidade de 0,30cm e o tratamento sem escarificação, Girardello *et al.* (2011) afirmou que o aumento na infiltração de água no solo foi quatro vezes superior.

Giraderllo (2014) avaliando a eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da

soja conclui que a escarificação mecânica não incrementou a produtividade de soja, em relação ao tratamento sem escarificação, em solo manejado sob sistema plantio direto com resistência á penetração.

## 2.6. Desempenho de máquinas agrícolas

O desempenho energético de máquinas e implementos agrícolas é de extrema importância para obtermos um melhor conhecimento do comportamento destes equipamentos em condições de trabalho (CAMARA, 2006).

Diversas variáveis podem ser mensuradas para ser avaliado o desempenho operacional de máquinas de mobilização periódica de solo. Dentre eles estão: velocidade de deslocamento, patinação das rodas motrizes, potência na barra, consumo horário de combustível, consumo específico de combustível, capacidade operacional e força de tração (SASAKI, 2005).

A velocidade de deslocamento influencia diretamente no desempenho dos sistemas mecanizados. A qualidade das operações depende da correta determinação da velocidade de deslocamento dos conjuntos motomecanizados (MOLIM, *et al* 2005). Tendo conhecimento da importância da velocidade de deslocamento em operações de preparo de solo Nagahama *et al* (2013) avaliou o desempenho do trator agrícola em sistemas de preparo periódico do solo em 4 velocidades de deslocamento ( $2,45 \text{ km h}^{-1}$ ,  $3,88 \text{ km h}^{-1}$ ,  $5,72 \text{ km}^{-1}$  e  $6,50 \text{ km}^{-1}$ ) e concluiu que o aumento de velocidade proporcionou incremento na capacidade efetiva e operacional, na variação da velocidade na força de tração e potência, mas reduziu o rendimento de campo teórico.

Segundo Araújo *et al* (2014) o tipo de superfície que está em contato com a rodagem dos pneus motrizes e o esforço necessário para deslocar determinado equipamento são fatores que interferem a patinação dos rodados em tratores agrícolas. A patinação é o deslizamento entre a superfície da banda de rodagem e o solo, sendo um fator de extrema importância para que ocorra a tração (GAMERO & LANÇAS, 1996). Utilizando um trator 4x2 TDA trabalhando com diferentes pressões de inflação dos pneus e forças na barra de tração em superfície de solo mobilizado, Souza *et al* (2014) determinou que a mínima pressão de inflação proporcionou um menor índice de patinação dos rodados do trator.

Lopes (2003) apresenta consumo de combustível como unidade de volume por unidade de tempo ( $\text{L h}^{-1}$ ), outra forma de apresentar o consumo de combustível é por meio de unidade

de massa por unidade de tempo ( $\text{kg h}^{-1}$ ). O consumo específico de combustível é unidade de massa por unidade de potência ( $\text{g kW h}^{-1}$ ) essa é a forma mais técnica de se expressa o consumo pelo fato de considerar a massa e a potência, sendo usada para comparar motores, tratores e equipamentos de tamanho e formas diferentes. Comparando o consumo de combustível de um trator agrícola no preparo do solo variando-se duas pressões de inflação nos pneus (124 e 242 kPa), Montanha *et al* (2011) conclui que utilizando a menor pressão de inflação nos pneus (124 kPa) o trator apresenta uma redução no consumo horário de combustível.

A transmissão de potência do motor para a barra de tração sofre diversas perdas passando pela caixa de câmbio, coroa e pinhão, diferencial e redução final. Além dessas perdas na transmissão, também ocorrem perdas devido á patinagem, deformação dos pneus, tipo de solo, teor de umidade do solo, dentre outras fontes de perda de força. Esta força é necessária para fornecer a energia requerida para girar o pneu, comprimir ou empurrar o solo, girar a roda deslocando o eixo para frente. Devido as perdas, é necessário conhecer a potência fornecida pelo motor e o que realmente é disponibilizado de potência na barra de tração para tracionar o implemento, bem como, o seu real requerimento em força de tração (SANTOS, 2010).

O desempenho na barra de tração depende da potência do motor, dos mecanismos de transmissão, da distribuição de peso sobre os rodados, da superfície do solo e da altura e posição dos engates da barra. As propriedades do solo afetam a eficiência da tração, pode-se mencionar principalmente a textura e umidade do solo e as condições da superfície (JASPER *et al*, 2016). Na operação de escarificação em diferentes sistemas de preparo e cobertura de solo, Lima (2009) afirma que maiores valores de força despendida na barra de tração pelo conjunto mecanizado foram na área sob o sistema de preparo convencional quando comparado com o sistema de semeadura direta.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Local de trabalho

O experimento foi realizado na área experimental do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícola (LIMA) pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola (DENA) da Universidade Federal do Ceará, campus do Pici em Fortaleza do Ceará, tendo como localização geográfica de 3°44'45,72" de latitude sul da linha do equador e 38°34'51,05" a oeste de Greenwich, á 27 metros do nível do mar.

O clima da região em que o experimento foi conduzido é definido como tropical chuvoso (Aw'), muito quente, com predomínio de chuvas nas estações do verão e do outono e temperatura média em todos os meses superiores a 18°C, conforme classificação de Köppen (1923).

#### 3.2. Caracterização do solo da área de estudo

Á área representada na figura 6 é classificada de acordo com a Embrapa (2006) como um argissolo vermelho amarelo.

Figura 6- Área experimental



Fonte: Araújo (2013)

Para a determinação da umidade do solo coletaram-se amostras indeformadas, com o auxílio de um amostrador do tipo Uhland com cilindros de 5cm de comprimento e 4,8cm de diâmetro, nas profundidades de 0-15 cm e de 15-30 , as amostras foram pesadas antes e em

seguida foram levadas á estufa por 24 horas a uma temperatura constante de 105-110° C.

A determinação da resistência mecânica do solo á penetração foi utilizado um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar – stolf, com 15 pontos de amostragem na área trabalhada também com leituras realizadas nas profundidades de 0-15 e 15-30 cm antes de serem realizadas o percurso da máquina no experimento. Os resultados foram transformados em unidade de pressão. Os valores de umidade e resistência á penetração do solo da área em que foi realizado o experimento são apresentados na tabela 1.

Tabela 1- Umidade e resistência à penetração do solo

<b>Profundidade da amostragem (cm)</b>	<b>Umidade do solo (%)</b>	<b>Resistência a penetração (Mpa)</b>
0 – 15	7,25	0,89
15 - 30	6,87	1,41

### 3.3. Caracterização do trator

Todo o experimento foi realizado com um trator 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA) da marca Valtra modelo BM120, modelo 620DR, com 88,26 kW (120 cv) de potência no motor, operando á rotação de 2000 rpm, 6 cilindros e cilindrada total de 6600 cm<sup>3</sup> (FIGURA 7).

Figura 7- Vista lateral do trator utilizado da marca VALTRA



Fonte: Autor

Os dados referentes á determinação do peso do trator são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Peso do trator sem Lastro

	<b>Peso</b>	<b>Distribuição de peso</b>	<b>Relação peso/potência</b>
<b>Eixo dianteiro</b>	2110 Kg	49%	
<b>Eixo traseiro</b>	2210 Kg	51%	
<b>Total</b>	4320 Kg	100%	36 Kg.cv <sup>-1</sup>

Fonte: autor

Foi utilizada a tabela de relação peso/potência do trator para o tipo de operação conforme Monteiro *et al.* (2009) e a tabela de distribuição de peso em função do tipo de transmissão e acoplamento para a realização do cálculo de adequação do trator agrícola á atividade que foi realizada.

Tabela 3 - Relação peso/potência por tipo de operação

<b>Tipo de Lastragem</b>	<b>Leve</b>	<b>Média</b>	<b>Pesada</b>
<b>Kg/cv</b>	50	55	60

Fonte: Autor

Tabela 4 - Distribuição de peso por eixo em função do tipo de transmissão e acoplamento

Modelo do trator	Eixo do trator	Equipamento Arrasto	Semi-montado	Montado (3° ponto)
4x2	Dianteiro	25%	30%	35%
	Traseiro	75%	70%	65%
4x2 TDA	Dianteiro	35%	35%	40%
4x4	Traseiro	65%	65%	60%

Fonte: Autor

Foram adicionados lastros líquidos nos rodados traseiros do trator por meio da adição de água correspondentes a 75% da capacidade do pneu, como recomendado por Monteiro *et al.* (2013) para o que mesmo apresente um melhor desempenho geral durante a operação.

Completo-se a lastragem com lastros sólidos na forma de placas metálicas na dianteira do trator e discos nos rodados traseiros para que o peso necessário para que o

equilíbrio operacional do trator para a realização do trator fosse alcançado.

### 3.4. Conjunto pneumático

Foram utilizados 2 conjuntos de pneus diagonais ambos apresentando diferentes estados de conservação, o primeiro utilizado foi o que apresentou menor tempo de uso com sua integridade em 100%, foram os VANTAGE, fabricados pela PIRELLI®, modelo VA, com 10 lonas nos rodados traseiros, e nos rodados dianteiros do trator, modelo TM95, com 6 lonas. Já o que apresentou maior desgaste era da marca TITAN, modelo HI-TRACTION LUG, com câmara de ar e 10 lonas nos pneus traseiros e 6 lonas nos pneus dianteiros.

A mensuração da altura das garras foi o parâmetro utilizado para avaliar o desgaste dos rodados, a medição tomou como base a norma OECD – CODE 2 que informa que a altura das garras dos pneus não podem ser inferiores a 65% da altura dos pneus quando novos. A tabela 5 apresenta as especificações dos pneus.

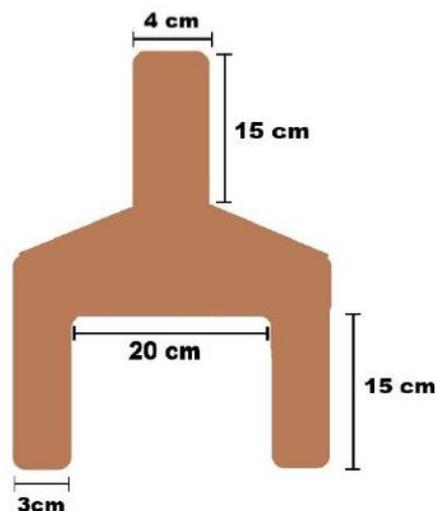
Tabela 5 – Especificação dos pneus

Pneus		Dimensões	Diâmetro externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Largura (mm)	Altura da garra (mm)	Integridade do pneu (%)
Novo	Dianteiro	14.9 – 24	1170	610	379	41,17	100
	Traseiro	18.4 – 34	1560	864	467	45,00	100
Desgastado	Dianteiro	14.9 – 24	1170	610	379	22,33	54,23
	Traseiro	18.4 - 34	1560	864	467	31,41	69,8

Fonte: Autor

A mensuração foi realizada em ambos os conjuntos pneumáticos, utilizando um medidor de altura de garras de pneus de três pontos, desenvolvido e utilizado por Silveira (2018) (FIGURA 8). Um paquímetro digital foi afixado em um apoio de madeira e a leitura foi realizada sempre posicionando o medidor de forma perpendicular á direção da banda de rodagem no ponto mais central possível do pneu, foram realizadas 8 repetições por pneu, para aumentar a confiabilidade da medição.

Figura 8- Suporte para medição das garras



Fonte: Silveira (2018)

A calibração dos pneus foi realizada, onde os conjuntos ficaram com a pressão de inflação de 16 PSI (110,3 kPa) nos rodados dianteiros e 18 PSI (124,1 kPa) nos traseiros. Em seguida, foi realizado o teste de avanço para confirmar se o avanço do trator estava dentro da faixa recomendada de acordo com a pressão de inflação dos jogos de pneus (1 a 5%), como o avanço apresentou-se dentro dessa faixa, foi dado continuidade ao experimento.

### 3.5. Caracterização do implemento

Para a operação de preparo de solo foi um subsolador MARCHESAN AST/MATIC 450 com uma largura de 1,80 m, possuindo 5 hastes espaçadas em 0,36 m, sendo acoplado na barra de tração.

O implemento realizou a operação de escarificação ao operar até 0,3 m de profundidade, a profundidade de atuação foi verificada com o auxílio de uma haste milimétrica (FIGURA 9).

Figura 9- Vista Lateral do subsolador á ser utilizado marca MARCHESAN AST/MATIC 450



Fonte: Sousa (2014)

### 3.6. Velocidade teórica

Foram utilizadas 3 velocidades teóricas durante o experimento, correspondentes as velocidades de 2,5; 3,5; e 5 km.h<sup>-1</sup> (0,69; 0,97; e 1,39 m.s<sup>-1</sup>), as combinações de marcha e rotações do motor para que essas velocidades fossem alcançadas, estão presentes na tabela abaixo.

Tabela 6 - Combinação de marcha e rotação utilizadas no experimento

Trator	Combinação marcha/rotação		
	Vel. 1	Vel. 2	Vel. 3
BM 120	L1 (2200)	L2 (1800)	L2 (2200)

Fonte: Autor

### 3.7. Parâmetros Avaliados

#### 3.7.1. Velocidade de deslocamento

Para mensurar a velocidade média de deslocamento foi cronometrado o tempo para que o trator percorresse os 20 metros de comprimento da parcela. Cada extremidade da parcela tinha uma estaca que demarcava o início do percurso do trator (logo quando o rodado dianteiro á cruzasse) e o fim da parcela (quando o rodado dianteiro cruzasse a estaca). A velocidade foi determinada em função do tempo de acordo á Equação 3.

$$(3) V_m = \frac{s}{t}$$

Onde:

$V_m$  = velocidade média ( $m s^{-1}$ );

s = espaço percorrido (m);

t = tempo decorrido (s).

### 3.7.2. Patinagem dos rodados

Para determinar a patinagem foi utilizado dispositivos sensores instalados nos rodados dianteiros e traseiros, geradores de pulsos com uma frequência de 15 pulsos por volta, conforme figura 10. Esses sensores estavam ligados á um coletor de dados através de um cabo elétrico onde foi efetuadas as medições de pulso total obtido em cada parcela e em cada rodado utilizando a fórmula seguindo Mialhe (1996) (EQUAÇÃO 4). A caracterização da patinagem é alcançada com o trator realizando a operação (com carga) e com o trator realizando apenas o percurso (sem carga).

$$(4) P = \frac{[N_{pc} - N_{ps}]}{N_{pc}} \times 100$$

Na qual:

P = Patinagem (%);

$N_{ps}$  = número de pulsos da roda sem carga;

$N_{pc}$  = número de pulsos da roda com carga.

Figura 10- Sensores instalados nos rodados



Fonte: Autor

### 3.7.3. Força de tração na barra

Para medir a força de tração na barra (EQUAÇÃO 5) utilizou-se uma célula de carga da marca HBM, modelo U 10M, com sensibilidade de 135 kW, instalada entre a barra de tração do trator de tração e o implemento, conforme figura 11. A força de tração obtida pela célula de carga foi armazenada no coletor de dados pré programado e em seguida analisados.

$$(5) F_m = \frac{\sum F_i}{t_p}$$

Onde:

$F_m$  = força de tração média (kN);

$F_i$  = força de tração instantânea ( $k N s^{-1}$ );

$t_p$  = tempo de percurso (s).

Figura 11- Célula de carga instalada na barra de tração



Fonte: Autor

### 3.7.4. Potência na barra de tração

A potência disponível na barra de tração ( EQUAÇÃO 6) será calculada em função da força de tração e da velocidade de deslocamento:

$$(6) \quad P_b = \frac{F_m \times V}{3,6}$$

Em que:

Pb = potência na barra (kW);

Fm = força de tração média (kN)

V = Velocidade de deslocamento (km h<sup>-1</sup>).

Em seguida, obteve-se o cálculo do rendimento na barra de tração conforme a equação 7.

(7)

$$Rb = \frac{Pb}{Pm} \times 100$$

Em que:

Rb = rendimento na barra de tração (%);

Pb= potência na barra de tração (kW);

Pm= potência no motor (88,26 kw) na rotação nominal  
(conforme informação do fabricante).

Foi calculado também o coeficiente de tração, conforme a equação abaixo (EQUAÇÃO 8).

$$(8) CT = Fb/tP \times 100$$

Onde:

CT = Coeficiente de tração (adimensional);

Fbt= Força na barra de tração (Kn);

P= peso do trator (Kn).

### 3.7.5. Consumo horário de combustível

Foi instalado um fluxômetro volumétrico da marca Oval<sup>®</sup>, modelo LSF 41 Oval M-III, instalados no sistema de combustível do trator, na entrada bomba injetora e outra no retorno do combustível ao tanque. O fluxômetro emite pulsos a cada volta de sua engrenagem interna por meio da passagem de combustível, esses pulsos são convertidos em volume considerando a vazão de 1mL/pulso, conforme a equação 9, calcula-se:

$$(9) CH = \frac{Np \times 3,6}{t}$$

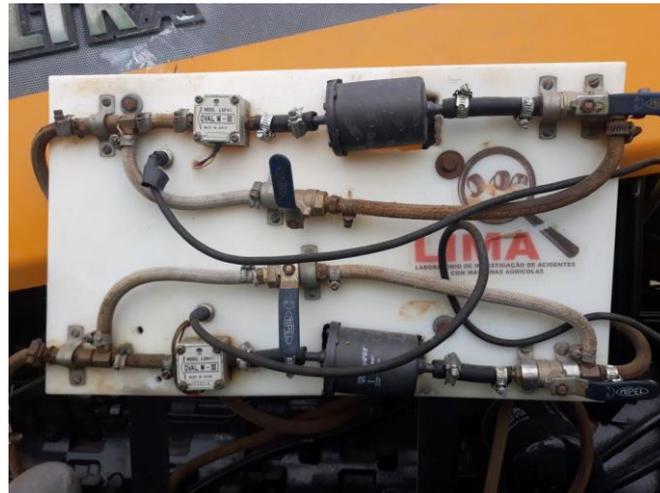
Em que:

CH = consumo horário (g L<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>);

Np = número de pulso do medidor de combustível

t = tempo de percurso da parcela.

Figura 12- Fluxômetro utilizado durante o experimento



Fonte: Autor

### 3.7.6. Consumo específico de combustível

O consumo específico de combustível mostra o consumo por unidade de potência na barra de tração. Para o cálculo (EQUAÇÃO 10) utiliza-se a densidade do combustível calculada em laboratório (826 g.L<sup>-1</sup> para temperatura de 40° C).

$$(10) C_{esp} = \frac{ch \times d}{Pb}$$

Onde:

C<sub>esp</sub> = consumo específico de combustível ( g kW<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>);

Ch = Consumo horário de combustível (L h<sup>-1</sup>);

d = densidade do combustível (g L<sup>-1</sup>);

Pb = potência na barra (kW);

3,6 = fator de conversão.

### 3.8. Sistema de aquisição de dados

Para a aquisição dos dados e informações foram instalados sensores de rotação, modelo GIDP-15-U-12V, nos rodados dianteiros e traseiros, na tomada de potência, no sistema de alimentação de combustível e na barra de tração. Os dados foram coletados por meio desses sensores e enviados para o *Datalogger* para trator – Modelo: DLT-001/16, fabricado pela MASQUETTO Automação & Equipamentos (FIGURA 13). Esse *datalogger* funciona como um coletor de dados com o objetivo de armazenar resultados de trabalhos com máquinas agrícolas em campo para posterior interpretação. Em seguida os dados foram exportados em formato de arquivos do Microsoft Excel para o notebook por meio do Software ULTITRONICS SD CARD EXPLORER utilizado para acessar o cartão SD do equipamento.

Figura 13- Datalogger utilizado durante o experimento



Fonte: Autor

### 3.9. Delineamento experimental

Primeiramente, foi realizado o levantamento de dados para a determinação do número mínimo de amostras para se obter normalidade, utilizou-se a equação sugerida por Montgomery (2004) para o cálculo do erro médio padrão (Equação 11).

$$(11) \quad d = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}$$

Em que:

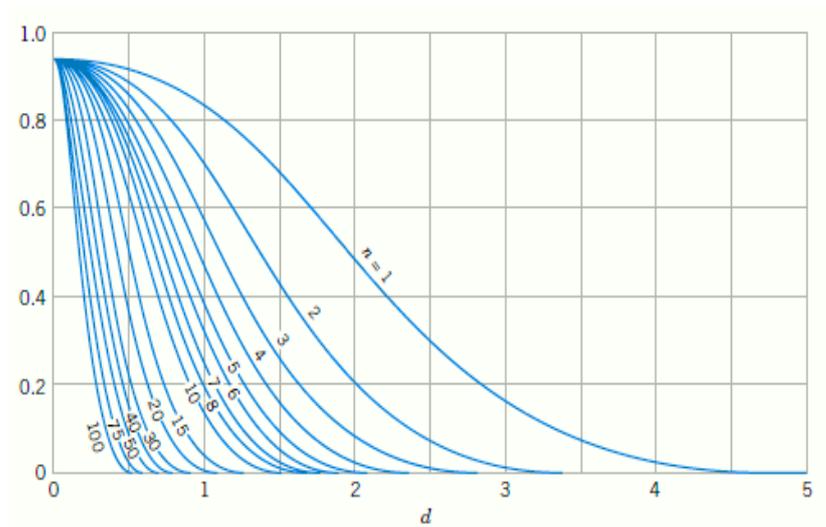
$d$  = erro médio padrão;

$\mu_1$  e  $\mu_2$  = média;

$\sigma_1$  e  $\sigma_2$  = desvio padrão.

Obteve-se um valor de “ $d$ ” de 1.3, e a partir da curva sugerida por Montgomery (2004) (Figura 14), determinou-se que o número mínimo de amostras deveria ser 15.

Figura 14- Curvas características de operação para diferentes valores de  $n$  para um nível de significância  $\alpha = 0,05$



Fonte: Montgomery (2004).

O delineamento foi inteiramente ao acaso (DIC) no esquema fatorial de  $3 \times 2$  onde foi utilizado 2 conjuntos pneumáticos (pneus novos e desgastados) 3 velocidades teóricas diferentes (2,5; 3,5; e 5  $\text{km.h}^{-1}$ ). Foram realizadas 5 repetições para cada parcelas analisada. As parcelas possuíam uma distância de 20 metros de comprimento e 3 metros de largura. Realizou-se a análise descritiva dos dados, onde através da simetria e curtose verificou-se a normalidade dos dados, que de acordo com Montgomery (2004) valores dentro da faixa de -3 e 3 deve-se considerar a hipótese de normalidade.

Comprovada a distribuição normal dos dados, foi realizada a análise variância (ANOVA) pelo teste F, e, quando apresentarem significativos, aplicado o teste de comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Tabela 7 - Esquema do delineamento experimental

Conjunto Pneumático	Velocidade teórica
Novo	2,5 km.h <sup>-1</sup>
	3,5 km.h <sup>-1</sup>
	5 km.h <sup>-1</sup>
Desgastado	2,5 km.h <sup>-1</sup>
	3,5 km.h <sup>-1</sup>
	5 km.h <sup>-1</sup>

Fonte: Autor

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresenta-se na tabela abaixo (TABELA 8) o resumo da análise de variância com os valores obtidos pelo teste F, os coeficientes de variação (CV), a média e os valores de assimetria e curtose para as variáveis resposta, Consumo Horário, Consumo Específico, Potência na Barra de Tração. Rendimento na Barra de Tração, Coeficiente de Tração e Patinação para os fatores Pneu (novo e desgastado), Velocidade de deslocamento (2,5; 3,5; 5 km.h<sup>-1</sup>) e a interação entre esses dois fatores.

Tabela 8- Análise de variância com valor do teste F, os Coeficientes de Variação (CV) e os valores de média, assimetria e curtose para a combinação de 3 velocidades de deslocamento do trator e dois níveis de desgaste dos pneus em operação de escarificação para os testes de Consumo Horário de combustível (CH), Consumo Específico (CE), Potência na Barra de Tração (PB), Rendimento da Barra de Tração (RB), Coeficiente de Tração (CT) e Patinação (Pat).

Fontes de Variação	Valor F					
	CH	CE	PB	RB	CT	Pat
<b>Pneu</b>	0,45 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	3,12 <sup>ns</sup>	3,12 <sup>ns</sup>	48,14 <sup>**</sup>	48,65 <sup>**</sup>
<b>Velocidade</b>	0,02 <sup>ns</sup>	1,78 <sup>ns</sup>	12,20 <sup>**</sup>	12,20 <sup>**</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>
<b>Int. Pneu x Velocidade</b>	1,78 <sup>ns</sup>	1,93 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>
<b>Média</b>	11,21	324,68	28,63	32,44	34,57	2,87
<b>CV (%)</b>	37,52	33,05	15,31	15,31	18,03	7,24
<b>Assimetria</b>	0,99	-0,23	0,40	0,4	0,58	-0,95
<b>Curtose</b>	2,56	-0,28	-0,85	-0,85	-0,96	-0,04

\*\* Significativo a 1% de probabilidade ( $P \leq 0,01$ ); \* Significativo a 5% de probabilidade ( $P \leq 0,05$ );

<sup>ns</sup> Não Significativo pelo teste F.

Os valores de curtose e assimetria ficaram dentro dos limites de -3 e 3, significando assim que os valores estão dentro da distribuição normal, considerando assim a hipótese de normalidade. Constatou-se que o fator pneu obteve efeito não significativo para o consumo de combustível horário, consumo específico, potência na barra de tração como também para o rendimento na barra de tração, já para os demais ensaios, ou seja, o coeficiente de tração e patinação obteve diferença significativa.

Já para os fatores de velocidade o trator apresentou diferença significativa apenas na potência da barra de tração, rendimento na barra de tração e patinagem, não apresentando diferença no consumo horário, consumo específico de combustível e coeficiente de tração.

Na interação entre os fatores pneu e velocidade não foi exercido nenhuma diferença significativa entre as variáveis analisadas. O coeficiente de variação (CV), que é a variabilidade dos dados em relação a média apresentou em todas as variáveis valores acima de 10%, o que significa uma alta dispersão dos dados, isso pode ser explicado devido a cada classe de velocidade e tipo de pneus analisados tiveram valores diferentes dos demais em todas as variáveis analisadas, causando essa heterogeneidade.

#### **4.1 Consumo horário e específico de combustível**

Não houve diferença significativa no consumo horário de combustível em nenhuma das variáveis avaliadas conforme apresentado na tabela 6, podendo concluir que as velocidades utilizadas, os tipos de pneus e a interação pneu x velocidade, não apresentam nenhuma interferência significativa nos valores.

A média do consumo horário de combustível deu o valor de  $11,21 \text{ L.h}^{-1}$  valores esse abaixo do encontrado por Oliveira (2018), que usou diferentes marchas de trabalho, tipo de ponteiros e espaçamento entre hastes na operação de escarificação, essa diferença ocorreu devido as variáveis utilizadas pelo mesmo exigirem mais potência, o que aumenta o consumo de combustível. Valores de média também foram abaixo do encontrado por Jesuino (2007) que encontrou o menor valor de  $12,91 \text{ L.h}^{-1}$  avaliando o desempenho de um trator agrícola em função do desgaste das garras dos pneus e das condições superficiais do solo.

Embora apresentado normalidade dos dados, o coeficiente de variação apresenta-se elevado, 37,52%, isto pode ocorrer devido dentro de cada CV analisado há diferentes variáveis (combinação de velocidade e tipos de pneus) assim aumentando a variabilidade dos dados coletados. Ao avaliar patinamento de trator 4x2 TDA em pista de concreto, Silveira (2018) atribuiu o CV alto de 40,83% a diferentes combinações de velocidade e tipos de pneus utilizados, que proporcionaram valores responsáveis pela heterogeneidade dos dados.

Seguindo a tendência do consumo horário de combustível, a variável de consumo específico de combustível também apresentou nenhuma diferença significativa entre os tipos de pneus, a velocidade e a interação entre o pneu x velocidade. Assim como a variável do

tópico anterior, o coeficiente de variação apresenta-se elevado, 33,05%, essa elevação também pode ser justificada pelas diferentes variáveis utilizadas.

Silveira (2018) afirma que o consumo de combustível é um critério rápido e prático de ser mensurado nos tratores agrícolas, logo é de suma importância sua utilização nos cálculos de desempenho energético e operacional, servindo como um instrumento indispensável para a realização do planejamento agrícola, visto que o combustível é um dos custos mais importantes na operação de trator agrícola.

#### 4.2 Potência na barra de tração

O fator velocidade apresentou diferença significativa para a potência na barra de tração conforme apresentado na tabela 9, entretanto, não apresentou diferença entre os pneus e entre a interação de pneu e velocidade.

Tabela 9- Valores médios da potência exigida na barra de tração (PB), em KW, para as três velocidades durante a operação de escarificação

Variável	Velocidade			DMS <sup>1</sup>
	V1	V2	V3	
<b>PB (KW)</b>	24,67 a	27,19 a	34,02 b	4,9

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

<sup>1</sup>Diferença mínima significativa (DMS) entre as médias de cada tipo de desgaste do pneu e velocidades de deslocamento.

Observa-se que para a potência na barra de tração, que de acordo com que se aumentava a velocidade de deslocamento do trator, a força aplicada na barra de tração para realizar a operação de escarificação ficava maior. As menores velocidades utilizadas no trabalho não apresentaram diferença significativa, porém a maior velocidade avaliada, a de 5 km.h<sup>-1</sup> apresentou diferença significativa das demais, essa maior potência fornecida pela V3 indica que houve um melhor aproveitamento da energia mecânica desenvolvida pelo motor do trator. Comparando em porcentagem a força necessária, podemos perceber que a terceira velocidade exigiu 37,90% de força a mais que a velocidade 1 (2,5 km.h<sup>-1</sup>) e 25% de força a mais que a segunda velocidade (3,5 km.h<sup>-1</sup>), essa diferença pode ter ocorrido devido o solo apresentar condição de tração heterogênea somado a interação de aderência dos rodados com a superfície de contato conforme se aumentava a velocidade.

Os valores de potência na barra de tração aumentarem conforme se aumenta a velocidade de deslocamento, batem com os resultados obtidos por Silveira (2018) que avaliou o desempenho energético de um trator 4x2 TDA em função do desgaste das garras e da velocidade de deslocamento atuando em pista de concreto. Monteiro (2007) também confirma o aumento da potência conforme a velocidade ao usar diferentes marchas avaliando o desempenho operacional e energético de um trator.

### 4.3 Rendimento na barra de tração

Na análise de variância para o rendimento na barra de tração, foi apresentada diferença significativa apenas para o fator velocidade e nenhuma diferença nos fatores pneus e interação pneu velocidade (TABELA 10).

Tabela 10- Valores médios do rendimento na barra de tração (RB), em %, para as três velocidades durante a operação de escarificação

Variável	Velocidade			DMS <sup>1</sup>
	V1	V2	V3	
<b>RB (%)</b>	27,95 a	30,81 a	38,55 b	5,55

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

<sup>1</sup>Diferença mínima significativa (DMS) entre as médias de cada tipo de desgaste do pneu e velocidades de deslocamento.

Os valores de rendimento na barra de tração seguiu a tendência de resultados apresentados na potência da barra de tração, onde a velocidade 3 de 5 km.h<sup>-1</sup> apresentou diferença significativa da velocidade 1 de 2,5 km.h<sup>-1</sup> e da velocidade 2 de 3,5 km.h<sup>-1</sup> que não apresentaram diferença significativa. À medida que se aumentou a velocidade de deslocamento do trator, as médias de rendimento na barra de tração elevaram. Assim como na variável de potência o rendimento na barra de tração foi 25,12% maior na V3 quando comparada a V2 e 37,92% quando comparado a V1.

Os valores de rendimento na barra foram menores ao encontrado por Masiero (2011), que encontrou um rendimento de 56,5% na barra quando trabalhado com solo firme, os valores também são bem abaixo dos propostos pela norma ASAR D497.4 (1999) onde informa valores de 63,9% para solo firme.

#### 4.4 Coeficiente de tração

O coeficiente de tração foi à única variável de tração analisada que apresentou diferença significativa entre os pneus e não entre a velocidade, a interação entre o pneu e a velocidade também não apresentou diferença significativa.

Tabela 11– Valores médios do coeficiente de tração (CT), em %, para os dois níveis de desgaste de pneus (novo e desgastado)

<b>Pneu</b>			
	<b>Desgastado</b>	<b>Novo</b>	<b>DMS<sup>1</sup></b>
<b>CT (%)</b>	26,68 a	42, 47 b	4,69

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

<sup>1</sup>Diferença mínima significativa (DMS) entre as médias de cada tipo de desgaste do pneu e velocidades de deslocamento.

Os dados de média de análise de variância referentes aos tipos de pneus apresentam um maior coeficiente de tração utilizando o trator com os pneus novos, sendo 59,18% maior quando comparado aos pneus desgastados.

O coeficiente de tração é a relação entre a força de tração na barra e a carga dinâmica atuante sobre os rodados de tração, segundo Barger *et al* (1996), representando assim quanto de peso do trator é transformado em força na barra de tração, uma medida da eficiência do sistema rodado-solo. A tração é oriunda da área de contato entre o rodado e solo, pneus novos apresentam uma banda de rodagem com garras mais altas do que de pneus desgastados que, em contato com solo, aumenta a eficiência desse rodado.

#### 4.5 Patinamento

As variáveis Velocidade e Interação pneu x velocidade não apresentaram diferença significativa, dessa maneira a única análise estatística realizada foi a do fator pneu. O resultado das médias do patinamento dos rodados traseiros para diferentes pneus são apresentados na tabela abaixo (TABELA 12).

Tabela 12- Valores médios do patinamento, em % para os diferentes tipos de pneus.

<b>Pneu</b>			
	<b>Desgastado</b>	<b>Novo</b>	<b>DMS<sup>1</sup></b>
<b>Patinamento (%)</b>	13.14b	12.61 a	0.15

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

<sup>1</sup>Diferença mínima significativa (DMS) entre as médias de cada tipo de desgaste do pneu e velocidades de deslocamento.

Os resultados avaliados nos mostram que o patinamento em % foi maior nos pneus desgastados, quando comparado ao valor obtido pelos pneus novos, a patinação nos rodados desgastados foi de 4,20% a mais. A ASABE (2006) determina que, para se obter a máxima eficiência de tração, o patinamento deve estar entre 8 a 10% para solos sem mobilização, 11 a 13% em solos revolvidos e de 14 a 16% em solos arenosos. Os resultados se apresentam acima do recomendado para solo sem mobilização e abaixo do recomendado para os solos arenosos, porém o patinamento dos pneus novos se encaixam dentro do recomendado para os solos revolvidos.

Esses valores são próximos aos valores encontrados por Oliveira (2018), ao avaliar o desempenho de um trator 4x2 TDA atuando com diferentes marchas, 12,16% e diferentes ponteiras, 12,74%. O resultado de patinamento entre diferentes tipos de pneus entram em concordância com os encontrados por Jesúno (2007) que encontrou maior patinamento nos pneus desgastados do que nos novos quando utilizados em pista de solo mobilizado e pista com cobertura vegetal.

## 5. CONCLUSÃO

Na operação de escarificação diferentes velocidades e o nível de desgaste de pneus não influenciam no consumo horário e específico de combustível.

O trator obteve maior potência na barra de tração e rendimento na barra de tração, quando se deslocou á velocidade de  $5 \text{ km.h}^{-1}$ .

O patinamento apresentou-se maior em pneus desgastados

Conjuntos de pneus novos se diferenciam positivamente de conjunto de pneus desgastados quando avaliado o coeficiente de tração, sendo assim uma melhor escolha para a operação de escarificação.

## REFERÊNCIAS

- ALEIXO, E. V. **Deformações elásticas e áreas de contato de pneus agrícolas e florestais utilizando prensa hidráulica em superfície rígida**. 2015. 63 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade estadual Paulista “JULIO DE MESQUITA FILHO”, Botucatu – SP. 2015
- ALONSO, D. J. C. **Influência da lastragem e pressão de inflação do pneu de um trator agrícola no seu desempenho operacional trabalhando em solo na capacidade de campo**. 2016. 53 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG. 2016.
- ANDRÉ, J. A. **Sistemas de preparo de solo para cana-de-açúcar em sucessão com amendoim**. 2009. 32 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade estadual Paulista “JULIO DE MESQUITA FILHO”, Botucatu – SP. 2009.
- ARAÚJO, K. L. B. **Desempenho operacional e energético de um microtrator em função da lastragem, velocidade de deslocamento e pressão de inflação dos pneus**. 2013. 67 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE. 2013.
- ARAÚJO, V. F. de, *et al.* Patinagem, opacidade e ruído de três tratores agrícolas de pneus. **Engenharia Agrícola**, Botucatu, vol. 29, n. 1, p. 01-08, jan-mar. 2014.
- ASABE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **Agricultural machinery management**. St. Joseph: EP 496.3, 2006.
- BALASTREIRE, L. A. Preparo periódico do solo. **Máquinas Agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. cap. 4. p. 80 – 144.
- BARBOSA, J. A., *et al.* Desempenho operacional de um trator agrícola equipado alternadamente com pneus radiais e diagonais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 474-480, maio-ago, 2005.
- BARGER, E. L., *et al.* Tratores e seus Motores. **Agência Norte-Americana para o Desenvolvimento Internacional – USAID**. São Paulo: Editora Edgard Bluchert LTDA, 1996. Cap. 1, p. 1-16.
- BARICELO, L. G. L. **A evolução diferenciada da indústria de máquinas agrícolas: Um estudo sobre os casos Norte-Americano e Brasileiro**. 2015. 142 f. Dissertação (Mestre em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba - SP. 2015.
- BIANCHINI, A., *et al.* Comportamento operacional de um escarificador de hastes parabólicas em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.3, p. 395-401. 1999.
- BIRIS, S. S., *et al.* FEM model to study the influence of tire pressure on agricultural tractor

wheel deformations. **Engineering for Rural Development**, Berlin, v. 10, p. 223-228. 2011

BORGES, W. J.. **A TRAJETÓRIA TECNOLÓGICA DAS MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS AGRÍCOLAS NO BRASIL: Uma análise a partir da interação teórico-analítica das abordagens evolucionária e institucionalista**. 2016. 397 f. Tese (Doutorado em Administração) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2016.

BRIXIUS W.W. **Traction prediction equation for bias ply tires**. St. Joseph, Michigan: ASABE. 1987 (ASABE Paper, 83-1067).

CAMARA, F. T. da. **Desempenho operacional de uma máquina para preparo reduzido do solo**. 2006, 65 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade estadual Paulista “JULIO DE MESQUITA FILHO”, Jaboticabal – SP. 2006.

CARVALHO FILHO, A. *et al.* Agregação de um latossolo vermelho submetido a cinco sistemas de preparo do solo em Uberaba – MG. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 317-325, jan/abr. 2007.

COMPANGON, A. M.. Desempenho de um conjunto trator-escarificador em dois teores de água do solo e duas profundidades de trabalho. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa – MG, v. 21, n. 1, jan/fev. 2013.

COSTA, F. A. M. da. **Influência de sistemas de preparo do solo e de velocidade de semeadura em atributos da relação máquina-solo-planta**. 2014. 61 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro – BA. 2014

DUARTE JÚNIOR, J. B., *et al.* Desempenho de trator-implemento na cana-de-açúcar em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n.6, p. 653-658. 2008.

FEITOSA, J. R., *et al.* Influência da pressão interna dos pneus e da velocidade de deslocamento nos parâmetros operacionais de um trator agrícola e nas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p. 117 – 127, jan/fev. 2015.

FIGLIARESE, D. A.; MARASCA, I.; FERNANDES, B.B.; SANDI, J.; MORELLI-FERREIRA, F.; LANÇAS, K. P. Desempenho de três tratores agrícolas em ensaios de tração. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 2, n. 2, p. 68-76, abr./jun. 2015

FIGLIARESE, D. A.; SANDI, J.; MARASCA, I.; MORELLI-FERREIRA, F.; SPADIM, E. R.; LANÇAS, K. P. Torque nos rodados motrizes de um trator agrícola submetido a ensaios de tração. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.19, n.9, p.903–909, 2015.

FURLANI, C. E. A., SILVA, R. P. da. Apostila Didática Nº 3, **Tratores Agrícolas**. Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola. Unesp, Jaboticabal. 2006. 19 p.

GAMERO, C. A.; LANÇAS, K. P. Ensaio & certificação das máquinas de mobilização periódica do solo. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996, p. 463-514.

GASSEN, J. R. F. **Avaliação de ferramenta para escarificação do solo em camadas de forma simultânea.** 2011. 217 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS. 2011.

GIRARDELLO, V. T., *et al.* Alterações nos atributos físicos de um latossolo vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 25, n. 6, p. 2115-2126. 2011

GIRARDELLO, V. T., *et al.* Resistência á penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 38, p. 1234-1244. 2014.

GROTTA, D. C. C., *et al.* Subsolador: avaliação do desempenho em função da velocidade de trabalho e espaçamento entre hastes. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 21-26, 2004.

JADOSKI, G. S., *et al.* Influência das características do pneu na performance do trator. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava – PR, v. 9, n. 2, p. 115-120, 2016.

JASPER, S. P., *et al.* Desempenho do trator de 157 kW na condição manual e automático de gerenciamento de marchas. **Scientia Agraria**, vol 17, nº 3, p. 55-60, jul/dez. 2016.

JESUÍNO, P. R. **Desempenho de um trator agrícola em função do desgaste das garras dos pneus e das condições superficiais do solo.** 2007. 76 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade estadual Paulista “JULIO DE MESQUITA FILHO”, Botucatu – SP. 2007

JESUINO, P. R.; LANÇAS, K. P.; GABRIEL FILHO, A.; MASIERO, F. C. Influência do desgaste das garras dos pneus e das condições superficiais do solo nas perações de campo de um trator agrícola. **R. Energia na Agricultura**. Botucatu, vol. 26, n.3, 2011, p.141-159

LIMA, R. R. P. de. **Avaliação de força na barra de tração e resistência do solo á penetração na operação de escarificação em diferentes sistemas de preparo e cobertura do solo.** 2009. 36 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Cidade Gaúcha – PR. 2009.

LOPES, A., *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, n. 2, p. 382-386, 2003.

MANTOVANI, E. C. Máquinas e implementos Agrícolas. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, 13 (147), p. 56-33, mar. 1987.

MASIERO, F. C.; LANÇAS, K, P.; MONTEIRO, L. de A. Determinação do rendimento na barra de tração de tratores agrícolas com tração dianteira auxiliar (4x2 TDA). **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 26, n. 4, 2011, p. 55-73.

MOLIM, J. P., *et al.* Análise comparativa de sensores de velocidade de deslocamento em função da superfície. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n.3, p. 768-773, set/dez. 2005.

MONTANHA, G. K., *et al.* Consumo de combustível de um trator agrícola no preparo do solo para a cultura do algodão irrigado em função da pressão de inflação nos pneus. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 26, n. 1, 2011, p. 39-51.

MONTEIRO, L. de A. **Desempenho operacional e energético de um trator agrícola em função do tipo de pneu, velocidade de deslocamento, lastragem líquida e condição superficial do solo.** 2008. 85 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade estadual Paulista “JULIO DE MESQUITA FILHO”, Botucatu – SP. 2008.

MONTEIRO, L. de A.; LANÇAS, K. P.; MASIERO, F. C. Adição de lastro quando colocar. **Revista Panorama Rural**, Ribeirão Preto, p. 50 - 55, v. 01, jul. 2009.

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

MONTEIRO, L. de A. **Desempenho operacional e energético, segundo a norma OECD – CODE 2 de dois tratores agrícolas 4x2 TDA com motores de 132 kW em pista de concreto e solo agrícola.** 2011. 92 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade estadual Paulista “JULIO DE MESQUITA FILHO”, Botucatu – SP. 2011b.

MONTEIRO, L. de A., *et al.* Energetic efficiency of na agricultural tractor in function of tire inflation pressure. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n. 4, p. 758-763, jul/ago. 2013a.

MONTEIRO, L. de A., *et al.* Avaliação energética de um trator 4x2 TDA equipado com rodados pneumáticos em função da lastragem com água. **Revista Varia Scientia Agrárias**, v. 03, n. 01, p. 43-50. 2013b.

MONTEIRO, L. de A., *et al.* Rendimento na barra de ração de um trator agrícola com diferentes relações de peso e potência. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 70-75, jan-mar. 2013c.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade.** 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

NAHAGAMA, H de J., *et al.* Desempenho do conjunto trator-equipamento sem sistemas de preparo periódico no argissolo amarelo. **Energ. Agríc.**, Botucatu, vol. 28, n. 2, p. 79-89, abr-jun. 2013.

OLIVEIRA, J. L. P. **Desempenho energético de um trator 4x2 TDA em operação de escarificação, em função da marcha de trabalho, tipo de ponteira e espaçamento entre hastes.** 2018. 63 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – Ceará. 2018

PAULA, C. A. de. **Desenvolvimento de um perfilômetro laser para determinação da área e volume de contato entre o pneu e o solo.** 2008. 96 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade estadual Paulista “JULIO DE MESQUITA

FILHO”, Botucatu – SP. 2008.

SALVADOR, N., BENEZ, S. H., MION, R. L.. Consumo de combustível na operação de subsolagem realizada antes e depois de diferentes sistemas de preparo periódico do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n. 2, p. 256-262, abr/jun. 2008.

SANTOS, M. da S., Alonço, A. dos S., BAUMHARDT, U. B.. Principais fatores que influenciam o desempenho de escarificadores e subsoladores. Uma revisão de literatura. **Tecnol. & Ciên. Agropec.**, João Pessoa, v.5, n.1, p.13-19, mar. 2011.

SASAKI, C. M., GONÇALVES, J. L de M.. Desempenho operacional de um subsolador em função da estrutura, do teor de argila e de água em três latossolos. **Scientia Forestalis**, n. 69, p. 115-124, dez. 2005.

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

SILVA, R. P da, *et al.* **Compactação do solo, escarificação e subsolagem**. Material Didático. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campos Jaboticabal – SP, maio. 2005.

SILVA, R. P. da, *et al.* Qualidade das operações de preparo reduzido do solo e transplântio mecanizado de mudas de café. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 51-60, jan/mar. 2014.

SILVEIRA, W. M. **Eficiência energética de um trator agrícola 4x2 TDA em pista de concreto em função do desgaste dos pneus e da velocidade de deslocamento**. 2018. 73 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará – CE. 2018

SOUSA, R. B. C. de. **Conforto térmico de operadores de tratores agrícolas submetidos a diferentes condições de operação de preparo de solo**. 2014. 97 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE. 2014.

SOUZA, L. da S., BORGES, A. L.. In: Capítulo II: Preparo e Conservação do solo. **O cultivo da Bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura. 2004. Cap. 2. p. 24-31.

SOUZA, F. H. de., *et al.* Patinação dos rodados em função pressão de inflação dos pneus e força aplicada na barra de tração do trator em solo mobilizado. In: **XXLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA**, Campo Grande - MS , jun. 2014.

SPAGNOLO, R. T., *et al.* Fuel consumption of a tractor in function of wear, of ballasting and tire inflation pressure. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n. 1, p. 131-139, jan/fev. 2012.

VASCONCELOS, K. S. L. de, SILVA, T. J. J. da, MELO, S. R. da S.. MECANIZAÇÃO DA AGRICULTURA: Demanda por tratores de rodas e máquinas agrícolas nos estados da Região Nordeste. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.6, n.2, p. 207-222, maio/ago 2013.

VEGRO, C. L. R., FERREIRA, C. R. R. P. T., CARVALHO, F. C. de. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS: Evolução e Mercado, 1985 – 95.

**Informações Econômicas**, São Paulo, v. 27, n. 1, jan. 1997.

ZOZ, F. M., R. L. TURNER, L. R. SHELL. **Power delivery efficiency: A valid measure of belt and tire tractor performance. Transactions of the ASAE**, v.45, p.509-518. 2002.

ZOZ, F., GRISSO, R.D. **Traction and tractor performance**. St Joseph: ASABE. 2003. 46p.