

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS  
ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

**ÍNDICE DE AVANÇO CINEMÁTICO SOB  
DIFERENTES MASSAS NO SISTEMA HIDRÁULICO  
FRONTAL E TRASEIRO DE UM TRATOR 4x2 TDA**

**EDUARDO GUSTAVO DO CARMO**

**SINOP  
MATO GROSSO – BRASIL  
2019**

**EDUARDO GUSTAVO DO CARMO**

**ÍNDICE DE AVANÇO CINEMÁTICO SOB DIFERENTES MASSAS NO  
SISTEMA HIDRÁULICO FRONTAL E TRASEIRO DE UM TRATOR 4x2  
TDA**

Orientador: **Professor Dr. Thiago Martins Machado**

Trabalho de Curso apresentado à Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT - *Campus* Universitário de Sinop, como parte das exigências para obtenção do Título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

**SINOP**

**2019**

## Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

C287i Carmo, Eduardo Gustavo do.  
Índice de avanço cinemático sob diferentes massas no sistema hidráulico frontal e traseiro de um trator 4x2 TDA / Eduardo Gustavo do Carmo. -- 2019  
55 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Thiago Martins Machado.  
TCC (graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Sinop, 2019.  
Inclui bibliografia.

1. parâmetros operacionais. 2. pneus agrícolas. 3. método prático. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**  
**CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS**  
**CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**  
**COMISSÃO DE TRABALHO DE CURSO**



## **TERMO DE APROVAÇÃO DE TC**

**TÍTULO DO TRABALHO:** Índice de avanço cinemático sob diferentes massas no sistema hidráulico frontal e traseiro de um trator 4x2 TDA.

**ACADÊMICO:** Eduardo Gustavo do Carmo

**ORIENTADOR:** Profº. Dr. Thiago Martins Machado

**APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Profº. Dr. Thiago Martins Machado**  
**Orientador**

**Profº. Dr. Diego Augusto Fiorese**  
**Membro**

**Profº. Dr. Rodrigo Sinaidi Zandonadi**  
**Membro**

**DATA DA DEFESA:** 14 de Fevereiro de 2020.

*Aos meus pais Neusa Teresinha do Carmo e Leonel do Carmo,*

*A minha irmã Camila Fernanda do Carmo,*

*A minha querida Avó Maria Farinon, meus saudosos Avôs João Farinon e Nelson do Carmo, meus tios e familiares próximos,*

*Aos meus amigos, Caroline Maggioni, Dalva Alves, Daniel Júnior, Diohni Schwengber, Edener André Kristoschik dos Santos, Frederico Mota Cervo, Gabriel Felipe da Silva Ricardo, Gelson Michelin, José Pelegrin, Luis Eduardo Brizolla, Marionei Fomaca, e Renan Felipe Almeida de Araujo.*

*Pessoas que me acompanharam de perto e tiveram boa parcela de motivação nessa trajetória, fornecendo a inspiração, o apoio e conforto necessários para continuar com foco e força em busca de cada objetivo.*

**DEDICO.**

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Sinop, seus técnicos e servidores, pela oportunidade, experiência e respeito tratados nesse período. Aos professores que me instruíram, confiaram seu tempo, sabedoria e paciência, em especial aos professores Thiago Martins Machado, Diego Augusto Fiorese e Rodrigo Sinaidi Zandonadi, que foram direta e indiretamente fundamentais na realização deste trabalho, com conselhos, dicas, opiniões, sermões, motivação, respeito e inspiração de alguma forma.

**MEU SINCERO MUITO OBRIGADO!**

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
2.1. Objetivos Gerais.....	12
2.2. Objetivos Específicos .....	12
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>13</b>
3.1. Trator agrícola.....	13
3.1.1. Tratores 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA) .....	14
3.1.2. Sistema hidráulico de três pontos frontal .....	15
3.1.3. Sistema hidráulico de três pontos traseiro .....	15
3.2. Parâmetros Operacionais.....	15
3.3. Pneus Agrícolas .....	19
3.3.1. Pneus radiais e diagonais .....	21
3.4. Avanço cinemático .....	21
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>25</b>
4.1. Localização da área experimental.....	25
4.2. Trator agrícola e adequação de massa.....	25
4.3. Pneus utilizados.....	27
4.4. Configuração operacional .....	27
4.5. Delineamento experimental e análise estatística.....	29
4.6. Avaliação do índice de avanço cinemático .....	29
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>33</b>
5.1. Comparação de pneus, em cada pressão, distribuição, massas adicionais dianteira e traseira. ....	36
5.2. Comparação de pressões, em cada pneu, distribuição, massas adicionais dianteira e traseira. ....	39
5.3. Comparação de distribuições, em cada pneu, pressão, massas adicionais dianteira e traseira. ....	43

5.4. Massas adicionais frontais, para cada pneu, pressão, distribuição e massa adicional traseira.....	45
5.5. Comparação de massa adicional traseira, para cada pneu, pressão, distribuição e massa adicional dianteira. ....	46
5.6. Comparação do índice de avanço entre as testemunhas. ....	48
6. CONCLUSÕES .....	51
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	52

## RESUMO

O índice de avanço cinemático representa relativamente a diferença de velocidades de rodagem entre eixos dos pneus dianteiros e traseiros em um trator devido a diferença física de tamanho que há entre eles, o que é observado com e sem a tração dianteira auxiliar acionada, sendo um fator importante na questão do desgaste do sistema de transmissão e dos pneus, desta forma justifica-se identificar parâmetros desfavoráveis neste sentido a fim de evitá-los. Portanto o trabalho teve por objetivo comparar dois tipos construtivos de pneus agrícolas em diversas condições de operação utilizando massas no sistema hidráulico frontal e traseiro de um trator 4x2 TDA, sendo eles o tipo diagonal e o radial, para fins de verificar de maneira prática possíveis alterações no índice de avanço cinemático e observar quais condições são ideais para melhor desempenho, e conseqüentemente maior eficiência de trabalho, e menor desgaste do sistema de transmissão e rodados do trator. Utilizou-se o método de mensuração prático visual através da contagem de garras e a relação do número de voltas de cada rodado com a tração acoplada e desacoplada, obtendo-se um índice relativo entre as rodas. O índice de avanço teve uma maior variação para os pneus diagonais em relação aos radiais, este último demonstrou grande quantidade de resultados inferiores ao ideal, principalmente na utilização da menor pressão com massa dianteira combinado ao não uso da massa traseira no sistema de três pontos.

**Palavras chave:** parâmetros operacionais, pneus agrícolas, método prático.

## ABSTRACT

The kinematic advance index represents relatively the difference in driving speeds between the front and rear tires on a tractor due to the physical size difference between them, which is observed with and without the driven auxiliary front traction, being a factor important in the issue of wear of the transmission system and tires, so it is justified to identify unfavorable parameters in this sense in order to avoid them. Therefore, the work aimed to compare two constructive types of agricultural tires in different operating conditions using greases in the front and rear hydraulic system of a 4x2 TDA tractor, being the diagonal and the radial type, in order to check possible changes in a practical way in the kinematic advance index and observe which conditions are ideal for better performance, and consequently greater work efficiency, and less wear on the transmission system and tractor wheels. The practical visual measurement method was used through the claw counting and the relation of the number of turns of each wheel with the coupled and uncoupled traction, obtaining a relative index between the wheels. The index of advance had a greater variation for the diagonal tires in relation to the radial ones, the latter demonstrated a large amount of inferior results to the ideal, mainly in the use of the lower pressure with front mass combined with the non-use of the rear mass in the three-point system.

**Keywords:** operational parameters, agricultural tires, practical method.

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de modernização da agricultura ao longo da história ocasionou um incremento tecnológico no âmbito rural que possibilitou a intensificação do uso do solo e conseqüentemente a produção em grande escala, destacando-se nesse processo o desenvolvimento da mecanização agrícola, que inevitavelmente resultou no acréscimo do tráfego de máquinas agrícolas na lavoura (BERISSO *et al.*, 2013; FOUNTAS *et al.*, 2013).

A diversidade de atividades desempenhadas por um trator em uma propriedade agrícola é enorme, tornando sua utilização e versatilidade extremamente importantes. Sendo assim, faz-se necessário o desenvolvimento de formas alternativas que aprimorem o gerenciamento das atividades agrícolas, especialmente da principal fonte de potência utilizada para estas. Portanto, justifica-se buscar otimizar seu desempenho, de forma a reduzir consumo, evitar possíveis danos mecânicos em decorrência de desgaste excessivo ou desnecessário, agilizar tarefas e melhorar o conforto ao operador (VALE *et al.*, 2011).

Para Schlosser (1996) o trator de roda dianteira de menor diâmetro e tração nas quatro rodas são bem aceitos em mercados internacionais como: Estados Unidos, Europa, e vários outros, sendo que o mercado espanhol tem mais de 80% das vendas de tratores com modelos TDA. Para Yanai *et al.*, (1998) o que demonstra grande aceitação do trator 4x2 TDA é o índice de 60% dos modelos disponíveis com essa característica no cenário nacional. Segundo Corrêa *et al.* (1998) boa parte desta aceitação se deve à superior capacidade de tração que estes tratores possuem. Para Rackham & Blight (1985), em tratores 4x2 TDA quando acionada, ocorre uma ligação rígida entre os eixos na mesma fonte de transmissão de potência, que resulta em uma interferência entre as rodas com diâmetros distintos impulsionadas a girar com mesma velocidade angular, ou seja, o eixo dianteiro gira com rotação superior ao eixo traseiro, o que denomina-se avanço cinemático.

Para Barbosa (2005), o pneu do trator é um dos componentes mais importantes em relação ao seu desempenho, pois tem função de manter equilíbrio, parcial amortecimento, deslocamento, direcionamento e esforço tratório. Quanto a forma estrutural, têm-se principalmente os pneus radiais e diagonais sendo o último mais comum em máquinas agrícolas atualmente.

Os sistemas hidráulico frontal e traseiro em um trator podem trabalhar simultaneamente de forma a otimizar sua utilização e podem ser compostos pelo: engate de três pontos, TDP (tomada de potência) e terminais de engate. Os sistemas de engate de três pontos junto ao sistema hidráulico fornecem aos implementos na posição montada a potência necessária à realização das atividades agrícolas. Sendo estes responsáveis principalmente pelo: levantamento e abaixamento do implemento, o controle de posição e o controle de tração destes (FERREIRA, 2010).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivos Gerais**

O objetivo deste trabalho é analisar o comportamento do índice de avanço cinemático em um trator 4x2 TDA, em diversas configurações de operação, variando as massas no sistema hidráulico frontal e traseiro, e comparando dois diferentes tipos construtivos de pneus agrícolas, a fim de identificar de modo prático fatores com potencial de prejudicar a operação e relacionar os parâmetros ideais para tal.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Comparar desempenho entre os tipos construtivos de pneus através do índice de avanço cinemático;
- Identificar por método prático os parâmetros adequados de configuração operacional;
- Analisar condições ideais e prejudiciais de operação.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Trator agrícola

Na busca por obter um veículo com capacidade de executar trabalhos com exigência de tração para substituir os animais até então explorados para tal fim, por volta do ano de 1850 popularizou-se a combinação de duas palavras oriundas do idioma inglês que batizaram o termo atualmente utilizado “trator”, derivado das palavras: motor de tração (Traction motor), (SIMONE *et al.*, 2006).

O avanço da agricultura associa-se desde seus primórdios a respectiva evolução das ferramentas disponíveis e adaptáveis, em termos mais atuais ao progresso tecnológico do maquinário agrícola, e com a diversidade dos implementos agrícolas o trator tornou-se indiscutivelmente indispensável para a agricultura (JADOSKI *et al.*, 2016). A agricultura moderna hoje tem o trator agrícola como elemento base do sistema de produção, pois sem ele não seria mais possível atingir os atuais patamares produtivos, Bilski (2013) afirma que o trator de rodas é comumente o veículo mais utilizado nas propriedades rurais e também uma potencial fonte de ruído na agricultura.

Mialhe (1996) conceitua o trator agrícola como uma máquina autopropelida dotada de mecanismos que proporcionam apoio estável sobre a superfície e possibilitam-na tracionar, transportar e fornecer potência mecânica para movimentar implementos e máquinas agrícolas.

Para a *American Society of Agricultural Engineer* (ASAE, 1995), o trator agrícola é uma máquina de tração projetada e inicialmente recomendada para fornecer potência aos implementos agrícolas, afirmando a extrema importância do uso do trator agrícola na agricultura moderna como objeto de grande versatilidade e dinamismo. Ainda segundo a *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD, 2007), os tratores agrícolas são veículos autopropelidos de rodas com ao menos dois eixos ou esteiras, projetados principalmente para tracionar implementos, reboques, ferramentas e máquinas agrícolas, e também quando necessário fornecer potência para que estes possam executar tarefas tanto parados quanto em movimento.

A evolução dos tratores agrícolas é notória desde seu surgimento, sendo que as máquinas atualmente desenvolvidas vêm se destacando não apenas por cumprirem suas funções básicas de tração e transmissão de potência, mas ainda por serem cada vez mais eficientes e otimizadas e manter boa relação custo benefício e conforto para quem o maneja (MÁRQUEZ, 2012).

A classificação dos tratores agrícolas pode considerar diferentes critérios, sendo alguns deles: quanto ao tipo de estrutura construtiva, tipo de tração, quanto ao tipo de rodado, potência, bitola, aplicação, massa total, entre outros.

A classificação segundo Silveira (1987) é feita de duas formas: a primeira relacionada ao sistema de locomoção, podendo ser ainda de dois tipos, os de pneus ou rodas e os de esteiras; a segunda maneira tem como base comparativa o modo de tração onde os tratores de rodas podem apresentar tração em duas rodas, tração dianteira auxiliar (TDA) e tração integral nas quatro rodas. De acordo com o mesmo autor, além de existirem os tratores propriamente assim designados, existem também os motocultores também chamados de cultivadores motorizados ou tratores de rabiças e os microtratores, com funções específicas.

A subdivisão proposta pela ANFAVEA (2006) coloca os tratores agrícolas em faixas de potência bruta do motor: com até 36 kW de potência (49 cv), de 36,8 até 72,8 kW (50 a 99 cv) e tratores acima de 73,6 kW (100 cv) de potência.

A classificação de Márquez (2012) considera a proposta da ANFAVEA (2006), a qual também serviu de base para um novo formato de classificação para tratores agrícolas no Brasil. Nessa classificação considera-se além da potência disponível no motor, o número de cilindros, o volume interno e ainda a massa total do trator, sendo dividida então em seis classes, como demonstra o (Quadro 1).

Quadro 1 - Classificação dos tratores agrícolas de rodas do tipo Standard.

<b>Classe</b>	<b>Denominação</b>	<b>Potência (cv)</b>	<b>Descrição</b>
I	Muito pequeno	≤ 50	Volume interno < 3,5 L
II	Pequeno	50,1 – 79,9	3, 4 e 5 cilindros e volume interno < 3,5 L
III	Médio	80 – 109,9	3 e 4 cilindros e volume interno > 3,5 L
IV	Grande	110 – 159,9	4, 5 e 6 cilindros
V	Muito grande	160 – 199,9	6 cilindros
VI	Extra grande	≥ 200	> 6 cilindros e massa sem lastro > 8000 kg

Fonte: Adaptado de Márquez (2012).

### 3.1.1. Tratores 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA)

Cerca de 50% dos tratores comercializados na Europa no ano de 1982 possuíam tração dianteira auxiliar, já em 1977 a realidade era de apenas 17% (RACKHAM & BLIGHT, 1985). De acordo com Schlosser (1996) o trator com menor diâmetro de roda dianteira e

tração nas quatro rodas são bem aceitos em mercados internacionais como: Estados Unidos, Europa, e vários outros, sendo que o mercado espanhol tem mais de 80% das vendas de tratores com modelos TDA.

Para Yanai *et al.*, (1998) o que demonstra também grande aceitação do trator 4x2 TDA é o índice de 60% dos modelos disponíveis de trator com essa característica no cenário nacional. Segundo Corrêa *et al.* (1998) boa parte desta aceitação se deve à superior capacidade de tração que estes tratores possuem.

Em tratores 4x2 TDA as rodas dianteiras são normalmente menores que as traseiras, e pode-se conectar ou desconectar a tração dianteira a partir do comando do operador, o que pode ser vantajoso promovendo diferentes características do mesmo trator em função do trabalho a ser realizado (SCHLOSSER, 1996).

### 3.1.2. Sistema hidráulico de três pontos frontal

Os órgãos de acoplamento frontais tem por objetivo aumentar a questão do aproveitamento do trator, pois possibilita a realização de no mínimo duas operações em cada “passada” porque pode ser utilizado concomitantemente com o implemento carregado no sistema hidráulico traseiro, ou ainda proporciona a possibilidade de utilização do mesmo trator para uma função diferente sem a necessidade de troca de implementos. O sistema hidráulico frontal pode ser composto de forma semelhante ao sistema traseiro por: o engate de três pontos, TDP (tomada de potência) e terminais de engate. Algumas combinações podem ser exemplificadas como: o uso de dois arados, grade dianteira e semeadora traseira, segadora de forragem dianteira e recolhadora com carreta transportadora traseira, lâmina frontal e qualquer outro implemento na traseira, “concha” basculante frontal e outro implemento na traseira, entre outras possibilidades (FERREIRA, 2010).

### 3.1.3. Sistema hidráulico de três pontos traseiro

O sistema de engate de três pontos traseiro do trator conjuntamente com o sistema hidráulico, de forma análoga ao sistema frontal fornecem aos implementos a posição e potência necessária à realização das atividades agrícolas. Sendo de responsabilidade desse sistema então principalmente: o levantamento e abaixamento do implemento, o controle de posição e o controle de tração (FERREIRA, 2010).

## 3.2. Parâmetros Operacionais

O trator assim como qualquer outra máquina, necessita de determinados ajustes ou regulagens para que possa executar operações com eficiência e qualidade, alguns fatores como pressão interna dos pneus e quantidade de lastro podem interferir diretamente no seu desempenho (SOUZA, 2017).

Em função da multifuncionalidade que rege o projeto de um trator, a indústria por questões de otimização da produção e redução de custos, incrementa na sua totalidade dimensões em série industrial, transferindo a responsabilidade de adaptação às condições de cada trabalho agrícola ao usuário, o que se consegue realizar selecionando-se os tipos de pneus e suas respectivas pressões internas, como também os lastros sólidos móveis adicionais que possibilitam alcançar a massa total adequada e o equilíbrio de distribuição entre eixos de acordo com a atividade a ser desenvolvida (SCHLOSSER *et al.*, 2004). A recomendação, assim como o desempenho operacional de tratores agrícolas relaciona-se diretamente com o sua massa (MASIERO *et al.*, 2009).

O desempenho operacional das máquinas agrícolas baseia-se em um conjunto de informações por vezes complexas, que determinam suas características ao executarem operações em determinadas condições de trabalho. Tais informações podem ser atribuídas à qualidade e quantidade de trabalho, e dinamicamente relativas à potência e a velocidade deste (FESSEL, 2003).

Observar alguns parâmetros operacionais do trator antes de iniciar qualquer atividade pode ser determinante para a qualidade da operação, podendo inclusive afetar negativamente a capacidade produtiva do solo, assim como a integridade mecânica do próprio trator, impactando diretamente a eficiência de trabalho no campo, como também a quantidade e/ou necessidade de manutenções corretivas. Alguns desses principais fatores são: a velocidade de trabalho, a potência requerida para tal, os tipos de pneus utilizados e a pressão interna adequada para os mesmos, os índices de patinagem, avanço cinemático e lastragem (NERES *et al.*, 2012).

O fornecimento de potência e conseqüentemente a capacidade de tração suficiente para desenvolver a maioria das operações agrícolas, dependem em parte do tipo de dispositivo de tração. Quando se trata de pneus, então o próprio tamanho, a pressão interna, carga aplicada sobre o eixo motriz, a transferência de peso, entre outros fatores, interferem significativamente na capacidade de tração do trator (ZOZ & GRISSO, 2003).

Sendo o pneu agrícola, um dos principais componentes de um trator, além de compor boa parte dos custos operacionais, Monteiro (2008), indica que fatores como o tipo construtivo e sua adequada calibração de pressão interna afetam substancialmente o seu desempenho, conjuntamente outros fatores de regulagens como a lastragem e velocidade de deslocamento modificam também sua eficiência trativa.

Monteiro (2011) afirma que os resultados de desempenho do trator, possuem relação direta com a configuração operacional estabelecida para cada tipo de atividade a ser realizada, assim como o tipo de solo a que for submetido, e esses parâmetros são totalmente influenciados pelo tipo de construção dos pneus, a devida pressão interna, a carga aplicada em cada eixo, o tipo de dispositivo de tração, além do desgaste do próprio pneu. Em contrapartida, o mesmo autor destaca que quando alguns desses fatores são alterados também se modifica a relação de avanço cinemático do trator. Nesse sentido, os tratores agrícolas podem ser configurados e regulados de acordo com a necessidade do usuário com o intuito de melhorar eficiência, condições de trabalho e economia durante as operações.

Dada a importância de se utilizar a pressão interna adequada do pneu é visto que pode-se desta forma trazer benefícios quanto ao aumento de rendimento do trator, como em relação a patinagem e perdas de tração, proporcionando melhor desempenho operacional (SOUZA, 2017). Ainda conforme o mesmo autor, a pressão interna pode causar alterações na patinagem e no avanço cinemático do trator, sendo estas, variáveis fundamentais na avaliação de rendimento.

Logo, o fator pressão interna dos pneus é preponderante nas operações com tratores agrícolas, em que através da variação de pressão pode-se alterar a área de contato do pneu com o solo e assim, conseguir ajustar a capacidade de tração conforme a operação. Segundo Paula (2008), baixas pressões ou altas cargas podem sobrecarregar os pneus, ocorrendo grandes deformações no solo, estas deformações são a área de solo mobilizada e a profundidade do recalque do pneu no solo. Além disso, a pressão interna dos rodados é de grande relevância na distribuição de tensões que influencia na dimensão da área de contato dos pneus (BIRIS *et al.*, 2011), contribuindo para a determinação das pressões de contato, determinação da relação tensão-deformação do pneu e o risco de compactação (TAGHAVIFAR; MARDANI, 2013).

Segundo Spagnolo *et al.* (2012) o uso de pressão interna e lastragem apropriadas, promove maior capacidade operacional, além de prolongar a vida útil do rodado, diminuindo perda de tração, patinagem excessiva e elevado consumo de combustível. Taghavifar e Mardani (2012) avaliaram em seu estudo a área de contato de um pneu sob diferentes cargas e inflado com pressões de 100; 150 e 290 kPa, chegaram a conclusão de que para uma mesma carga, a área de contato é maior na pressão de 100 kPa, ou seja, na pressão mais baixa. A explicação dos autores para o ocorrido é porque houve o aumento da deflexão do rodado quando se diminuiu a pressão interna. Já em um trabalho realizado por Feitosa *et al.* (2015) a área de contato aumentou cerca de 25% para os rodados traseiros quando a pressão interna foi reduzida de 124 para 83 kPa.

Para Jadoski *et al.* (2016) a pressão interna de um pneu pode influenciar significativamente o rendimento operacional do trator. Segundo Misiewicz *et al.* (2015) a distribuição da pressão interna deve ser uniforme para que se obtenha uma melhor relação de equilíbrio dinâmico. Assim, Schjonning *et al.* (2008) apontam a importância da distribuição da pressão interna e do contato da banda do pneu com a superfície do solo, processo este que é considerado essencial para a redução de compactação. Mion *et al.* (2016) avaliando possibilidades de pressões do pneu de um trator observaram que pressões altas favorecem reduções na área de contato do pneu com a superfície do solo.

Como já mencionado a pressão de inflação tem extrema influência na área de contato com relação à interação pneu-solo, além da distribuição de pressão na superfície do mesmo, sendo desta forma que para uma menor compactação do solo e maior eficiência tratória deve-se então ter uma maior área de contato entre o pneu e o solo, utilizando-se para isso menores pressões dos rodados (MASIERO; LANÇAS; MONTEIRO, 2011).

Desse modo, Serrano (2008) ao estudar a utilização de pressões elevadas, concluiu que houve de 3 a 5% de redução na capacidade de trabalho e aumento significativo, na ordem de 10 a 25%, do consumo de combustível por unidade de área (hectare), ainda que em boas condições de aderência dos pneus, observadas no intervalo de 7 a 15% de patinagem.

Yanai *et al.* (1999), em um trabalho realizado com o objetivo de avaliar, em condições normais de campo, a influência de fatores como a pressão e a carga sobre o rodado motriz em quatro níveis, nas duas possíveis condições de tração dianteira auxiliar, ou seja, tendo a mesma acionada ou não. Os autores em questão observaram que a pressão influenciou significativamente nos parâmetros tais como: patinagem, velocidade de deslocamento e potência na barra de tração. O uso da tração dianteira auxiliar (TDA), apresentou vantagens significativas com relação aos mesmos parâmetros anteriores (YANAI *et al.*, 1999). A interação entre os fatores pressão interna e carga sobre o rodado indicou que houveram determinadas combinações de pressão que foram mais favoráveis para o desenvolvimento de maior velocidade e menor patinagem. Em complemento ao estudo, as características relacionadas ao desempenho do motor como o consumo horário de combustível e rotação do motor, não foram afetadas por nenhum dos fatores ou suas interações (YANAI *et al.*, 1999).

Nagaoka *et al.* (2002) concluíram que as condições superficiais do solo também influenciam no desempenho com relação ao consumo de combustível do trator, pois quando comparado o consumo de combustível em diferentes tipos de preparo do solo, foi observado que o maior consumo aconteceu quando foi utilizado o método convencional de preparo em relação à área sob o sistema de plantio direto.

De acordo com o exposto, é de suma importância estudar como essas variáveis interagem visando assim melhorar o uso adequado de diferentes níveis de pressões, bem como se estas influenciam de maneira significativa o avanço cinemático, a deformação que o pneu causa no solo como a largura e profundidade de recalque e resistência a penetração (SOUZA, 2017). Além disso, conforme destaca Souza (2017) sabe-se que a massa do trator também influi diretamente nos índices de desempenho do mesmo, informação essencial para a definição de aptidão de determinadas operações, desta maneira a correta lastragem é tão importante quanto, para um maior rendimento da máquina bem como para a qualidade da operação a ser executada.

Portanto, é necessário que se avance ainda mais com informações previamente consolidadas, em relação aos efeitos de um adequado ajuste dos tratores agrícolas, objetivando cada vez mais eficiência operacional e em consequência disso maior vida útil e aproveitamento da capacidade da máquina (SOUZA, 2017). Adequar um trator agrícola visando à utilização de pneus ajustados para diferentes condições de superfície de solo resulta em melhorias no desempenho de maneira geral, resultando-se em aumento da capacidade operacional, da vida útil, e melhor qualidade de serviço, além de minimizar o custo operacional (SOUZA, 2013).

### **3.3. Pneus Agrícolas**

Um dos componentes mais importantes do trator e da maioria das máquinas agrícolas de autopropulsão são os pneus agrícolas, tendo significativa participação nos custos operacionais de campo e, além do mais, nos custos finais de sua fabricação (MONTEIRO, 2008). Assim, o emprego correto de pneus, tanto em relação ao seu tipo construtivo quanto a calibração de sua pressão interna, são fatores que influem significativamente no seu desempenho (MONTEIRO, 2008).

Conforme destaca Barbosa (2005), o conjunto de rodado de um trator é um dos componentes mais importantes em relação ao seu desempenho, pois tem a função de manter equilíbrio, parcial amortecimento, deslocamento, direcionamento e esforço tratório.

De acordo com Mialhe (1980), os pneus utilizados em tratores e máquinas agrícolas devem ser projetados para suportar com segurança, o peso do trator ou máquina em situação estática e dinâmica, agir como sistema de amortecimento de impactos devido irregularidades do solo, além de garantir também, com eficiência, a transmissão das forças motrizes e frenantes do trator com relação ao solo.

Os pneus representam papel fundamental nos tratores agrícolas por proporcionarem equilíbrio, o deslocamento, o direcionamento e o amortecimento de vibrações, oriundas das

imperfeições do terreno, e que podem afetar o desempenho operacional (MONTEIRO *et al.*, 2011).

A capacidade de tração e fornecimento de potência suficiente para desenvolver a maioria das operações agrícolas depende, em grande parte, do tipo de dispositivo de tração. Quando se trata de pneus, o próprio tamanho, pressão interna, carga aplicada sobre o eixo motriz, transferência de peso, entre outros fatores, participam fundamentalmente na capacidade de tração do trator (NAGAOKA *et al.*, 2002; ZOZ & GRISSO, 2003).

Para Yanai *et al.* (1999), dentre as características dos pneus que interferem no desempenho operacional do trator, estão o tipo construtivo, a configuração da banda de rodagem, largura e diâmetro dos rodados e ainda a carga normal sobre as rodas motrizes.

Conforme Mialhe, (1980) os pneus apresentam estrutura em formato tubular circular, de modo que quando inflado com determinada pressão, promove resistência, dentro dos limites normais de trabalho, em relação às cargas nele aplicadas e as diversas solicitações estáticas e dinâmicas que atuam sobre o mesmo. De acordo com o mesmo autor, o pneu é basicamente composto por borracha vulcanizada e camadas de cordonéis, também chamadas de lonas que podem ser (malhas de fibras de algodão, de aço, nylon, poliéster, etc), e que se estendem ao longo de sua estrutura.

Com relação à sua forma construtiva ou estrutural, têm-se principalmente os pneus radiais e diagonais.

Conforme destaca Correa (1999a) o rodado é a última e mais íntima parte de ligação do motor do trator para com o solo, e estudar seu comportamento e interações é de fundamental importância para avaliação do desempenho do trator, havendo portanto a necessidade de conhecer melhor este componente, utilizando a pressão de inflação indicada pelo fabricante e acatando os devidos cuidados perante sua manutenção.

Lopes *et al.* (2005) estudando o desempenho de um trator agrícola 4x2 TDA de 89 kW (121 cv), e variando o tipo de pneu sendo eles (radial, diagonal e baixa pressão), e ainda combinando duas condições de lastragem do trator (com e sem lastro líquido nos pneus) sob quatro diferentes velocidades de deslocamento, chegaram a conclusão de que a combinação do tipo de pneu e marcha utilizou demonstrou superioridade do pneu radial em relação aos demais para a variável potência na barra, com o trator operando na marcha M3 (4,57 km h<sup>-1</sup>).

Nas observações de Cordeiro (2000) avaliando o desempenho de um trator em função do tipo de pneu utilizado (radial, diagonal e BPAF) em condições de campo, o autor constatou que o menor consumo de combustível ocorreu quando os pneus radiais foram ensaiados sob pressão de inflação de 110 kPa (16 psi) e carga no pneu traseiro variando de 18.000 N a 22.500 N. Para o pneu diagonal, com a pressão de 124 kPa (18 psi) e carga no

pneu traseiro entre 17.000 N e 22.000 N, houve maior capacidade de tração, e com menor índice de patinagem para a força de tração na barra, sob condições de maiores lastragens.

### 3.3.1. Pneus radiais e diagonais

Os pneus agrícolas podem ter lonas com diferentes formatos de posicionamento, o que pode afetar as características de desempenho operacional de forma considerável. O tipo construtivo que possui as lonas no formato diagonal são as de construção normal ou mais comum em pneus agrícolas. Os dois flancos assim como a banda de rodagem são rígidos para esforços longitudinais e também laterais. O nível de rigidez pode ser modificado pela alteração do ângulo de disposição das lonas. As lonas radiais promovem flexibilidade lateral através dos flancos, e junto ao reforço da banda de rodagem fornecem maior vida útil desta em superfícies mais rígidas e também um ângulo menor de inclinação para determinada carga lateral (INNS & KILGOUR, 1978).

Nos pneus radiais os fios que compõem as lonas da carcaça formam arcos transversais ou perpendiculares ao sentido de deslocamento ou rodagem, sendo então que sua estabilidade a superfície é proporcionada por meio de uma cinta composta de lonas sobrepostas, formando uma única carcaça permitindo apenas o movimento ou esforço de flexão, e não fricção entre lonas (LEITE, 2015).

Já nas estruturas diagonais ou convencionais, os fios das lonas cruzam-se umas em relação às outras. Neste formato construtivo, os flancos do pneu contribuem com a banda de rodagem, sendo que a flexão dos flancos quando a roda se movimenta, transmite-se à banda de rodagem, adequando-se desta maneira à superfície do solo (LEITE, 2015).

### 3.4. Avanço cinemático

Como salienta Rackham & Blight (1985), para tratores com tração dianteira auxiliar (4x2 TDA) quando esta é acionada, ocorre uma ligação rígida entre os eixos em uma mesma fonte de transmissão de potência, que conseqüentemente resulta em uma interferência entre as rodas com diâmetros distintos impulsionadas a girar com mesma velocidade angular sob contato da superfície em que se encontra, ou seja, o eixo dianteiro gira com rotação superior ao eixo traseiro, o que é denominado avanço cinemático. Esse avanço varia de acordo com os critérios do fabricante e, portanto conforme o modelo do trator e tem a função de corrigir as diferenças de diâmetros entre as rodas do eixo dianteiro e traseiro. Como as velocidades periféricas das duas rodas devem ser o mais equivalente

possível, os fabricantes recomendam pares compatíveis de pneus, deixando essas velocidades aproximadamente iguais (LINARES, 1996; RACKHAM e BLIGHT, 1985).

Denomina-se avanço cinemático ou também chamado avanço dinâmico de um trator a porcentagem obtida da diferença de rotação da roda dianteira, com e sem a tração dianteira auxiliar acionada, para um mesmo deslocamento da roda traseira, baseando-se na relação mecânica de distribuição de torque na dianteira e traseira do trator e ainda o raio de cada roda (LINARES *et al.*, 2006).

No que se refere a tratores com tração dianteira auxiliar (TDA) incorporada ao eixo dianteiro, com rodas de menor tamanho, ocorrem complicações como a diferença cinemática entre as rodas dianteiras e traseiras, já que possuem divergência de tamanho, estabelecendo-se então por característica construtiva uma discordância cinemática fixa, que atende de certa forma um compromisso técnico para circunstâncias “médias” de campo, mas que nem sempre proporcionam a melhor solução para condições reais de operação. O usuário consegue adequar a diferença cinemática de origem, que é consequência da velocidade de giro de cada roda e do raio dinâmico do pneu, utilizando lastros para diferentes condições de operação, modificando a pressão interna dos pneus e a própria posição relativa das massas de lastro, podendo assim atingir uma solução otimizada (SCHLOSSER *et al.*, 2004).

Com intuito de amenizar o efeito provocado pelas características que possui um trator (4x2 TDA) e seus rodados fisicamente distintos, adequando-se o índice de avanço, deve-se atentar para alguns parâmetros importantes como o correto uso dos pneus, tanto em relação ao tipo construtivo, quanto à pressão interna adequada, assim como a lastragem, distribuição de peso e velocidade de deslocamento, vale lembrar que o próprio solo e suas devidas condições também afetam o desempenho operacional do trator (MACHADO *et al.*, 2015).

A pressão interna dos rodados bem como a velocidade dos tratores utilizados em operações agrícolas provocam alterações na patinagem dos pneus e no avanço cinemático, parâmetros estes que são importantes na avaliação do rendimento tratório (FEITOSA *et al.*, 2015). Assim sendo, ao estudar o avanço cinemático de um trator os autores verificaram que quanto maior a pressão aplicada (110; 124 kPa), maior também foi o valor médio de avanço obtido (1,27%) já em pressões mais baixas observou-se que o avanço atingiu valores negativos, indicando que a velocidade dos rodados do eixo dianteiro é menor do que a dos rodados traseiros. Para esse mesmo estudo, os autores explicam que isso ocorreu devido ao aumento no raio de rolamento dos rodados quando inflados com maiores pressões. Segundo Linares *et al.* (2006), quando obtém-se um valor de avanço cinemático compreendido na faixa entre 1 e 5%, otimiza-se o desempenho do trator, porém para tal a patinagem dos rodados não deve ser superior a 20%.

Ainda para o manual técnico da empresa Trelleborg (2019), geralmente a faixa correta de avanço do pneu dianteiro com relação ao traseiro para tratores com tração dianteira auxiliar está compreendida entre os valores de 1 a 5%. Os mesmos valores de 1 a 5% são destacados pelo manual técnico da empresa PIRELLI (2018).

Com relação ao avanço cinemático, Souza (2017) observou em seu estudo que não houve diferença significativa na variação de cada pressão sendo elas: 32; 28; 24 e 20 psi para o pneu traseiro em relação ao dianteiro fixado em 14 psi dentro dos tratamentos em todas as relações massa potência aplicadas, as quais foram: 53; 50,5; 47 e 43 kg cv<sup>-1</sup>. Porém, o avanço teve variação significativa em função da relação massa potência empregado dentro de cada pressão, ou seja, a medida que a pressão interna do pneu traseiro aumentou reduziu-se o índice de avanço.

Diferentemente dos resultados obtidos por Feitosa *et al.* (2015), que ao estudar o avanço cinemático do trator observaram que quanto maior a pressão aplicada nas combinações de pressões: 110 kPa pneu dianteiro e 124 kPa pneu traseiro, maior foi o valor médio do avanço (1,27%). Para os autores, isso ocorreu devido ao aumento no raio de rolamento dos rodados quando inflados com pressões altas. Já Furtado Júnior (2013), trabalhando também com o avanço cinemático do trator obtiveram valores de -0,1387%, -0,2461% e -0,0717% quando aplicadas pressões internas de 83; 96 e 110 kPa, respectivamente.

Souza (2017) observou que apenas para a relação massa potência de 50,5 kg cv<sup>-1</sup> em seu estudo o avanço não teve alteração pela pressão dos pneus traseiros. Para as demais relações, o avanço diminuiu com o aumento da pressão, como se esperava, por conta de que aumentou a circunferência de rolamento dos rodados traseiros, reduzindo o número de voltas em relação aos dianteiros. Já Feitosa *et al.* (2015) observaram que o avanço cinemático do trator avaliado com tração dianteira auxiliar variou significativamente em função das pressões utilizadas que foram P1 (83; 96 kPa), P2 (96; 110 kPa) e P3 (110; 124 kPa). Onde aquela combinação, na qual as pressões aplicadas foram as mais altas (P3), apresentou também o maior valor médio de avanço cinemático, explicado pelo o aumento no raio de rolamento dos pneus quando inflados com maiores pressões.

Souza (2017) também observa que quando se utilizou a pressão máxima nos rodados traseiro e a pressão mínima nos dianteiros, obteve-se a relação de avanço mais próxima da ideal que de acordo com o mesmo gira entre (1,2 e 1,8%), sendo 1,8% para a relação massa potência 53 kg cv<sup>-1</sup>, 2,35%; 2,19% e 1,87% para as relações 50,5 kg cv<sup>-1</sup>, 47 kg cv<sup>-1</sup> e 44 kg cv<sup>-1</sup>, respectivamente.

Schlosser *et al.* (2004) estudando pneus inflados em várias combinações de pressões sendo (100 kPa eixo dianteiro e 220 kPa eixo traseiro; 160 kPa eixo dianteiro e 160 kPa eixo traseiro; 220 kPa eixo dianteiro e 160 kPa eixo traseiro), verificaram que os

valores do índice de avanço cinemático variaram entre -2,5 e 8,8%. Essas relações ocorreram então entre 0,975 e 1,088, ou seja, -2,5% e 8,8%. No primeiro caso, a relação cinemática é de atraso, as rodas traseiras giram em uma velocidade teórica mais alta que as dianteiras e, na segunda situação, acontece o adiantamento, isto é, as rodas dianteiras possuem velocidade teórica mais alta que as traseiras. De maneira geral, conseguiu-se escalonar as relações estáticas de -2,5%; -2,3%; 0,6%; 2,8%; 4,4%; 5,1%; 6,9%; 8,5%; 8,8% sendo as duas com sinal negativo de atraso, uma de igualdade ou neutralidade e as outras seis de adiantamento cinemático. Os respectivos autores, explicaram que essa variação ocorreu devido aos raios estáticos decorrentes da variação na pressão interna dos pneus.

Nesse contexto, para Souza (2017) vale ressaltar que mesmo após ser definida a relação massa potência do trator, entre outros fatores operacionais, a principal alternativa para o ajuste do avanço é feita em função da variação de pressão de ar nos pneus dianteiros e/ou traseiros. Entretanto, é fundamental sempre considerar as respectivas pressões máximas e mínimas recomendadas pelos fabricantes, seja para cada tipo de pneu, tanto diagonais como para os radiais.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Localização da área experimental

O experimento foi realizado na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), campus universitário de Sinop, Mato Grosso, em uma via de acesso ao Laboratório de Agricultura de Precisão e Mecanização Agrícola (LAPMEC), devidamente pavimentada (Figura 1).



Figura 1 - Área experimental, pista pavimentada.

### 4.2. Trator agrícola e adequação de massa

O trator utilizado foi da marca Agrale modelo 5105 4x2 TDA (Tração Dianteira Auxiliar) com 73,54 kW (100 cv) de potência máxima a 2300 rotações por minuto (rpm) no motor (Figura 2). O mesmo possui um sistema hidráulico de três pontos frontal adaptado. A massa do trator devidamente lastrado para os respectivos tratamentos foi de 5,5 toneladas, caracterizando uma relação massa potência constante de  $55 \text{ kg cv}^{-1}$ . Sendo que para a distribuição de peso 60% (3235 kg) eixo traseiro e 40% (2265 kg) eixo dianteiro utilizando pneus diagonais utilizou-se 2 lastros sólidos de 120 kg cada nos rodados traseiros, e tanto para os pneus traseiros quanto dianteiros preencheu-se 50% de lastro líquido. Já na configuração de distribuição 65% (3550 kg) eixo traseiro e 35% (1950 kg) eixo dianteiro

também para os pneus diagonais, os mesmos lastros sólidos de 120 kg nas rodas traseiras, e 75% e 25% de lastro líquido no pneu traseiro e dianteiro respectivamente. Quando utilizado os pneus radiais, na distribuição 60% (3350 kg) – 40% (2150 kg), para adequação do peso utilizou-se 50% e 50% de lastro líquido para os pneus traseiro e dianteiro respectivamente, manteve-se os lastros de 120 kg nos rodados traseiros. Já na distribuição 65% (3525 kg) - 35% (1975 kg) com pneus radiais, apenas alterou-se os lastros líquidos em relação a distribuição anterior, que ficaram no seguinte formato, 75% pneu traseiro e 25% pneu dianteiro. A relação mecânica de transmissão fixa deste trator é de 1,360 voltas do eixo dianteiro para 1 volta do eixo traseiro. As informações já citadas acima e as complementares seguem no (Quadro 2) para melhor efeito de organização e visualização de leitura.



**Figura 2** - Trator utilizado no experimento, equilibrado sob balanças de pesagem para adequação de massa.

**Quadro 2** - Especificações técnicas do conjunto trator-implementos.

<b>Especificações técnicas do trator e implementos utilizados</b>	
Trator marca / modelo	Agrale / 5105
Potência no motor	100 cv à 2300 rpm
Massa total (lastrado)	5500 kg
Relação massa/potência	55 kg cv <sup>-1</sup>
Relação mecânica de transmissão	1,360 : 1
Distância entre eixos	2,34 m
Altura	1,15 m (piso)
Vão livre vertical	0,42 m

Bitola dianteira / traseira	1,65 m / 1,85 m
Comprimento trator	4,22 m
Comprimento trator + arado	6,87 m
Comprimento trator + plataforma (nivelada)	5,70 m
Massa da plataforma	105 kg
Comprimento plataforma	1,03 m
Massa do arado (massa adicional traseira)	719 kg
Comprimento arado	2,65 m

### 4.3. Pneus utilizados

O trator foi equipado com dois tipos construtivos de pneus agrícolas, o tipo diagonal denominado 18.4-34 para o pneu traseiro e o 14.9-24 para o dianteiro, e ainda o tipo radial no qual se utilizou o pneu 460/85R34 traseiro e o 380/85R24 dianteiro, ambos os modelos da marca Pirelli®.

### 4.4. Configuração operacional

A velocidade padrão utilizada em todos os tratamentos foi de 5,2 km h<sup>-1</sup>, que corresponde a 1ª marcha alta (1A) a 1800 rpm no motor, conferida com trena e cronômetro.

Foram avaliadas duas distribuições de peso total do trator, sendo elas: 60%-40% e 65%-35%, nos eixos traseiro e dianteiro respectivamente.

Quanto às pressões de inflação interna dos pneus, para ambos os tipos construtivos utilizou-se aquelas de recomendação comum em operações agrícolas, sendo avaliadas as pressões máxima e mínima para cada tipo, as quais foram: para o pneu diagonal (20 e 24 psi, dianteiro e traseiro) como pressão maior e (14 e 16 psi, dianteiro e traseiro) como pressão menor; e para o pneu radial (15 e 17 psi, dianteiro e traseiro) como pressão máxima e (10 e 10 psi, dianteiro e traseiro) como pressão mínima.

Para simular um implemento acoplado no sistema hidráulico de três pontos frontal, utilizou-se uma plataforma de 105 kg suspensa a uma altura de 58,5 cm em relação ao solo e devidamente nivelada (Figura 3), a qual foi carregada com lastros sólidos para atingir as cargas variáveis a serem estudadas, sendo elas: 250 kg, 500 kg e 750 kg, onde utilizou-se lastros (quatro de 50 kg; seis de 45 kg; um de 150 kg e um de 25 kg) somados ao peso próprio da plataforma, estes uniformemente distribuídos dentro da mesma.

Para ocasiões em que se utiliza um implemento acoplado ao sistema hidráulico traseiro do trator de maneira simultânea, realizou-se todas as condições de operação, ou seja, todos os tratamentos “com” e “sem” o implemento montado na parte traseira, sendo este um arado de discos (Figura 4) na condição totalmente erguido ou em posição de transporte, tendo uma massa de 719 kg.



**Figura 3** - Plataforma carregada com lastros sólidos e devidamente nivelada.



**Figura 4** - Arado de discos montado ao trator conjuntamente com a plataforma.

As combinações dos 56 tratamentos seguem assim: dois tipos construtivos de pneus agrícolas (radiais e diagonais), duas diferentes pressões (alta e baixa) para cada pneu, duas distribuições de massa entre eixo traseiro e dianteiro (60-40 % e 65-35 %), três cargas inseridas no sistema hidráulico frontal (250 kg, 500 kg e 750 kg), com e sem implemento montado no sistema hidráulico traseiro, e sem nenhuma massa adicional em ambos os sistemas hidráulicos, e estão relacionadas conforme (Tabela 1).

**Tabela 1** - Tratamentos realizados.

<b>Configurações operacionais</b>				
<b>Pneu</b>	<b>Pressão (psi)</b>	<b>Distribuição (%)</b>	<b>Massa adicional dianteira (kg)</b>	<b>Massa adicional traseira (kg)</b>
<b>Diagonal</b>	Alta (20 - 24)	60 - 40	250 kg	719
	Baixa (14 - 16)	65 - 35	500 kg	0
			750 kg	
<b>Radial</b>	Alta (15 - 17)	60 - 40	250 kg	719
	Baixa (10 - 10)	65 - 35	500 kg	0
			750 kg	
<b>Testemunha Diagonal</b>	Alta (20 - 24)	60 - 40	0	0
	Baixa (14 - 16)	65 - 35	0	0
			0	
<b>Testemunha Radial</b>	Alta (15 - 17)	60 - 40	0	0
	Baixa (10 - 10)	65 - 35	0	0
			0	

#### 4.5. Delineamento experimental e análise estatística

Utilizou-se um delineamento estatístico, no esquema fatorial de cinco fatores sendo quatro deles com dois níveis e um com três níveis, isto é,  $2 \times 2 \times 2 \times 3 \times 2$ , com 8 tratamentos adicionais aqui denominados “testemunhas” (sem massas adicionais), totalizando 56 tratamentos, com 3 repetições. O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado.

A análise estatística dos dados foi realizada com o programa estatístico Sisvar na sua versão 5.6, e quando significativo a 5% de significância pelo teste F, utilizou-se o teste complementar de Tukey para a correlação entre as variáveis que é adequado no caso de comparação múltipla de médias.

#### 4.6. Avaliação do índice de avanço cinemático

O método utilizado para a coleta das informações foi o prático visual, através da contagem de garras e a relação do número de voltas de cada rodado com a tração acoplada e desacoplada, obtendo-se um índice relativo entre as rodas. Inicialmente marcou-se um

ponto de referência no trator para observar a garra correspondente à roda dianteira após cinco voltas dadas pela roda traseira que foi utilizada como referência com o trator deslocando-se em linha reta. As garras foram numeradas sequencialmente no pneu dianteiro (Figura 5) conforme o sentido de rodagem, facilitando a relação de número de garras totais no pneu à quantidade correspondente após as cinco voltas realizadas. A variável resposta observada é o índice de avanço cinemático, que ocorre devido a tendência de as duas rodas manterem a mesma velocidade angular quando acionada a tração dianteira auxiliar, fato que não pode ser facilmente controlado devido a diferença física de tamanho que existe entre os rodados. Desta forma a maneira de calcular esse índice pode ser feita através do método prático em que conta-se uma quantidade padrão de voltas na roda traseira, geralmente cinco voltas é suficiente, e anota-se a quantidade de voltas e o número de garras excedentes na roda dianteira, repete-se o processo com a tração dianteira auxiliar ligada e posteriormente desligada. O cálculo do índice de avanço pode ser efetuado por meio da (Equação 1), através do método proposto pelo manual técnico adaptado da PIRELLI (2018):

$$A = \frac{TL - TD}{TD} \cdot 100 \quad (1)$$

Em que,

A: é o índice de avanço cinemático em porcentagem (%);

TL: número de voltas da roda dianteira com a tração ligada, somado à razão entre garras excedentes e garras totais;

TD: número de voltas da roda dianteira com a tração desligada, somado à razão entre garras excedentes e garras totais.



**Figura 5** – Garras enumeradas sequencialmente no sentido de rodagem e marca da referência de leitura.

Como informação fundamental ao índice de avanço de forma a também justificá-lo, se mensurou a circunferência de rolamento dos rodados de maneira prática e orientada segundo o manual técnico Trelleborg (2019), para cada situação com a utilização de uma fita métrica simples de 50 m, e para toda tomada de dados realizada com a tração e sem o uso da mesma foram contadas cinco voltas de cada rodado, e com a fita métrica estendida observou-se a distância total percorrida e posteriormente o valor foi dividido pelas referidas 5 voltas. Para efeito do cálculo aplicado ao avanço conforme descrito acima, a orientação do manual técnico Trelleborg (2019) utiliza o valor da circunferência de rolamento para a tração auxiliar desacoplada, ou seja, o rolamento dos rodados deve ocorrer de forma independente entre si.

Logo, o manual técnico da Trelleborg (2019) orienta a forma de como deve se proceder para obter o valor da circunferência de rolamento de forma prática, podendo assim ser realizado em campo, e indica o modo de como se deve calcular através da (Equação 2) adaptada, conforme descrito a seguir:

$$CR = \frac{DTP}{NV} \quad (2)$$

Em que,

CR: é a circunferência de rolamento em metros (m);

DTP: é a distância total percorrida pelo respectivo rodado em metros (m);

NV: número de voltas do respectivo rodado, a recomendação do manual é que se realize ao menos 5 voltas.

Conforme orientação do manual a (Equação 2) é válida tanto para o rodado dianteiro, como também para o traseiro, ou seja, deve-se marcar uma referência em ambos os pneus, de modo que quando completar-se 5 voltas, cada um na sua vez, anota-se a distância percorrida pelo respectivo pneu e divide-se pelo número de voltas realizadas.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância dos dados está representada na (Tabela 2), e indica a significância em nível de 5 % pelo teste de Fischer (F), das variáveis analisadas e suas respectivas interações.

**Tabela 2** - Tabela de análise de variância.

FV	GL	SQ	QM	Fc	P>Fc
Pneus (Pn)	1	102,21	102,21	977,81	0,00**
Pressão (Pr)	1	1,80	1,80	17,30	0,00**
Distribuição (Dt)	1	2,64	2,64	25,26	0,00**
Cargas (C)	2	52,69	26,34	252,06	0,00**
Arado (Ard)	1	64,64	64,64	618,39	0,00**
Pn x Pr	1	2,20	2,20	21,09	0,00**
Pn x Dt	1	7,26	7,26	69,48	0,00**
Pn x C	2	3,60	1,80	17,23	0,00**
Pn x Ard	1	10,75	10,75	102,92	0,00**
Pr x Dt	1	1,48	1,48	3,93	0,00**
Pr x C	2	0,21	0,10	2,49	0,08 ns
Pr x Ard	1	2,87	2,87	65,49	0,00**
Dt x C	2	0,86	0,43	9,89	0,00**
Dt x Ard	1	1,45	1,45	33,10	0,00**
C x Ard	2	0,68	0,34	7,81	0,00**
Pn x Pr x Dt	1	1,48	1,48	14,23	0,00**
Pn x Pr x C	2	0,03	0,01	0,17	0,66 ns
Pn x Pr x Ard	1	3,86	3,86	36,93	0,00**
Pr x Dt x C	2	0,20	0,10	0,97	0,39 ns
Pr x Dt x Ard	1	2,57	2,57	24,64	0,00**
Dt x C x Ard	2	0,98	0,49	4,71	0,51 ns
Pn x Pr x Dt x C	2	0,13	0,06	0,65	0,21 ns
Pn x Pr x Dt x Ard	2	0,29	0,14	1,42	0,00**
Pr x Dt x C x Ard	2	0,58	0,29	2,80	0,48 ns
Pn x Pr x Dt x C x Ard	2	0,14	0,07	0,67	0,20 ns
Erro	115	12,02	0,10	-	-
Total corrigido	143	270,16	-	-	-
CV (%) =	10,20	Número de observações: 144			

Média geral: 2,05

ns: não significativo ( $P > 0,05$ ); \*: significativo ( $P \leq 0,05$ ); \*\*: significativo ( $P \leq 0,01$ ); C.V.: coeficiente de variação (%).

Como se pode verificar através da análise de variância da tabela acima, as variáveis estudadas isoladamente apresentam diferença significativa entre si, portanto é interessante estudar essas variáveis e suas interações para identificar os fatores de maior influência. Também houve significância na maioria das interações entre as variáveis, o que se sugere em termos estatísticos, é que o estudo seja aprofundado na análise da maior interação significativa, desde que os fatores tenham significância independente, através de seu desdobramento. No entanto, observou-se que as interações entre: Pr x C; Pn x Pr x C; Pr x Dt x C; Dt x C x Ard; Pn x Pr x Dt x C; Pr x Dt x C x Ard e Pn x Pr x Dt x C x Ard, estas não obtiveram interação significativa entre si na influência de alteração das “médias” do índice de avanço, não necessitando aprofundar-se nestas interações. Portanto a interação significativa com maior número de fatores foi quadrupla e ocorreu entre as variáveis Pneus x Pressão x Distribuição x Arado. Necessitando assim realizar esse desdobramento, já que todos os fatores isolados são significativos para obter-se assim maior nível de detalhamento e conclusão para cada condição.

A informação complementar e auxiliar do avanço referente aos valores de circunferência de rolamento coletados, estão disponíveis na (Tabela 3).

**Tabela 3** - Dados de circunferência de rolamento para todos os tratamentos, em que CR: circunferência de rolamento; Press.: pressão; Distrib.: distribuição de massa entre eixos; D: dianteiro; T: traseiro.

Circunferência de rolamento dos tratamentos								
Pneu	Press.	Distrib. (%)	Massa adicional dianteira (kg)	Massa adicional Traseira (kg)	CR (m) TDA acionada		CR (m) TDA não acionada	
					D	T	D	T
DIAGONAL	Alta	60-40	250	719	3,69	5,03	3,80	4,94
				0	3,71	5,03	3,75	4,97
		500	719	3,70	5,03	3,68	5,02	
			0	3,70	5,03	3,73	4,99	
		750	719	3,68	5,01	3,74	4,95	
			0	3,68	5,02	3,71	4,99	
	65-35	250	719	3,69	5,02	3,76	4,93	
			0	3,71	5,04	3,76	4,96	
		500	719	3,67	4,98	3,72	4,93	
			719	3,67	4,98	3,72	4,93	

			0	3,70	5,03	3,73	4,95
		750	719	3,66	4,97	3,69	4,93
			0	3,68	5,01	3,71	4,97
		250	719	3,66	4,97	3,78	4,87
			0	3,68	4,96	3,58	4,91
	60-40	500	719	3,65	4,96	3,75	4,86
			0	3,68	4,97	3,71	4,92
		750	719	3,66	4,95	3,74	4,87
			0	3,68	4,99	3,70	4,94
baixa		250	719	3,62	4,92	3,73	4,83
			0	3,65	4,96	3,68	4,89
	65-35	500	719	3,61	4,91	3,69	4,84
			0	3,62	4,93	3,62	4,90
		750	719	3,61	4,91	3,66	4,84
			0	3,61	4,91	3,62	4,90
		250	719	3,60	4,91	3,67	4,89
			0	3,62	4,92	3,63	4,91
	60-40	500	719	3,60	4,90	3,65	4,87
			0	3,61	4,92	3,62	4,91
		750	719	3,60	4,91	3,63	4,88
			0	3,61	4,91	3,62	4,91
alta		250	719	3,57	4,87	3,65	4,85
			0	3,59	4,89	3,61	4,86
	65-35	500	719	3,58	4,90	3,63	4,85
			0	3,59	4,89	3,60	4,87
		750	719	3,58	4,88	3,60	4,85
			0	3,59	4,89	3,60	4,87
		250	719	3,58	4,88	3,64	4,85
			0	3,59	4,89	3,61	4,86
	60-40	500	719	3,59	4,87	3,62	4,85
			0	3,59	4,87	3,60	4,87
		750	719	3,59	4,87	3,61	4,85

RADIAL

				0	3,58	4,88	3,60	4,86
			250	719	3,55	4,84	3,62	4,82
				0	3,55	4,84	3,58	4,82
		65-35	500	719	3,56	4,84	3,60	4,82
				0	3,55	4,84	3,57	4,82
			750	719	3,55	4,84	3,58	4,81
				0	3,55	4,85	3,57	4,83
Testemunha diagonal	Alta	60-40	-	-	3,72	5,05	3,79	4,97
		65-35	-	-	3,69	5,00	3,75	4,96
	Baixa	60-40	-	-	3,69	5,02	3,78	4,92
		65-35	-	-	3,66	4,95	3,75	4,87
Testemunha Radial	Alta	60-40	-	-	3,62	4,92	3,66	4,89
		65-35	-	-	3,59	4,88	3,63	4,85
	Baixa	60-40	-	-	3,59	4,89	3,63	4,86
		65-35	-	-	3,56	4,84	3,60	4,82

### 5.1. Comparação de pneus, em cada pressão, distribuição, massas adicionais dianteira e traseira.

Pelo teste de Tukey a nível 5 % de significância, verificou-se diferença significativa no avanço entre os tipos construtivos de pneus estudados, diagonal e radial, conforme (Tabela 4).

**Tabela 4** - Desdobramento entre pneus para cada nível de pressão, distribuição, massas adicionais dianteira e traseira.

Condição	Pressão	Combinações			Pneus (avanço %)	
		Distribuição (%)	Massa adicional dianteira (kg)	Massa adicional traseira (kg)	Radial	Diagonal
1	Alta	60-40	250	com	2,11 a	5,95 b
2	Alta	60-40	250	sem	1,30 a	3,28 b
3	Alta	60-40	500	com	1,57 a	4,82 b
4	Alta	60-40	500	sem	0,91 a	2,20 b
5	Alta	60-40	750	com	0,91 a	4,04 b
6	Alta	60-40	750	sem	0,39 a	1,88 b

7	Alta	65-35	250	com	2,38 a	5,26 b
8	Alta	65-35	250	sem	1,57 a	3,05 b
9	Alta	65-35	500	com	1,71 a	3,81 b
10	Alta	65-35	500	sem	0,91 a	2,31 b
11	Alta	65-35	750	com	1,31 a	2,40 b
12	Alta	65-35	750	sem	0,26 a	1,66 b
13	Baixa	60-40	250	com	1,84 a	4,81 b
14	Baixa	60-40	250	sem	1,04 a	2,41 b
15	Baixa	60-40	500	com	1,57 a	3,82 b
16	Baixa	60-40	500	sem	0,78 a	1,77 b
17	Baixa	60-40	750	com	0,91 a	3,16 b
18	Baixa	60-40	750	sem	0,13 a	0,93 b
19	Baixa	65-35	250	com	2,24 a	4,03 b
20	Baixa	65-35	250	sem	1,57 a	2,19 b
21	Baixa	65-35	500	com	1,57 a	2,41 b
22	Baixa	65-35	500	sem	0,78 a	1,24 b
23	Baixa	65-35	750	com	1,17 a	1,56 b
24	Baixa	65-35	750	sem	0,13 a	0,51 b

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

Observando a (Tabela 4), nota-se que em todas as comparações os pneus radiais obtiveram menor índice de avanço com relação aos rodados diagonais, sendo essa diferença importante estatisticamente. Para tal, justifica-se o efeito da deformação que ocorre normalmente nos pneus radiais aumentando sua área de contato e diminuindo a circunferência de rolamento, em consequência disso também diminuindo o avanço cinemático. Mesma conclusão de Feitosa *et al.* (2015), que estudando o avanço de um trator observaram que quanto maior a pressão aplicada (110; 124 kPa), maior também foi o valor médio de avanço obtido (1,27%), mas em pressões mais baixas observou-se o contrário, explicando que tal fato ocorreu por conta do aumento da circunferência de rolamento devido a maior pressão e no segundo caso a menor pressão provocou maior deformação e consequente menor circunferência de rolamento.

O pneu diagonal além de ter sentido maior efeito na variação do índice de avanço, indicou algumas condições que desviam da faixa de 1 a 5% proposta por Linares *et al.* (2006); Pirelli (2018) e Trelleborg (2019), tais como a: 18 e 24 com valores inferiores a 1% e ainda as condições 1 e 7 com índices superiores a 5%.

Já o pneu radial não excedeu em nenhum momento a recomendação máxima de 5%, em contrapartida teve valores relativamente inferiores em maior frequência, ao mínimo de 1% como nas condições 4; 5; 6; 10; 12; 16; 17; 18; 22 e 24.

Se tratando dos menores valores de avanço para o pneu diagonal, observa-se que a ausência do implemento montado na parte traseira, juntamente com a maior massa dianteira utilizada proporcionou os menores índices, independentemente da distribuição de massa entre eixos. Fato coerente com a relação da diminuição da circunferência de rolamento no rodado dianteiro em comparação ao rodado traseiro devido ao desequilíbrio de massas ocasionado nessas situações. Para os índices superiores ao 5%, não houve influência da distribuição de massa entre eixos, nem da pressão mais baixa, mas nota-se que os casos ocorreram especificamente na maior pressão, com o uso da massa traseira e com a menor massa dianteira, pode ter ocorrido então uma significativa transferência de peso não mensurada que provavelmente influenciou o resultado.

Os índices abaixo do tolerável segundo as recomendações, que é de 1%, pode ser observado nos pneus radiais em condições semelhantes as do pneu diagonal para a maioria dos casos, exceto na condição 5 e 17, que foi quando utilizou-se as maiores massas dianteira e sem o uso de massa traseira. Já para os dois casos particulares em que houve a presença do arado e também a maior massa adicional frontal, pode-se afirmar que a totalidade de massa utilizada influenciou na deformação exagerada do pneu radial, independentemente da pressão utilizada neste caso, porém ocorrendo apenas na distribuição de massa 60-40%, afetando a circunferência de rolamento e conseqüentemente o avanço, já que este possui naturalmente característica de alta deflexão.

As conseqüências de se praticar o avanço fora da faixa ideal recomendada como, por exemplo, abaixo de 1%, é que isto significa que o eixo traseiro de certa forma “empurra” o trator de maneira excessiva em relação ao eixo frontal ou provoca o rastejo do rodado dianteiro, e o trator perde eficiência trativa da tração dianteira auxiliar, conforme explica Monteiro *et al.* (2011) e Trelleborg (2019), para os mesmos autores quando os índices superam 5% ocorre esforço mecânico exagerado em toda cadeia de transmissão, e ainda maior e desigual desgaste dos pneus dianteiros. Em ambas as situações inadequadas de avanço os autores destacam que se aumenta a dificuldade de engate das marchas. Para Schlosser *et al.* (2004) quanto maior a porcentagem do avanço cinemático menor é a eficiência trativa da máquina.

Segundo a fabricante de pneus Pirelli (1998), condições em que o pneu se sujeita a diminuição da circunferência de rolamento e em conseqüência disso diminuição do próprio avanço atingindo valores abaixo do recomendado que é determinado pela própria empresa como 1%, como no uso de altas cargas, distribuição de massa inadequada e baixas pressões ou insuficientes para determinada operação, resulta-se num sensível aumento de

combustível; bem como a quebra das lonas nas zonas de flexão; redução da resistência dos flancos do pneu aos cortes causados pelo terreno; desgaste acelerado e irregular da banda de rodagem; deslizamento do pneu sob o aro com conseqüente arrancamento da válvula e dilaceração da câmara de ar, ainda para pneus que trabalham com baixas pressões e aplicação de alto torque, estes estarão sujeitos a formação de saliências que resultarão em quebras de carcaça nessa região. Tal efeito ocorre devido a circunstância de o pneu traseiro “empurrar” o rodado dianteiro, que provoca o efeito de rastejamento do mesmo, e além de tudo causa grande esforço da cadeia de transmissão que inclusive dificulta a própria seleção de marchas nessa situação, resultando em desgaste prematuro do sistema como um todo e aumenta o risco de danos e manutenções corretivas.

Para a mesma fabricante Pirelli (1998), o contrário do observado para pressões menores, ocorre com maiores pressões, porém com conseqüências tanto quanto prejudiciais, é que nestes casos ocorre que o aumento na circunferência de rolamento promoverá também o aumento do índice de avanço, e conseqüentemente aumentará o consumo de combustível, o desgaste irregular e mais rápido da banda de rodagem, provocará perda de tração conforme vários autores também sugerem, e provocará impressões mais profundas, ou seja, compactação sobre o terreno.

Para Yanai *et al.* (1999) e Monteiro *et al.* (2011), dentre as características dos pneus que interferem no desempenho operacional do trator, estão além de outros fatores também o tipo construtivo, o que corrobora com os dados coletados da (Tabela 3) no presente estudo.

## 5.2. Comparação de pressões, em cada pneu, distribuição, massas adicionais dianteira e traseira.

A (Tabela 5) apresenta as médias de avanço obtidas entre as pressões utilizadas, denominadas alta e baixa, sendo que cada pneu tem sua respectiva pressão de recomendação.

**Tabela 5** - Desdobramento entre pressão para cada nível de pneu, distribuição, massas adicionais dianteira e traseira.

Condição	Pneus	Combinações			Pressão (avanço %)	
		Distribuição (%)	Massa adicional dianteira (kg)	Massa adicional traseira (kg)	Alta	Baixa
1	Diagonal	60-40	250	com	5,95 a	4,81 b
2	Diagonal	60-40	250	sem	3,28 a	2,41 b

3	Diagonal	60-40	500	com	4,82 a	3,82 b
4	Diagonal	60-40	500	sem	2,20 a	1,77 b
5	Diagonal	60-40	750	com	4,04 a	3,16 b
6	Diagonal	60-40	750	sem	1,88 a	0,93 b
7	Diagonal	65-35	250	com	5,26 a	4,03 b
8	Diagonal	65-35	250	sem	3,05 a	2,19 b
9	Diagonal	65-35	500	com	3,81 a	2,41 b
10	Diagonal	65-35	500	sem	2,31 a	1,24 b
11	Diagonal	65-35	750	com	2,40 a	1,56 b
12	Diagonal	65-35	750	sem	1,66 a	0,51 b
13	Radial	60-40	250	com	2,11 a	1,84 b
14	Radial	60-40	250	sem	1,30 a	1,04 b
15	Radial	60-40	500	com	1,57 a	1,57 a
16	Radial	60-40	500	sem	0,91 a	0,78 a
17	Radial	60-40	750	com	0,91 a	0,91 a
18	Radial	60-40	750	sem	0,39 a	0,13 b
19	Radial	65-35	250	com	2,38 a	2,24 a
20	Radial	65-35	250	sem	1,57 a	1,57 a
21	Radial	65-35	500	com	1,71 a	1,57 a
22	Radial	65-35	500	sem	0,91 a	0,78 a
23	Radial	65-35	750	com	1,31 a	1,17 a
24	Radial	65-35	750	sem	0,26 a	0,13 a

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

A sensibilidade de mudança no avanço do pneu diagonal à alteração da pressão interna demonstrou-se muito maior no comparativo aos pneus radiais que não obtiveram diferença estatística relevante entre si, exceto para as condições 13, 14 e 18. Devido a sua característica estrutural mais rígida que facilita o aumento ou diminuição da circunferência de rolamento deste tipo de pneumático. Em quase todos os casos a faixa recomendada de avanço proposta por Linares *et al.*, (2006); Pirelli (2018) e Trelleborg (2019), que varia de 1 a 5%, foi respeitada com exceção das condições 6 e 12 nas pressões baixas, com o uso da maior massa adicional dianteira porém sem a massa adicional traseira, não tendo relação com as distribuições de massa entre eixos, onde o índice demonstrou-se inferior, e também para a condição 1 e 7 na pressão alta onde o índice observado está acima da recomendação, fato este atrelado ao uso da maior pressão e menor massa adicional

dianteira e também ao uso da massa adicional traseira, porém sem relação direta com as distribuições de massa entre eixos.

Para o pneu radial embora não ocorrer diferença importante entre as pressões estudadas, menos nas condições acima destacadas, houve situações em que o avanço encontrou-se inferior ao ideal para ambas as pressões e distribuições utilizadas, como nas condições 16; 17; 18; 22 e 24, o que entende-se a partir disto é que nestes casos para este pneumático, observando a (Tabela 4) o fator decisivo na diminuição do índice de avanço foram de fato as altas cargas impostas sobre os rodados que já possuem tendência construtiva a proporcionar maior deflexão, aumentando a área de contato com o solo e diminuindo circunferência de rolamento, e conseqüentemente o avanço.

Os dados da (Tabela 5), corroboram com os resultados de Feitosa *et al.*, (2015), que ao estudar o avanço cinemático de um trator verificaram que quanto maior a pressão aplicada (110; 124 kPa), maior também foi o valor médio de avanço obtido (1,27%), já em pressões mais baixas observou-se que o avanço atingiu valores negativos, indicando que a velocidade dos rodados do eixo dianteiro é menor do que a dos rodados traseiros, para tal efeito, explicou que o fenômeno acontece em consequência da alteração da circunferência de rolamento, que é maior para o avanço mais alto e menor para menores índices de avanço.

Com relação ao avanço cinemático, Souza (2017) observou em seu estudo que não houve diferença significativa na variação de cada pressão sendo elas: 32; 28; 24 e 20 psi para o pneu traseiro em relação ao dianteiro fixado em 14 psi dentro dos tratamentos em todas as relações massa potência aplicadas, as quais foram: 53; 50,5; 47 e 43 kg cv<sup>-1</sup>. Porém, o avanço teve variação significativa em função da relação massa potência<sup>-1</sup> empregado dentro de cada pressão, ou seja, a medida que a pressão de inflação do pneu traseiro aumentou reduziu-se o índice de avanço.

Furtado Júnior (2013), trabalhando também com o avanço cinemático do trator obtiveram valores de -0,1387%, -0,2461% e -0,0717% quando aplicadas pressões de inflação internas de 83; 96 e 110 kPa, respectivamente. Souza (2017) observou que apenas para a relação massa potência de 50,5 kg cv<sup>-1</sup> em seu estudo o avanço não teve alteração pela pressão dos pneus traseiros. Para as demais relações, o avanço diminuiu com o aumento da pressão, como se esperava, por conta de que aumentou a circunferência de rolamento dos rodados traseiros, reduzindo o número de voltas em relação aos dianteiros. Já Feitosa *et al.* (2015) observaram que o avanço cinemático do trator avaliado com tração dianteira auxiliar variou significativamente em função das pressões utilizadas que foram P1 (83; 96 kPa), P2 (96; 110 kPa) e P3 (110; 124 kPa). Onde aquela combinação, na qual as pressões aplicadas foram as mais altas (P3), apresentou também o maior valor médio de

avanço cinemático, explicado pelo o aumento no raio de rolamento dos pneus quando inflados com maiores pressões.

Souza (2017) também observa que quando se utilizou a pressão máxima nos rodados traseiro e a pressão mínima nos dianteiros, obteve-se a relação de avanço mais próxima da ideal que de acordo com o mesmo gira entre (1,2 e 1,8%), sendo 1,8% para a relação massa potência  $53 \text{ kg cv}^{-1}$ , 2,35%; 2,19% e 1,87% para as relações  $50,5 \text{ kg cv}^{-1}$ ,  $47 \text{ kg cv}^{-1}$  e  $44 \text{ kg cv}^{-1}$ , respectivamente.

Schlosser *et al.* (2004) estudando pneus inflados em várias combinações de pressões sendo (100 kPa eixo dianteiro e 220 kPa eixo traseiro; 160 kPa eixo dianteiro e 160 kPa eixo traseiro; 220 kPa eixo dianteiro e 160 kPa eixo traseiro), verificaram que os valores do índice de avanço cinemático variaram entre -2,5 e 8,8%. Essas relações ocorreram então entre 0,975 e 1,088, ou seja, -2,5% e 8,8%. No primeiro caso, a relação cinemática é de atraso, as rodas traseiras giram em uma velocidade teórica mais alta que as dianteiras e, na segunda situação, acontece o adiantamento, isto é, as rodas dianteiras possuem velocidade teórica mais alta que as traseiras. De maneira geral, conseguiu-se escalonar as relações estáticas de -2,5%; -2,3%; 0,6%; 2,8%; 4,4%; 5,1%; 6,9%; 8,5%; 8,8% sendo as duas com sinal negativo de atraso, uma de igualdade ou neutralidade e as outras seis de adiantamento cinemático. Os respectivos autores, explicaram que essa variação ocorreu devido ao aumento dos raios estáticos decorrentes da variação na pressão interna dos pneus.

Conforme Monteiro (2008) o emprego correto de pneus, tanto em relação ao seu tipo construtivo quanto à calibração de sua pressão interna, são fatores que influenciam significativamente no seu desempenho. Concordando com o mesmo autor, Neres *et al.* (2012); Souza (2017) e Monteiro (2011), também destacam a relevância do ajuste correto da pressão interna para o melhor desempenho operacional do trator, inclusive o avanço cinemático.

Para Jadoski *et al.* (2016) a pressão interna de um rodado pneumático pode influenciar significativamente o rendimento operacional do trator. Segundo Misiewicz *et al.*, (2015) a distribuição da pressão interna dos rodados deve ser uniforme para que se obtenha uma melhor relação de equilíbrio dinâmico. Assim, Schjonning *et al.* (2008) apontam a importância da distribuição da pressão interna e do contato da banda do pneu com a superfície do solo, processo considerando essencial para a redução de compactação. Mion *et al.*, (2016) avaliando possibilidades de pressões do pneu de um trator observaram que pressões altas favorecem reduções na área de contato do pneu com a superfície do solo.

### 5.3. Comparação de distribuições, em cada pneu, pressão, massas adicionais dianteira e traseira.

Na referente (Tabela 6), observa-se a relação de distribuição de massa nos eixos do trator com a variação do avanço.

**Tabela 6** - Desdobramento entre distribuição para cada nível de pneu, pressão, massas adicionais dianteira e traseira.

Condição	Combinações				Distribuição (%) (avanço %)	
	Pneu	Pressão	Massa adicional dianteira (kg)	Massa adicional traseira (kg)	60-40	65-35
1	Diagonal	Alta	250	com	5,95 a	5,26 b
2	Diagonal	Alta	250	sem	3,28 a	3,05 b
3	Diagonal	Alta	500	com	4,82 a	3,81 b
4	Diagonal	Alta	500	sem	2,20 a	2,31 a
5	Diagonal	Alta	750	com	4,04 a	2,40 b
6	Diagonal	Alta	750	sem	1,88 a	1,66 b
7	Diagonal	Baixa	250	com	4,81 a	4,03 b
8	Diagonal	Baixa	250	sem	2,41 a	2,19 b
9	Diagonal	Baixa	500	com	3,82 a	2,41 b
10	Diagonal	Baixa	500	sem	1,77 a	1,24 b
11	Diagonal	Baixa	750	com	3,16 a	1,56 b
12	Diagonal	Baixa	750	sem	0,93 a	0,51 b
13	Radial	Alta	250	com	2,11 a	2,38 b
14	Radial	Alta	250	sem	1,30 a	1,57 b
15	Radial	Alta	500	com	1,57 a	1,71 a
16	Radial	Alta	500	sem	0,91 a	0,91 a
17	Radial	Alta	750	com	0,91 a	1,31 b
18	Radial	Alta	750	sem	0,39 a	0,26 a
19	Radial	Baixa	250	com	1,84 a	2,24 b
20	Radial	Baixa	250	sem	1,04 a	1,57 b
21	Radial	Baixa	500	com	1,57 a	1,57 a
22	Radial	Baixa	500	sem	0,78 a	0,78 a
23	Radial	Baixa	750	com	0,91 a	1,17 b
24	Radial	Baixa	750	sem	0,13 a	0,13 a

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

Os dados sugerem que a alteração na distribuição de massa do trator pode interferir significativamente no avanço, principalmente se tratando de pneus diagonais que respondem prontamente a essa relação, como se observa na (Tabela 6), todos os tratamentos envolvendo pneus diagonais foram significativos, exceto a condição 4, e respeitaram a recomendação proposta por Linares *et al.*, (2006); Pirelli (2018) e Trelleborg (2019) que considera o intervalo ideal de 1 a 5% do índice de avanço exceto as condições 1 e 12, em ambas distribuições utilizadas, que no primeiro caso esteve acima do ideal e na segunda situação obteve valor inferior. No avanço maior, a influência dos fatores massa dianteira menor, com o uso do arado na traseira e com a pressão mais alta foram os parâmetros que ocasionaram esta semelhança entre as duas distribuições, em que ambas se encontram inadequadas, indicando a não interferência do fator distribuição para esta situação, mas sim os demais fatores.

No caso da utilização do pneu radial para ambas as distribuições verificou-se significância estatística apenas nas condições 13; 14; 17; 19; 20 e 23. Porém em alguns casos observou-se que o índice de avanço ficou abaixo do recomendado, o que ocorreu nas condições 16; 18; 22; 23; 24 para ambas as distribuições e na condição 17 apenas com a distribuição 60-40. Para este rodado, identifica-se que o uso das maiores massas dianteiras sem o uso concomitante do arado montado na traseira, foram as situações que mais influenciaram a inadequação do avanço, pois ocorrem nas duas distribuições e com ambas as pressões analisadas, ou seja, o fator transferência de peso ou sobrecarga na dianteira pode ser um indicador do ocorrido.

Além disso, conforme destaca Souza (2017) sabe-se que a massa do trator também influi diretamente nos índices de desempenho do mesmo, informação essencial para a definição de aptidão de determinadas operações, desta maneira a correta lastragem é tão importante quanto, para um maior rendimento da máquina bem como para a qualidade da operação a ser executada.

No estudo de Yanai *et al.*, (1999) a interação entre os fatores pressão de inflação e carga sobre o rodado indicou que houveram determinadas combinações de pressão que foram mais favoráveis para o desenvolvimento de maior velocidade e menor patinagem. Em complemento ao estudo, as características relacionadas ao desempenho do motor como o consumo horário de combustível e rotação do motor, não foram afetadas por nenhum dos fatores ou suas interações.

A recomendação, assim como o desempenho operacional de tratores agrícolas relaciona-se diretamente com sua massa e sua respectiva distribuição (MASIERO *et al.*, 2009).

#### 5.4. Massas adicionais frontais, para cada pneu, pressão, distribuição e massa adicional traseira.

O índice de avanço sofre modificações quando submetidas diferentes massas no sistema hidráulico frontal de um trator, conforme demonstra a (Tabela 7).

**Tabela 7** - Desdobramento para as diferentes massas transportadas no sistema hidráulico frontal do trator para cada nível de pneu, pressão, distribuição e massa adicional traseira.

Condição	Combinações				Massa adicional dianteira (kg) (avanço %)		
	Pneus	Pressão	Distribuição (%)	Massa adicional traseira (kg)	250	500	750
1	Diagonal	Alta	60-40	com	5,95 a	4,82 b	4,04 c
2	Diagonal	Alta	60-40	sem	3,28 a	2,20 b	1,88 c
3	Diagonal	Alta	65-35	com	5,26 a	3,81 b	2,40 c
4	Diagonal	Alta	65-35	sem	3,05 a	2,31 b	1,66 c
5	Diagonal	Baixa	60-40	com	4,81 a	3,82 b	3,16 c
6	Diagonal	Baixa	60-40	sem	2,41 a	1,77 b	0,93 b
7	Diagonal	Baixa	65-35	com	4,03 a	2,41 b	1,56 c
8	Diagonal	Baixa	65-35	sem	2,19 a	1,24 b	0,51 c
9	Radial	Alta	60-40	com	2,11 a	1,57 b	0,91 c
10	Radial	Alta	60-40	sem	1,30 a	0,91 b	0,39 c
11	Radial	Alta	65-35	com	2,38 a	1,71 b	1,31 c
12	Radial	Alta	65-35	sem	1,57 a	0,91 b	0,26 c
13	Radial	Baixa	60-40	com	1,84 a	1,57 b	0,91 c
14	Radial	Baixa	60-40	sem	1,04 a	0,78 b	0,13 c
15	Radial	Baixa	65-35	com	2,24 a	1,57 b	1,17 c
16	Radial	Baixa	65-35	sem	1,57 a	0,78 b	0,13 c

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

De acordo com a (Tabela 7) todas as massas diferiram entre si uma das outras, tendo relação inversa na medida em que se aumenta a massa dianteira, diminui-se o avanço.

Vale destacar também que em todos os tratamentos quando compara-se a utilização ou não do implemento traseiro, aqueles em que houve ausência do arado obtiveram menores valores de avanço em comparação ao uso do mesmo, indicando a tendência de avanço negativo a medida em que se aumenta a massa na dianteira e não utiliza-se o arado.

Os resultados podem ser explicados que por além de alterar a massa total do trator, condiciona uma determinada transferência de peso, imposta por sua massa e a própria posição relativa desta ao centro de massa do trator e aumenta-se a massa diretamente sob o eixo dianteiro provocando maior deflexão no pneumático.

O fornecimento de potência e conseqüentemente a capacidade de tração suficiente para desenvolver a maioria das operações agrícolas, dependem em parte do tipo de dispositivo de tração. Quando se tratando de mecanismos pneumáticos, então o próprio tamanho, a pressão de inflação, carga aplicada sobre o eixo motriz, a transferência de peso, entre outros fatores, interferem significativamente na capacidade de tração e desempenho do trator (ZOZ & GRISSO, 2003).

### 5.5. Comparação de massa adicional traseira, para cada pneu, pressão, distribuição e massa adicional dianteira.

Verifica-se a partir dos dados encontrados na (Tabela 8), a influência do acoplamento de um implemento no sistema hidráulico traseiro, que neste caso é um arado de discos, concomitantemente ao uso da plataforma carregada no sistema de três pontos frontal.

**Tabela 8** - Desdobramento para o uso de massa adicional no sistema hidráulico traseiro do trator, para cada nível de pneu, pressão, distribuição e massas adicionais dianteira.

Condição	Combinações				Massa adicional traseira (kg) (avanço%)	
	Pneu	Pressão	Distribuição (%)	Massa adicional dianteira (kg)	sem	com
1	Diagonal	Alta	60-40	250	3,28 a	5,95 b
2	Diagonal	Alta	60-40	500	2,20 a	4,82 b
3	Diagonal	Alta	60-40	750	1,88 a	4,04 b

4	Diagonal	Alta	65-35	250	3,05 a	5,26 b
5	Diagonal	Alta	65-35	500	2,31 a	3,81 b
6	Diagonal	Alta	65-35	750	1,66 a	2,40 b
7	Diagonal	Baixa	60-40	250	2,41 a	4,81 b
8	Diagonal	Baixa	60-40	500	1,77 a	3,82 b
9	Diagonal	Baixa	60-40	750	0,93 a	3,16 b
10	Diagonal	Baixa	65-35	250	2,19 a	4,03 b
11	Diagonal	Baixa	65-35	500	1,24 a	2,41 b
12	Diagonal	Baixa	65-35	750	0,51 a	1,56 b
13	Radial	Alta	60-40	250	1,30 a	2,11 b
14	Radial	Alta	60-40	500	0,91 a	1,57 b
15	Radial	Alta	60-40	750	0,39 a	0,91 b
16	Radial	Alta	65-35	250	1,57 a	2,38 b
17	Radial	Alta	65-35	500	0,91 a	1,71 b
18	Radial	Alta	65-35	750	0,26 a	1,31 b
19	Radial	Baixa	60-40	250	1,04 a	1,84 b
20	Radial	Baixa	60-40	500	0,78 a	1,57 b
21	Radial	Baixa	60-40	750	0,13 a	0,91 b
22	Radial	Baixa	65-35	250	1,57 a	2,24 b
23	Radial	Baixa	65-35	500	0,78 a	1,57 b
24	Radial	Baixa	65-35	750	0,13 a	1,17 b

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

A informação principal retirada da (Tabela 8), é que ao utilizar outro implemento de maneira simultânea no hidráulico traseiro, ou vice-versa, altera-se significativamente o índice de avanço, devendo este ser verificado sempre que houver esta condição de operação.

Todos os tratamentos diferiram entre si estatisticamente para o uso do arado no sistema hidráulico de três pontos traseiro, fator que deve ser considerado sempre que houver o uso simultâneo de implementos em ambos os sistemas de três pontos, ou seja, interfere totalmente o índice de avanço cinemático do trator.

A utilização do arado para o pneu diagonal não influenciou nos índices menores, ou mais próximos de 1%, porém está relacionado com os valores maiores ou mais próximos de 5%. Já quando não utilizou-se o implemento foi possível observar valores muito próximos de 1% e em alguns casos como nas condições 9 e 12 para pressões baixas o índice foi inferior ao recomendado.

Sem o incremento de massa traseira para o uso do pneu radial, identificaram-se valores muito próximos de 1% em que boa parte encontrou-se abaixo do intervalo recomendado. Já quando houve a presença do implemento traseiro, em todas as ocasiões proporcionou um índice de avanço superior em relação ao não uso do mesmo, e em apenas duas condições, 15 e 21, houve valores abaixo da recomendação de 1%, sendo estas para as massas dianteiras maiores e somente na distribuição 60-40% de massa entre eixos.

Na mesma linha de análise referente as massas adicionais frontais estudadas no tópico anterior, o tipo de implemento utilizado, bem como sua massa e posição relativa interferem drasticamente a massa total do trator bem como sua transferência de peso, e conforme Zoz & Grisso (2003), este fator intervém diretamente na capacidade de tração e desempenho do trator.

### 5.6. Comparação do índice de avanço entre as testemunhas.

Segue análise de variância para os tratamentos adicionais, aqui designados como “testemunhas” (Tabela 9).

**Tabela 9** – Análise de variância dos dados referentes aos tratamentos adicionais.

FV	GL	SQ	QM	Fc	P>Fc
Pneus (Pn)	1	24,12	24,12	2,8e+0019	0,00**
Pressão (Pr)	1	3,55	3,55	4,1e+0018	0,00**
Distribuição (Dt)	1	0,17	0,17	2,0e+0017	0,00**
Pn x Pr	1	3,60	3,60	4,2e+0018	0,00**
Pn x Dt	1	1,47	1,47	1,7e+0018	0,00**
Pr x Dt	1	0,61	0,61	7,1e+0017	0,00**
Pn x Pr x Dt	1	0,63	0,63	7,3e+0017	0,00**
Erro	16	1,38e-0017	8,67e-0019	-	-
Total corrigido	23	34,17	-	-	-

ns: não significativo ( $P > 0,05$ ); \*: significativo ( $P \leq 0,05$ ); \*\*: significativo ( $P \leq 0,01$ );

As “testemunhas” estudadas apresentaram diferença significativa em todos os parâmetros analisados, assim como em suas combinações. Logo, sugere-se analisar o desdobramento triplo que engloba todos os fatores a fim de detalhar as respectivas influências no comportamento do índice de avanço.

A (Tabela 10), mostra o desdobramento de pneus para cada pressão e distribuição.

**Tabela 10** - Desdobramento do fator pneus dentro de cada nível de pressão e distribuição estudados.

Combinações		Pneus (avanço %)	
Pressão	Distribuição	Radial	Diagonal
Alta	60-40	1,34 a	4,31 b
Alta	65-35	2,10 a	4,78 b
Baixa	60-40	1,34 a	3,49 b
Baixa	65-35	2,09 a	2,52 b

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

A (Tabela 10) apresenta as informações referentes ao comparativo entre os pneus radial e diagonal sem submeter cargas frontais e nem implemento acoplado, em que alterou-se as condições de pressão interna dos rodados e a distribuição de massa entre eixos para avaliar o índice de avanço cinemático, observou-se que todas as situações diferem entre si, sabe-se então que estes parâmetros influenciam diretamente a alteração do avanço quando se trabalha com tipos construtivos distintos. Além disso, todos os índices respeitaram a faixa de recomendação para o avanço cinemático.

A (Tabela 11) indica o desdobramento da variável pressão para cada nível de pneu e distribuição.

**Tabela 11** - Desdobramento do fator pressão dentro de cada nível de pneus e distribuição.

Combinações		Pressão (avanço %)	
Pneus	Distribuição (%)	Alta	Baixa
Diagonal	60-40	4,31 a	3,49 b
Diagonal	65-35	4,78 a	2,52 b
Radial	60-40	1,34 a	1,34 a
Radial	65-35	2,10 a	2,09 a

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

Para o fator pressão em relação ao tipo de pneu e a distribuição utilizada, os pneus radiais não demonstraram sensibilidade de variação nos valores de avanço resultantes, quanto a alteração deste parâmetro. Já para o pneu diagonal a mudança de pressão interferiu significativamente o índice de avanço em ambas as distribuições, porém para os dois tipos construtivos de pneus manteve-se o intervalo de segurança recomendado.

Observando a (Tabela 12) abaixo, pode-se verificar a interação da variável distribuição com os fatores pneus e pressão.

**Tabela 12** - Desdobramento do fator distribuição em cada nível de pneus e pressão.

Combinações		Distribuição (%)	
		(avanço %)	
Pneus	Pressão	60-40	65-35
Diagonal	Alta	4,31 a	4,78 b
Diagonal	Baixa	3,49 a	2,52 b
Radial	Alta	1,34 a	2,11 b
Radial	Baixa	1,34 a	2,10 b

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

A interação entre os fatores, pneu do tipo diagonal e pressões alta e baixa surtiram efeito significativo em relação às distribuições utilizadas, mas ainda respeitaram o intervalo recomendado. O mesmo ocorreu com o uso dos pneus radiais que diferiu entre si nos índices de avanço encontrados para o comparativo de distribuições, porém também se encontra na faixa de avanço adequada.

## 6. CONCLUSÕES

Os tipos construtivos dos pneus influenciaram e diferiram na variação do índice de avanço significativamente.

Os pneus de construção diagonal apresentaram no geral, valores mais elevados de avanço devido a circunferência de rolamento dos pneus serem maiores dos que os de construção radial.

O índice teve uma maior variação para os pneus diagonais em relação aos radiais, este último demonstrou grande quantidade de resultados inferiores ao ideal, principalmente na utilização da menor pressão com massa adicional dianteira combinado ao não uso da massa traseira no sistema de três pontos.

As testemunhas em todas as condições respeitaram a recomendação de avanço.

Para que se possa melhor explorar as vantagens da tração dianteira auxiliar e evitar desgaste prematuro do sistema de transmissão e pneus, sugere-se a não utilização de pressões baixas acompanhados de carregamentos adicionais no eixo dianteiro para pneus radiais.

Com relação aos pneus diagonais deve-se evitar o uso de elevadas pressões com carregamento nos eixos dianteiros e traseiros simultaneamente, quando utilizada a distribuição de massa 60% eixo traseiro e 40% no eixo dianteiro.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER. **SAE S323.2**: Definitions of powered lawn and garden equipment. St. Joseph, 1995. 826p.

BARBOSA, J. A.; VIEIRA, L. B.; DIAS, G. P.; DIAS JÚNIOR, M. S. Desempenho operacional de um trator agrícola equipado alternadamente com pneus radiais e diagonais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.474-480, 2005. Online.

BERISSO, F. E.; SCHOJONNING, P.; LAMANDÉ, M.; WEISSKOPF, P.; STETTLER, M.; KELLER, T. Effects of the stress field induced by a running tyre on the soil pore system. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 131, p.36-46, 2013.

BILSKI, B. Exposure to audible and infrasonic noise by modern agricultural tractors operators. **Applied Ergonomics**, v.44, p.210-214, 2013.

BIRIS, S.S.; UNGUREANU, N.; MAICAN, E.; MURAD, E.; VLADUT, V. FEM model to study the influence of tire pressure on agricultural tractor wheel deformations. **Engineering for Rural Development**, v. 10, p. 223-228, 2011.

CORRÊA, I. M.; MAZIERO, J. V. G.; MILAN, M. **Tração dianteira auxiliar: Desempenho em função do pneu dianteiro**. In: XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1998, Poços de Caldas, MG. **Anais [...]** Poços de Caldas, 1998. 442p. p.154-156.

CORRÊA, I. M.; MAZIERO, J. V. G.; YANAI, K; LOPES, A. **Técnicas de determinação da patinagem das rodas motrizes de tratores agrícolas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1999a. 15 p. Boletim Técnico nº 179.

FEITOSA, J. R.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R. 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**, v. 35, n.1, p.117-127, 2015.

FERREIRA, M. F. **Estudo da relação cinemática entre eixos motrizes na eficiência em tração de um trator agrícola de rodas equipado com dois tipos de pneumáticos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, UFSM – Santa Maria, RS, 1999, p.148.

FERREIRA, M. F. P. **Adequação trator-impemento**. Curso de engenharia agrícola. Universidade de Santa Cruz do sul, UNISC. Santa Cruz do Sul, RS. 2010. 82 p. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/3314921/adequacao-trator-e-impemento-apostila-unisc-2010>. Acesso em 20 de janeiro de 2020.

FESSEL, V. A. G. **Qualidade, desempenho operacional e custo de plantios, manual e mecanizado, de *Eucalyptus grandis*, implantados com cultivo mínimo do solo**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

FOUNTAS, S.; PARAFOROS, D.; CAVALARIS, C.; KARAMOUTIS, C.; GEMTOS, T. A.; ABU-KHALAF, N.; TAGARAKIS, A. A five-point penetrometer with GPS for measuring soil compaction variability. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 96, p.109-116, 2013.

FRANCETTO, T. R. **Relação peso/potência dos tratores**. 2012. Disponível em:

<http://tiagofrancetto.blogspot.com.br/2011/08/avaliacao-da-relacao-pesopotenciade.html>. Acesso em 31 de maio de 2019.

FURTADO JÚNIOR, M. R. **Análise operacional de um trator agrícola em função da pressão interna dos pneus e inclinação da linha de tração**. 2013. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Mecanização Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

INNS, F. M.; KILGOUR, J. **Agricultural Tyres**. Dunlop Limited, 1978. London. p70.

JADOSKI, G. S.; PINHEIRO, T. D.; SANTOS JÚNIOR, P. DA S.; RODRIGUES, F. R. M. Influência das características do pneu na performance do trator. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v.9, n.2, p.115-120, 2016.

LEITE, D. M. **Desempenho de um conjunto trator-grade em função da velocidade do trator, pressão interna e tipo de construção dos pneus**. 2015. 97 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. 2015.

LINARES, P. **Teoría de la tracción de tractores agrícolas**. Madrid. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, 1996, 157 p.

LINARES, P.; CATALÁN, H.; MÉNDEZ, V. **Teoría de la tracción de tractores agrícolas**. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 215p. Madrid, 2006.

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

MACHADO, T. M.; JUNIOR, M. O. B.; ARTIOLI, J. A.; VALE, W, R.; REYNALDO, E. F. Utilização de rodados simples de alta flutuação em trator extra pesado na região meio norte do estado de Mato Grosso. In: XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015 –São Pedro. **Anais [...]** São Pedro, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015.

MÁRQUEZ, L. **Tractores Agrícolas: Tecnología y Utilización**. Espanha: B&H Grupo Editorial, 2012. 844p.

MASIERO, F. C.; LANÇAS, K. P.; MONTEIRO, L. A.; SEKI, A. S.; MARASCA, I. Desempenho de um trator agrícola para diferentes forças na barra de tração e relações entre o peso e a potência do motor. **X Congreso Argentino de Ingeniería Rural e II del MERCOSUR**. Rosario, Santa Fé, Argentina. 2009. 7 p.

MASIERO, F. C.; LANÇAS, K. P.; MONTEIRO L. A. **Adequação de conjuntos: Pressão de inflação dos pneus**. 2011. Disponível em: <http://www.nempa.com.br/artigo/adequao-de-conjuntos-presso-deinflao-dos-pneus->. Acesso em: 10 de Outubro de 2019.

MIALHE, L. G. **Máquinas Motoras na Agricultura**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, v. 2, 1980. 366 p.

MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas: Ensaio e certificação**. Piracicaba, SP: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz. 1996. 722p.

MION, R. L.; HOLANDA, Á. S. de; BARROSO, S. H. de A.; SILVA, S. de A. T. E. Tensões aplicadas no solo pelas diferentes pressões do pneu de um trator agrícola. **Engenharia Agrícola**, v.36, n.1, p.63-77, 2016.

MISIEWICZ, P. A.; BLACKBURN, K.; RICHARDS, T. E.; BRIGHTON, J. L.; GODWIN, R. J. The evaluation and calibration of pressure mapping system for the measurements of the pressure distribution. **Biosystems Engineering**, v. 130, p. 81- 91, 2015.

MONTEIRO, L. 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**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP - Botucatu, 2008, p.69.

MONTEIRO, L. A.; LANÇAS, K. P.; GUERRA, S. P. S. 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, 2011.

NAGAOKA, A. K.; LANÇAS, K. P.; CASTRO NETO, P.; LOPES, A.; GUERRA, S. P. S. Projeto, construção e avaliação de um equipamento para ensaio dinâmico de pneu agrícola individual. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 2002.

NERES, J. S.; SANTOS, R. S.; MOREIRA, D. A.; SILVA, R. M. Desempenho operacional de um trator agrícola e suas implicações de uso em alguns atributos físicos de um latossolo amarelo em Altamira-PA. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.9, n.3, p.062-077, jul-set, 2012.

OECD. Organization for Economic Cooperation and Development. Code 2: **Standard code for the official testing of agricultural and forestry tractor performance**. Paris, 2007. 61p.

PAULA, C. A. **Desenvolvimento de um perfilômetro laser para determinação da área e volume de contato entre o pneu e o solo**. 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2008.

PIRELLI. Manual Técnico. **Pneus para Agricultura**. 1998. p.66.

PIRELLI. Manual Técnico. **Pneus Agrícolas**. 2018. p.143.

RACKHAM, D. H., BLIGHT, D. P. Four-wheel drive tractors – A review, **Journal Agricultural Engineering Research**, Bedford, Inglaterra, v.2, p.185-201, 1985.

SCHJONNING, P.; LAMANDE, M.; TOGERSEN, F. A.; ARVIDSSON, J.; KELLER, T. Modelling effects of tyre inflation pressure on the stress distribution near the soil e tyre interface. **Biosystems Engineering**, v. 99, p. 119-133, 2008.

SCHLOSSER, J.F. **Influencia del avance cinemático de las ruedas delanteras motoras en la eficiencia en tracción de los tractores agrícolas**. Madrid: España, 1996. 234p. Tese Doutorado - Departamento de Ingenieria Rural, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, 1996.

SCHLOSSER, J. F.; LINARES, P.; MÁRQUEZ, L. Influência do avanço cinemático das rodas dianteiras sobre a eficiência em tração de tratores com quatro rodas motrizes não isodiamétricas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p.1801-1805, nov-dez, 2004.

SEIXAS, F. Pneus, qual a adequada pressão de insuflagem?. IPEF, **Circular técnica**, n185, agosto de 1997.

SERRANO, J. M. P. R. Pressão de insuflagem dos pneus no desempenho do conjunto trator-grade de discos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.2, p.227-233, 2008.

SIMONE, M. E.; DRAGHI, L.; HILBERT, J. A.; JORAJURIA, C. D. **El Tractor Agrícola – fundamentos para su selección y uso**. Argentina: Almalevi, 2006. 255p.

SOUZA, F. H. **Desempenho energético de um trator agrícola 4x2 - TDA, em função da pressão de inflação dos pneus em pista de concreto e em solo mobilizado, conforme a norma OECD – Código 2**. 2013. 12f. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Ceará, - UFC – Fortaleza, 2013.

SOUZA, L. C. **Relação massa/potência e pressão interna do pneu de um trator agrícola**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2017, p.48.

SPAGNOLO, R. T.; VOLPATO, C. E. S.; BARBOSA, J. A.; PALMA, M. A. Z.; BARROS, M. M. Fuel consumption of a tractor in function of wear, of ballasting and tire inflation pressure. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 1, p. 131-139, 2012.

TAGHAVIFAR, H.; MARDANI, A. Contact área determination of agricultural tractor wheel with soil. **Cercetari Agronomice in Moldova**, v. 45, n. 2, p. 15-20, 2012.

TAGHAVIFAR, H.; MARDANI, A. Investigating the effect of velocity, inflation pressure, and vertical load on rolling resistance of a radial ply tire. **Journal of Terramechanics**, v. 50, n. 2, p. 99-106, 2013.

TRELLEBORG. **Manual Technical**. Technical information and practical advice. 2019. Disponível em: <https://www.trelleborg.com/en/wheels/tools-and-resources/agriculture-and-forestry-tires/technical-information>. Acesso em 05 de fevereiro de 2020.

VALE, W. G.; GARCIA, R. F.; CORRÊA JUNIOR, D.; GRAVINA, G. A.; SOUZA, E. F. Desempenho operacional e energético de um trator agrícola durante a operação de roçagem. **Global Science and Technology**, v.4, n.2, p.68-75, 2011.

YANAI, K.; CORRÊA, I. M.; MAZIERO, J. V. G. **Uso da tração dianteira auxiliar sob diferentes condições de lastragem e de pressão de inflação**. In: XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1998, Poços de Caldas, MG. **Anais [...]** Poços de Caldas, 1998. 442p. p.151-153.

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

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