



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

FÁBIO HENRIQUE DE SOUZA

**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**

FORTALEZA

2013

FÁBIO HENRIQUE DE SOUZA

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

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

Orientador: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.

FORTALEZA

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

S715d

Souza, Fábio Henrique de.

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 / Fábio Henrique de Souza. – 2013.

107 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2013.

Área de Concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Orientação: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.

1. Máquinas agrícolas. 2. Tratores. I. Título.

CDD 630

FÁBIO HENRIQUE DE SOUZA

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

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

Aprovado em: 19/02/2013.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Daniel Albiero
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Kléber Pereira Lanças
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)

Dedico este trabalho aos meus pais, Edson Wanderley de Souza e Vânia Aparecida Rodrigues de Souza e a minha irmã Francine Beatriz de Souza.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me oferecido condições para buscar mais uma conquista marcada por muito esforço, dedicação e humildade.

A meus pais Edson Wanderley de Souza e Vânia Aparecida Rodrigues de Souza e a minha irmã Francine Beatriz de Souza por serem parte responsável da pessoa que sou hoje.

Aos meus avós materno Jacira Maestá Rodrigues e João Rodrigues Ortiz e meu avô paterno Paulino de Souza por me ajudarem sempre.

Aos meus tios Sergio José Rodrigues, João Francisco Rodrigues e Maria Eliza Rodrigues de Souza pela amizade, ensinamentos e ajuda que sempre me concederam.

A minha querida namorada Nayanny de Sousa Fernandes, por estar do meu lado e por ter me ajudado com muitas coisas durante o curso de mestrado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro, por sua amizade, dedicação e orientação.

Ao Prof. Dr. Daniel Albiero, por sua amizade, ensinamentos e conselhos.

A Rafaela Paula Melo, por sua amizade e por ter me ajudado com os trabalhos durante o curso de mestrado.

Aos colegas do Laboratório de Investigação de Acidentes com Maquinas Agrícolas – LIMA, pela amizade e ajuda nos trabalhos realizados.

Aos colegas do NEMPA que me ajudaram na realização deste trabalho.

A todos os companheiros de trabalho e funcionários da Universidade Federal do Ceará que me ajudaram durante o curso e pela amizade firmada.

Aos meus amigos que me ajudaram e me incentivaram durante o curso.

A todos meus professores que me ensinaram e me orientaram durante o curso de mestrado.

Aos colegas da turma de mestrado, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”
(Charles Chaplin)

RESUMO

A adequação de um trator agrícola, visando utilização de pressões de inflação dos pneus adequadas, para diferentes condições superficiais de solo, resulta em melhor desempenho geral, com conseqüente aumento da capacidade operacional e melhor qualidade de operação. Assim este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho energético de um trator agrícola 4x2 - TDA trabalhando com diferentes forças na barra de tração, pressão de inflação dos pneus em superfície de concreto e em solo mobilizado, utilizando como norma de ensaio a OECD – “Código 2” (2012). Os ensaios foram realizados, no Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrofloretais – NEMPA, com delineamento experimental em faixas e esquema fatorial 2x3x2 com cinco repetições, sendo duas pressões de inflação dos pneus do trator 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiro do trator, correspondente a máxima pressão de inflação recomendada pelo fabricante dos pneus e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, correspondente a mínima pressão de inflação recomendada pelo fabricante dos pneus, três forças aplicadas na barra de tração 100%, 75% e 50% da força máxima de tração na potência máxima e velocidade nominal do motor e dois tipos de superfícies de rolamento. Esses fatores foram arranjados para permitir a avaliação dos efeitos das variáveis de desempenho individualmente ou em grupos, sendo todos os dados que apresentaram normalidade foram submetidos à análise de variância, aplicando o teste DMS a 5% de significância, para a comparação das médias, os dados que não apresentaram distribuição normal foram arranjados para análise estatística através da Média Móvel Exponencialmente Ponderada - MMEP. O trator avaliado no ensaio foi o New Holland TM 7040 com potência máxima no motor indicada pelo fabricante de 132 kW a 2200 rpm, tracionando a Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração - UMEB. Nos ensaios de campo observou-se que a mínima pressão de inflação dos pneus recomendada pelo fabricante dos pneus melhorou o desempenho energético do trator, reduzindo o consumo específico de combustível e aumentando o rendimento na barra de tração do trator. Em superfície de concreto o trator obteve força máxima de tração 32,6% superior à força máxima de tração obtida em superfície de solo mobilizado. Os critérios de ensaio empregados da norma OECD - “Código 2” proporcionaram uma padronização no ensaio facilitando a comparação entre os fatores avaliados.

Palavras - chave: Adequação de máquinas agrícola. Ensaio de tração. Desempenho de máquinas agrícola.

ABSTRACT

Agricultural tractor adequation aiming the use of appropriated tire inflation pressures for different surface conditions results in better overall performance with consequent increase in operational capacity and better quality of service. Thus this study aimed to assess the energy performance of a farm tractor 4x2 - TDA working with different forces in the drawbar, inflation pressure of tires on concrete surface and tilled soil, using as a testing standard OECD – “Code 2” (2012). The tests were conducted at the Center for Testing Machines and Tires Agroforestry - NEMPA, a randomized 2x3x2 factorial and tracks with five repetitions, two tire inflation pressures Tractor 165.4 kPa (24 psi) in rear axles and 220.6 kPa (32 psi) front axles on the tractor, corresponding to maximum inflation pressure recommended by the tire manufacturer and 110.3 kPa (16 psi) in rear axles and 110.3 kPa (16 psi) in front wheelsets Tractor, corresponding to minimal inflation pressure recommended by the tire manufacturer, three forces applied to the drawbar 100%, 75% and 50% of the maximum force of traction at maximum power and rated speed of the engine and two types of bearing surfaces. These factors were arranged to allow evaluation of the effects of performance variables individually or in groups, with all data presented normality were subjected to analysis of variance, using the DMS test at 5% significance for the comparison of means, the data not normally distributed were arranged for statistical analysis by Exponentially Weighted Moving Average - MMEP. The tractor test was evaluated in the 7040 New Holland TM engine with maximum power specified by the manufacturer of 132 kW at 2200 rpm, pulling the Mobile Unit Testing in Drawbar - UMEB generated. In field trials showed that the minimum tire inflation pressure recommended by the tire manufacturer has improved the energy performance of the tractor, reducing specific consumption of fuel and increasing the yield on the tractor drawbar. In concrete surface the tractor got maximum tensile strength 32.6% higher than the maximum tensile strength obtained in surface soil mobilized. The test criteria employed the standard OECD - "Code 2" provided a standardized test in facilitating the comparison between the factors evaluated.

Keywords: Adequation of agricultural machines. Tensile test. Performance of agricultural machines.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Vista da pista de concreto	24
Figura 2 - Vista da pista de solo agrícola mobilizado.	25
Figura 3 - Trator New Holland TM 7040 utilizado no ensaio.....	26
Figura 4 - Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração – UMEB.....	29
Figura 5 - Fluxômetro de combustível.	31
Figura 6 - Sensor de temperatura do combustível.	31
Figura 7 - Sensor de pulso instalado na TDP do trator.....	32
Figura 8 - Sensor de pulso instalado nos rodados do trator.....	33
Figura 9 - Gráficos de controle da MMEP para força na barra de tração do trator (kN) correspondente a 100% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de concreto e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).	43
Figura 10 - Gráficos de controle da MMEP para força na barra de tração do trator (kN) correspondente a 100% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de solo mobilizado e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).	44
Figura 11 - Gráficos de controle da MMEP para força na barra de tração do trator (kN) correspondente a 75% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de concreto e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).	45
Figura 12 - Gráficos de controle da MMEP para força na barra de tração do trator (kN) correspondente a 75% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de solo mobilizado e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).	46
Figura 13 - Gráficos de controle da MMEP para força na barra de tração do trator (kN) correspondente a 50% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de concreto e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).	47
Figura 14 - Gráficos de controle da MMEP para força na barra de tração do trator (kN) correspondente a 50% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de solo mobilizado e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).	48
Figura 15 - Gráficos de controle da MMEP para a patinagem dos rodados do trator (%) para condição de exigência de 100% de força na barra de tração do trator, fator tipo de superfície	

(pista de concreto e pista de solo mobilizado) e fator pressão de inflação dos pneus (165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.)).....	65
Figura 16 - Gráficos de controle da MMEP para a patinação dos rodados do trator (%) para condição de exigência de 75% de força na barra de tração do trator, fator tipo de superfície (pista de concreto e pista de solo mobilizado) e fator pressão de inflação dos pneus (165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.)).....	67
Figura 17 - Gráficos de controle da MMEP para a patinação dos rodados do trator (%) para condição de exigência de 50% de força na barra de tração do trator, fator tipo de superfície (pista de concreto e pista de solo mobilizado) e fator pressão de inflação dos pneus (165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.)).....	69
Figura 18 - Gráficos de controle da MMEP para velocidade de deslocamento (km.h ⁻¹) para condição de exigência de 100% de força na barra de tração do trator, pista de concreto e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).....	73
Figura 19 - Gráficos de controle da MMEP para velocidade de deslocamento (km.h ⁻¹) para condição de exigência de 100% de força na barra de tração do trator, pista de solo mobilizado e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).....	74
Figura 20 - Gráficos de controle da MMEP para velocidade de deslocamento (km.h ⁻¹) para condição de exigência de 75% de força na barra de tração do trator, pista de concreto e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).....	75
Figura 21 - Gráficos de controle da MMEP para velocidade de deslocamento (km.h ⁻¹) para condição de exigência de 75% de força de tração na barra de tração do trator, pista de solo mobilizado e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).....	76
Figura 22 - Gráficos de controle da MMEP para velocidade de deslocamento (km.h ⁻¹) para condição de exigência de 50% de força na barra de tração do trator, pista de concreto e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).....	77
Figura 23 - Gráficos de controle da MMEP para velocidade de deslocamento (km.h ⁻¹) para condição de exigência de 50% de força na barra de tração do trator, pista de solo mobilizado e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).....	78
Figura 24 - Gráficos de controle da MMEP para potência na barra de tração do trator (kW) correspondente a 100% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de concreto	

e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).	81
Figura 25 - Gráficos de controle da MMEP para potência na barra de tração do trator (kW) correspondente a 100% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de solo mobilizado e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).	82
Figura 26 - Gráficos de controle da MMEP para potência na barra de tração do trator (kW) correspondente a 75% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de concreto e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).	83
Figura 27 - Gráficos de controle da MMEP para potência na barra de tração do trator (kW) correspondente a 75% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de solo mobilizado e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).	84
Figura 28 - Gráficos de controle da MMEP para potência na barra de tração do trator (kW) correspondente a 50% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de concreto e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).	85
Figura 29 - Gráficos de controle da MMEP para potência na barra de tração do trator (kW) correspondente a 50% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de concreto e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).	86
Figura 30 – Dinamômetro.	103
Figura 31 - Curvas de potencia (kW) e torque (N.m) indicado no motor do trator NH TM 7040.	105
Figura 32 - Curvas de potencia (kW) e torque (N.m) indicado na TDP do trator NH TM 7040.	106
Figura 33 - Curvas de consumo horário (L.h-1) e específico (g.kW.h-1) de combustível do trator NH TM 7040.	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Órgãos e normas internacionais e nacionais utilizadas nos ensaios de tratores agrícolas para avaliação de desempenho.	20
Tabela 2 - Atributos físicos do solo.	26
Tabela 3 - Características dos pneus utilizados no ensaio.	27
Tabela 4 - Características do trator utilizado no ensaio.	28
Tabela 5 - Descrição dos equipamentos e sensores instalados na UMEB, utilizados para o controle variável da força imposta na barra de tração, de acordo com o Código 2 da OCDE.	30
Tabela 6 - Estatística descritiva para os dados de força na barra de tração do trator (kN).	41
Tabela 7 - Estatística descritiva para os dados de consumo específico de combustível (g.kW.h^{-1}).	50
Tabela 8 - Análise de variância para dados de consumo específico de combustível (g.kW.h^{-1}).	51
Tabela 9 - Médias de consumo específico de combustível (g.kW.h^{-1}) para o fator tipo de superfície de rolamento (F1).	52
Tabela 10 - Médias de consumo específico de combustível (g.kW.h^{-1}) para o fator pressão de inflação dos pneus (F2).	53
Tabela 11 - Médias de consumo específico de combustível (g.kW.h^{-1}) para o fator força aplicada na barra de tração do trator (F3).	54
Tabela 12 - Médias de consumo específico de combustível (g.kW.h^{-1}) para interação entre tipo de superfície de rolamento (F1) e força aplicada na barra de tração (F3).	55
Tabela 13 - Estatística descritiva para os dados de consumo horário de combustível (L.h^{-1}).	56
Tabela 14 - Análise de variância para dados de consumo horário de combustível (L.h^{-1}).	58
Tabela 15 - Médias de consumo horário de combustível (L.h^{-1}) para o fator tipo de superfície de rolamento (F1).	58
Tabela 16 - Médias de consumo horário de combustível (L.h^{-1}) para o fator pressão de inflação dos pneus (F2).	59
Tabela 17 - Médias de consumo horário de combustível (L.h^{-1}) para o fator força aplicada na barra de tração do trator (F3).	60
Tabela 18 - Médias de consumo horário de combustível (L.h^{-1}) para interação entre tipo de superfície de rolamento (F1) e força aplicada na barra de tração (F3).	61
Tabela 19 - Médias de consumo horário de combustível (L.h^{-1}) para interação entre pressão de inflação dos pneus (F2) e força aplicada na barra de tração (F3).	62
Tabela 20 - Estatística descritiva para os dados de patinagem dos rodados do trator (%).	63
Tabela 21 - Estatística descritiva para os dados de velocidade de deslocamento (km.h^{-1}).	71

Tabela 22 - Estatística descritiva para os dados de potência na barra de tração (kW).....	79
Tabela 23 - Estatística descritiva para os dados de rendimento na barra de tração (%)......	88
Tabela 24 - Análise de variância para dados de rendimento na barra de tração (%)......	89
Tabela 25 - Médias de rendimento na barra de tração (%) para o fator tipo de superfície de rolamento (F1).	90
Tabela 26 - Médias de rendimento na barra de tração (%) para o fator pressão de inflação dos pneus (F2).	91
Tabela 27 - Médias de rendimento na barra de tração (%) para o fator força aplicada na barra de tração do trator (F3).	92
Tabela 28 - Médias de rendimento na barra de tração do trator (%) para interação entre tipo de superfície de rolamento (F1) e força aplicada na barra de tração (F3).	93
Tabela 29 - Médias de rendimento na barra de tração do trator (%) para interação entre pressão de inflação dos pneus (F2) e força aplicada na barra de tração (F3).	94
Tabela 30- Parâmetros de desempenho do trator NH TM 7040 obtidos ensaio dinamométrico.	104

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Aspectos sobre tração e interação rodado-solo	14
2.2 Pressão de inflação dos pneus	17
2.3 Ensaio de desempenho de tratores agrícolas.....	19
2.4 Desempenho operacional e energético dos tratores agrícolas	21
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1 Material.....	24
3.1.1 <i>Localização da Área Experimental</i>	24
3.1.2 <i>Pista de Concreto</i>	24
3.1.3 <i>Pista de Solo Agrícola Mobilizado</i>	25
3.1.3.1 <i>Caracterização do solo</i>	25
3.1.4 <i>Trator e Pneus</i>	26
3.1.5 <i>Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração – UMEB</i>	29
3.1.6 <i>Consumo Horário de Combustível</i>	30
3.1.7 <i>Temperatura do combustível</i>	31
3.1.8 <i>Rotação do motor do trator</i>	32
3.1.9 <i>Patinagem dos rodados do trator</i>	32
3.2 Métodos	33
3.2.1 <i>Delineamento experimental do ensaio de campo</i>	33
3.2.2 <i>Velocidade de Deslocamento</i>	36
3.2.3 <i>Patinagem dos Rodados do Trator</i>	37
3.2.4 <i>Força de Tração na Barra</i>	37
3.2.5 <i>Potência disponível na barra de tração</i>	38
3.2.6 <i>Consumo Horário do Combustível</i>	38
3.2.7 <i>Consumo específico de combustível</i>	39
3.2.8 <i>Rotação do motor</i>	39

3.2.9 <i>Rendimento na Barra de Tração</i>	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1 Força na barra de tração.....	41
4.2 Consumo de Específico de Combustível	49
4.3 Consumo horário de combustível	56
4.4 Patinagem dos rodados do trator	62
4.5 Velocidade de deslocamento	71
4.6 Potência na barra de tração	79
4.7 Rendimento na barra de tração	87
5 CONCLUSÃO	96
REFERÊNCIAS	97
APÊNDICE	103

1 INTRODUÇÃO

O atual cenário mundial caracteriza-se pela globalização dos mercados, pela crescente aceleração tecnológica e pela democratização da informação e do conhecimento, forçando o setor agrícola nacional a utilizar novos conceitos, métodos e técnicas, a fim de atender as necessidades dos consumidores finais, fornecendo produtos com qualidade superior, preços mais acessíveis e possibilitando maior competitividade no mercado mundial.

Dentro de uma economia global, na qual se insere a agricultura brasileira, a importância e a difusão de informações são essenciais para tomada de decisões, principalmente quando estão relacionadas à otimização da relação entre custo e benefício. Pesquisas que informem novas técnicas que possam ser incorporadas nas atividades operacionais de campo como melhorias estratégicas, são limitadas, embora sejam de fundamental importância para a redução de alguns fatores dos custos da produção agrícola.

Diante desse cenário, fez-se importante o estudo de métodos que visem um melhor rendimento energético nas operações de campo com o uso de tecnologias como sensores, sistemas de aquisição de dados e sistemas de direcionamento por satélite que possibilitem a coleta e a análise de um elevado volume de dados, gerando assim, importantes informações para a tomada de decisões.

A adequação de um trator agrícola visando à utilização de pneus ajustados para diferentes condições superficiais de solo resulta em melhor desempenho geral com conseqüente aumento da capacidade operacional, aumento da vida útil, melhor qualidade de serviço e menor custo operacional.

A determinação do desempenho dos conjuntos mecanizados é uma tarefa complexa, principalmente quando realizada no campo, pois inúmeras são as variáveis que devem ser analisadas. Os resultados são influenciados por variáveis como tipo de solo, pneu e pressão interna, lastro (relação peso/potência), cobertura vegetal, distribuição estática, transferência de peso e topografia do terreno.

Alguns fatores relacionados às máquinas agrícolas como pneus estreitos, elevada pressão de inflação e alta carga por eixo têm contribuído para o aumento da compactação do solo, assim, o uso de pneus com baixa pressão ou calibrados adequadamente vem sendo sugerido como uma medida de redução da pressão de contato com o solo e, portanto, na redução da compactação do solo.

A utilização de diferentes pressões de inflação dos pneus e diferentes forças na barra de tração do trator são fatores que influem significativamente no desempenho de tratores

agrícolas, já que pneus com baixa pressão de inflação tendem a ter maior área de contato com o solo, contribuindo assim para uma melhoria na sua capacidade tratória.

O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho energético de um trator agrícola 4x2 TDA trabalhando com diferentes forças na barra de tração (100%, 75% e 50% de força na barra de tração do trator correspondente a força máxima de tração na potência máxima do motor do trator), pressão de inflação dos pneus (165,4/220,6 kPa Traseiro/Dianteiro correspondente à máxima pressão de inflação recomendada pelo fabricante dos pneus e 110,3/110,3 kPa Traseiro/Dianteiro correspondente à mínima pressão recomendada pelo fabricante dos pneus) em superfície de concreto e em solo mobilizado utilizando como padrão a norma OECD – “Código 2”.

Em termos específicos objetivou-se:

Avaliar o consumo de combustível em diferentes condições de pressões de inflação dos pneus do trator.

Avaliar o rendimento na barra de tração em diferentes condições de pressões de inflação dos pneus do trator.

Avaliar a força de tração do trator em superfície de concreto e em solo mobilizado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos sobre tração e interação rodado-solo

As interações rodado-solo apresentam um contínuo desafio para os pesquisadores e fabricantes de pneus agrícolas, devido sua difícil mensuração em campo. A modelagem das interações de solo-máquina é um processo complexo devido à variabilidade espacial dos meios de interação do solo, e o comportamento não-linear do solo, dos fenômenos de contato e de fluxo que ocorrem na zona de interface entre o solo e a ferramenta, e os seus efeitos dinâmicos (SHMULEVICH, 2010).

Os estudos da dinâmica do solo envolvem conhecimentos como física e mecânica das forças aplicadas ao solo, para causarem comportamentos ou reações de maneira que obedeçam as leis básicas da física, matemática e mecânica, com o objetivo de medir parâmetros operacionais básicos das máquinas que se engajam no solo, identificar e medir as propriedades dinâmicas que inerentemente governam o comportamento do sistema ferramenta-solo, assim como desenvolver teorias para os específicos tipos de manipulação do solo conduzidos por máquinas e tentar combinar todas estas informações para criar projetos racionais de máquinas que se engajem no solo (UPADHYAYA *et al.*, 1994).

Segundo Rosa (2007) a dinâmica da máquina-solo envolve conhecimentos mecânicos, vinculados à máquina agrícola, e conhecimentos de comportamento do solo. Esses conhecimentos devem ser analisados conjuntamente, visto que esses possuem interação contígua. Para Machado (2001), a análise desta relação necessita de conhecimentos da resistência que o solo oferece à ação da ferramenta, conhecimento das interações que ocorrem entre os diversos parâmetros físicos do solo e sua relação com o esforço de tração; e comportamento do solo frente a cargas compressivas.

As propriedades dinâmicas do solo são propriedade que se manifestam através do movimento. Para Gill e Vanden Berg (1968) as propriedades dinâmicas do solo são: Tensão no solo; deformação do solo; relações tensão/deformação; resistência do solo; distribuição de tensão; distribuição de deformação; tensão de escoamento do solo; e movimento de corpo rígido.

Qualquer ruptura no solo ocorre sob forma cisalhante. Segundo Mckyes (1989), Coulomb foi o primeiro pesquisador a descrever a resistência ao cisalhamento, sendo sua metodologia utilizada até os dias de hoje, comumente conhecida com Lei de Coulomb. Coulomb descreveu a ação do cisalhamento por duas componentes principais, atrito e coesão.

A coesão (entre partícula) é a parte que não depende da tensão normal (tensão perpendicular ao corpo), sendo medida diretamente na ruptura entre os dois corpos, ou seja, o valor da tensão de cisalhamento quando a tensão normal é nula. Já o atrito, é dependente da tensão normal, sendo proporcional a essa. Assim a resistência do solo ao cisalhamento pode ser calculada por meio dos parâmetros intercepto de coesão (c) e ângulo de atrito interno do solo (ϕ) (COOPER; NICHOLS, 1959 *apud* SILVA *et al.*, 2004), cujos valores variam consideravelmente de acordo com o teor de água, tamanho das partículas, preparo do solo, dentre outros (TERZAGHI; PERCL; MESRI, 1996). Rosa (2007), Silva, Imhoff e Kay (2004), Albiero (2006) cita que esses dois parâmetros podem ser estimados pela equação empírica de Coulomb $\tau = c + \sigma_n \operatorname{tg}\phi$, em que t é a tensão cisalhante (kPa), c é o intercepto de coesão (kPa), σ_n é a tensão normal (kPa) e $\operatorname{tg}\phi$ é o coeficiente de atrito, cujo arco tangente é o ângulo de atrito interno do solo.

Uma das condições do solo que afeta os esforços é o conteúdo de água, pois afeta a coesão, a adesão e o ângulo de atrito interno do solo (McKYES, 1985), parâmetros responsáveis por sua ruptura. Aliado a isto, Machado *et al.* (1996) comentam que na condição de alto teor de água na condição de plasticidade, o agregado em vez de romper ao longo do plano de fratura do solo, é comprimido, alterando sua forma, podendo resultar na compactação desse.

Ashburner e Sims (1984) afirmam que a textura afeta diretamente a coesão dos solos, mostrando que os de textura franca apresentam maior coesão e têm alto atrito interno, já solos arenosos em estado seco, não apresentam coesão, porém oferece maior atrito, e solos argilosos em estado plástico proporcionam coesão, mas não oferecem atrito.

Segundo Upadhyaya *et al.* (1994) os fatores que influem nas forças requeridas para o solo deslizar sobre outro material são: textura do solo, teor de água do solo, porosidade do solo, resistência do material, deslizamento entre partículas de solo, forma geométrica, velocidade de deslizamento, tipo de material, nível de tensão normal, rigidez do sistema carregado, rigidez do solo, carga quase estática, deslizamento cinemático valores máximos de tensão normal durante a ação e picos máximos e mínimos de tensão normal.

Várias são as situações e condições que podem influenciar na tração e uma das principais é o solo, em função das suas propriedades e condição da superfície. As condições do solo que afetam a eficiência de tração de um trator agrícola são a textura, o teor de água e o tipo de cobertura existente sobre o mesmo (YANAI *et al.*, 1999).

Zoz e Grisso, (2003) destacam que desempenho de tração é afetado pelas forças de reação normal e tensão de cisalhamento do solo, pois elas interferem na resistência ao rolamento e no deslizamento dos rodados sobre a superfície de deslocamento. Os autores relatam que, descrever o solo talvez seja a parte mais difícil para avaliar a tração, pois o solo apresenta grandes variações de propriedades e características, que pode facilmente influenciar a sua caracterização. Medir essas variáveis leva tempo e as avaliações dos parâmetros de tração não pode ser reproduzido ou repetido para condições diferentes do solo. Por esta razão, muito dos testes da tração são de natureza comparativa, isto é, um dispositivo de tração comparado a outro dispositivo, quando operados sob as mesmas condições do solo. Para avaliar as forças do solo que afetam o desempenho da tração, o parâmetro físico mais utilizado nas equações de simulação, é o índice de cone, obtido no campo através dos penetrômetros (WISMER; LUTH, 1974, AL-HAMED *et al.*, 1990 e ZOZ; GRISSO, 2003).

De acordo com Zoz e Grisso (2003) são três as possíveis condições teóricas em que uma roda age sobre o solo: roda sólida sobre superfície sólida, roda deformável em superfície sólida e roda deformável em superfície não sólida, sendo esta última a condição real. Gabriel Filho *et. al* (2010) avaliando um trator em três diferentes tipos de superfície do solo, concluíram que no solo firme e sem cobertura vegetal, o desempenho do trator foi melhor, seguido pelo solo com a superfície coberta com palha de milho e braquiária e, por último, o solo com a superfície mobilizada.

No estudo do desempenho de tração de um trator além das condições do solo, também as características dos rodados e variáveis como carga dinâmica, força na barra de tração, torque e patinagem afetam a eficiência de tração.

Para melhor desempenho de uma máquina agrícola é necessário avaliar a interação entre o rodado e a superfície, expressa em termos de área de contato, tornando um parâmetro de importância fundamental (PLACKETI, 1985 *apud* MONTEIRO 2011). O tamanho e a forma da área são determinados pelas propriedades estruturais do solo e do rodado. Como a maioria destes veículos é equipada com rodados pneumáticos, os problemas envolvendo a sua interação com o solo se tornam bastante complexos (CASTRO NETO, 2001).

No estudo da interação pneu/solo, existe a necessidade de descrever a área de contato entre os mesmos (HALLONBORG, 1996). A carga no pneu e a área resultam em pressão no solo, o que implica em alterações nas características físicas do mesmo.

O rodado pneumático, movendo-se em uma superfície deformável, deflete, assim como recalca, evidenciando a complexidade em estudar a interação dinâmica do pneu com o solo (MAZETTO *et al.*, 2004).

Para que a área de contato fosse simétrica em relação a um eixo transversal perpendicular ao pneu, seria necessário que o tráfego ocorresse em uma superfície totalmente elástica (HALLONBORG, 1996), condição esta que não ocorre no caso do tráfego com fins agrícolas ou florestais. O tráfego "fora-de-estrada" provoca deformações plásticas no solo e, conseqüentemente, a área de contato não é simétrica, sendo maior para a parte da frente do pneu (WULFSOHN; UPADHYAYA, 1992).

O uso de um modelo de pneu específico para determinado tipo de superfície ou material de suporte (asfalto, pista de solo compactado ou cascalhado, solo agrícola, etc.) permitiria aumentar a sua vida útil. No entanto, a variedade dos solos agrícolas (LILJEDAHN *et al.*, 1989) é o fator que dificulta o projeto de componentes de tração que funcionem satisfatoriamente em qualquer situação. Um elemento de tração, de acordo com esses autores, deve ser adequado em 70% do tempo de trabalho e sobre 90% dos terrenos cultivados.

2.2 Pressão de inflação dos pneus

A pressão de inflação tem papel fundamental na área de contato entre o pneu e o solo, além da distribuição de pressão na sua superfície, sendo que para uma menor compactação do solo e maior eficiência tratoria deve-se ter uma maior área de contato do pneu com o solo, utilizando-se menores pressões de inflação dos pneus. Os rodados devem suportar o peso e agir como agente amortecedor de impactos ocasionados pelo movimento de máquinas agrícolas, sendo que sua adequada utilização quanto à pressão de inflação e tipo construtivo de pneu interferem significativamente em consumo de combustível, potência útil e capacidade de tração de máquinas agrícolas (MASIERO; LANÇAS; MONTEIRO, 2011a).

Masiero; Lanças; Monteiro (2011a), Lanças *et al.* (2010) e Corrêa (2000) citam em seus trabalhos que um dos principais objetivos da correta calibragem dos pneus agrícolas é melhorar a capacidade de tração dos tratores agrícolas esses autores apresentam em seus trabalhos que a pressão de inflação varia de acordo com as dimensões e tipo de pneu, tipo de equipamento utilizado e características de operação a ser realizada, este tipo de ação permite: aumentar a produtividade, economizar combustível, controlar a compactação do solo, reduzir a patinação das rodas, aumentar a vida útil dos rodados. A pressão de inflação dos pneus incorreta, seja ela insuficiente ou excessiva, resultará numa operação menos produtiva e com maior custo.

Segundo Monteiro (2009) os pneus diagonais necessitam de inflação com pressões relativamente altas 100 a 200 kPa (14 a 28 psi), a necessidade de maiores pressões está

relacionada com os flancos do pneu (região de flexão do pneu) que sofrem desgastes e avarias quando submetidos a grandes deformações, impostas pela baixa pressão. Já os pneus radiais apresentam características construtivas que permitem diminuir a pressão de inflação dos pneus de 41,4 a 96,5 kPa (6 a 12 psi).

As pressões recomendadas por GOODYEAR (1994) e TRELLEBORG (2002) para cada tipo de pneu, tomando-se como base a pressão de inflação para montagem e movimento a 30 km.h⁻¹, ou seja, 103,43 kPa (15 psi) para o pneu BPAF; 186,17 kPa (27 psi) para o pneu radial e 206,85 kPa (30 psi) para o pneu diagonal.

Masiero *et al.* (2009) estudando o consumo específico de combustível, potência na barra de tração e rendimento na barra de tração em função da pressão de inflação do pneu, concluíram que as baixas pressões de inflação dos pneus apresentaram menores consumos de combustível além de fornecer ao trator maior potência e rendimento na barra de tração, pressões excessivamente altas resultaram em maior patinagem e consumo de combustível e menor eficiência operacional do conjunto, pressões de insuflagem muito baixas, abaixo do recomendado, resultaram em aumento do consumo de combustível, além de diminuir a vida útil dos pneus agrícolas.

Corrêa *et al.* (2000) observaram uma tendência de melhoria na capacidade tratória, quando os pneus estavam inflados na pressão recomendada pelo fabricante. Os resultados obtidos pelos autores evidenciaram diferenças expressivas do uso da pressão correta em relação às altas pressões de inflação, com redução de 11,5% na patinagem e de 3,2% no consumo de combustível do trator. Os autores obtiveram ainda um aumento de 3,7% na potência na barra de tração e de 4,4% na capacidade operacional, com o uso da pressão recomendada pelo fabricante de pneus comparado com a pressão baixa em pneus diagonais.

Segundo Lopes *et al.* (2005), a pressão de inflação é um fator determinante para o desempenho dos tratores agrícolas. Em estudo realizado por esse autor, a pressão de inflação influenciou significativamente a velocidade de deslocamento, patinagem e potência na barra de tração, sem, no entanto, apresentar uma tendência de comportamento. A interação entre pressão de inflação e carga sobre os rodados mostrou que determinadas combinações desses dois fatores são mais favoráveis para o desenvolvimento de maior velocidade de deslocamento e menor patinagem. A pressão de inflação (“baixa/correta”) para pneus radiais apresentaram melhores resultados nos coeficientes de tração líquida e bruta e na eficiência trativa em função da carga no rodado (LANÇAS *et al.*, 2009).

2.3 Ensaio de desempenho de tratores agrícolas

O desempenho de um trator agrícola com motor diesel pode ser obtido através de um ensaio dinamométrico, obtendo-se desta forma valores de desempenho do trator (curvas de potência, torque e consumo de combustível), geralmente expressos na forma de gráfico, ou em ensaios de campo realizados em pistas de ensaio em diferentes tipos de superfície tendo como base um parâmetro de rendimento a avaliar (força de tração, patinagem, consumo de combustível, entre outros) seguindo os procedimentos pré-estabelecidos por norma oficial de ensaio (RUSSINI, 2012).

O monitoramento do desempenho do trator é algo de extremo interesse e que objetiva otimizar sua utilização para aumentar a eficiência de utilização do combustível no intuito de maximizar a quantidade de trabalho produzido por unidade de combustível consumido. Os tratores agrícolas têm seu desempenho avaliado pela força e potência desenvolvida na barra de tração, torque e potência desenvolvida na tomada de potência (TDP), eficiência de tração, patinagem das rodas motrizes e consumo de combustível (SILVA; BENEZ, 1997). Nesse sentido, o rendimento de um trator agrícola deve ser medido em condições ideais. Isto envolve o ensaio do trator num dinamômetro ou em uma superfície pavimentada de concreto ou asfalto, chamada “pista de teste”. Sob estas condições pode ser obtido o máximo desempenho possível.

Os ensaios constituem importantes etapas no desenvolvimento de máquinas agrícolas, tendo em vista principalmente os intensos esforços a que são submetidas. Na realização de ensaios são avaliadas inúmeras variáveis, as quais são expressas em valores e grandezas das mais diversas ordens resultantes de medidas e avaliações (MIALHE, 1996).

Os ensaios de pista com tratores agrícolas têm por objetivo gerar um relatório com os resultados, o que torna possível comparar o desempenho de tratores, independente do lugar onde foram feitos os testes. Isso se torna possível devido à padronização para realização dos ensaios. A padronização se dá devido à existência de normas, que constituem os procedimentos necessários a serem seguidos pela instituição responsável pelos ensaios (FIORESE, 2011).

Para realização dos ensaios dinamométricos e ensaios de campo existem normas como, por exemplo, a OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) e a ISO (International Standards Organization), que devem ser seguidas para que os ensaios sejam padronizados (RUSSINI, 2012).

A OECD criou os códigos de ensaios, visando tornar comumente aceitável os procedimentos na Europa. Em 1986 a legislação de Nebraska mudou suas leis referentes aos ensaios e aceitou a OECD assim como a NTTL. A partir de 1988 a NTTL se tornou a estação de ensaios oficial nos Estados Unidos, seguindo os códigos criados pela OECD (SRISVASTAVA; GOERING; ROHRBACH, 1993).

As normas oficiais permitem levantar informações quantitativas, através das quais o desempenho de um trator pode ser julgado segundo uma metodologia pré-estabelecida e padronizada.

Segundo os códigos estabelecidos pela norma OECD (2012) permite que os ensaios realizados na maioria das estações mundiais a possibilidade de se comparar os tratores através da utilização de uma norma comum, sendo que valores relativos à potência e consumo de combustível, são obtidos na tomada de potência do trator, por meio de um dinamômetro, enquanto no ensaio da barra de tração o trator traciona uma carga em uma pista de concreto.

Para Fiorese (2011) no Brasil mesmo tendo-se as normas da ABNT, específicas para cada avaliação dos tratores agrícolas, o leque de opções dos fabricantes e pesquisadores é bastante amplo, já que muitos preferem seguir normas internacionais (TABELA 1)

Tabela 1 - Órgãos e normas internacionais e nacionais utilizadas nos ensaios de tratores agrícolas para avaliação de desempenho.

Órgão/Norma	Descrição
Internacionais	
ASAE/ASABE	American Society of Agricultural and Biological Engineers
UNE	Normas da Espanha
ISO	International Organization for Standardization
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development.
Nacionais	
ABNT NBR ISO 1585:1996	Código de ensaio de motores - Potência líquida efetiva.
ABNT NBR 10400:1997	Determinação do desempenho na barra de tração.
ABNT NBR 7811:1993	Características e posição da barra de tração.
ABNT NBR 13400:1995	Determinação do desempenho na tomada de potência.
ABNT NBR ISO 3965:2009	Velocidades máximas - Método de determinação.
ABNT NBR ISO 789-3:2009	Procedimentos de ensaio Parte 3: Diâmetros de giro e do espaço de giro.

Fonte: Adaptado de Fiorese (2011).

2.4 Desempenho operacional e energético dos tratores agrícolas

Segundo Monteiro (2009) uma das principais funções dos tratores agrícolas é transformar a energia química contida nos combustíveis e fornecê-la na forma de energia mecânica, através da força produzida na barra de tração, utilizada para tracionar máquinas e equipamentos agrícolas. Embora o trator também possa ser utilizado para prover energia através da tomada de potência ou por meio do sistema hidráulico. Nesse contexto qualquer melhoria que puder ser feita com relação à transformação da potência do motor em potência de tração da forma mais eficiente possível, contribuirá diretamente na eficiência da produção agrícola e para a conservação e uso racional de energia (MASIERO; LANÇAS; MONTEIRO, 2011b).

Os agricultores têm almejado obter mecanismos eficientes com baixos custos de produção, destacando-se a adequação dos conjuntos moto mecanizados durante o manejo e operação do solo.

Uma parcela considerável dos custos de produção agrícola refere-se à utilização de máquinas e implementos agrícolas, especialmente no que diz respeito a uma das principais unidades de potência da agricultura, o trator agrícola. A otimização de seu desempenho global e, mais especificamente, a melhor utilização do potencial de seu motor, reduzindo o consumo de combustível, que por ser um dos fatores importantes na redução de custos de produção, torna-se um requisito fundamental (SILVA, 1997).

O monitoramento do desempenho do trator tem sido do interesse de pesquisadores há várias décadas, tendo como principal objetivo a otimização do desempenho para aumentar a eficiência do combustível de modo que produza máxima quantidade de trabalho por unidade consumida. Os tratores agrícolas têm seu desempenho avaliado pela potência na TDP, do coeficiente e da eficiência de tração da patinagem das rodas motrizes e do consumo de combustível (MIALHE, 1996; CORDEIRO, 2000; GABRIEL FILHO *et al* 2010).

Com a determinação de força de tração, muitos parâmetros são avaliados com o objetivo de minimizar as perdas de potência desde o motor até a barra de tração e, com isso, conseguir o menor esforço de tração com máximo rendimento operacional, reduzindo, portanto, os custos operacionais de produção (SILVA, 1997).

Outro problema que afeta o desempenho do trator é o patinamento das rodas motrizes, ao qual estão diretamente relacionados à diminuição da força de tração e o aumento no consumo de combustível (RUSSINI, 2009).

Barbosa *et al.* (2005) ao comparar o desempenho operacional de um trator agrícola equipado alternadamente com pneus radiais e diagonais a partir de análises de parâmetros indicadores do desempenho dos referidos pneus sob condições específicas de trabalho concluíram que uso de pneus radiais proporcionou incrementos nos valores de capacidade de tração e potência na barra, diminuição nos valores de consumo específico de combustível e não causou variações no consumo horário de combustível.

Lopes *et al.* (2005) ao estudar o desempenho de um trator agrícola 4x2 TDA de 89 kW (121 cv), variando o tipo de pneu (radial, diagonal e baixa pressão), combinando duas condições de lastragem do trator (com e sem água nos pneus) e quatro velocidades de deslocamento, concluíram que a combinação do tipo de pneu e marcha selecionada evidenciou a superioridade do pneu radial para a variável potência na barra, operando com o trator na marcha M3 (4,57km h⁻¹)

Yanai *et al.* (1999) avaliaram em situação de campo, a influência dos fatores inflação e carga sobre o rodado motriz, combinados com e sem o uso da tração dianteira auxiliar, e observaram que as combinações de pressão de inflação influenciam significativamente a patinagem, a velocidade de deslocamento e a potência na barra, não mostrando, porém, tendência de aumento ou redução com seu decréscimo.

Neujahr e Schlosser (2001) avaliando pneus agrícolas radiais e diagonais em condições de superfície de solo firme e sob preparo convencional e em duas velocidades de deslocamento, concluíram que os pneus radiais apresentaram menor resistência ao rolamento, principalmente em velocidades maiores, menores índices de patinagem quando comparados aos pneus diagonais submetidos à mesma força de tração, menor consumo de combustível quando submetidos a forças de tração maiores que 20 kN, maior coeficiente dinâmico de tração e melhor desempenho em tração dentro dos limites de alta eficiência, ou seja, entre 5 e 20% de patinagem.

Jesuino *et al.* (2011) em um estudo desenvolvido com o objetivo de avaliar o desempenho de um trator agrícola equipado com um conjunto de pneus diagonais novos e outro conjunto de pneus diagonais desgastados, operando em três condições superficiais de solo (pistas): solo mobilizado, solo com cobertura vegetal (restos da cultura de milho) e solo firme e em quatro velocidades de deslocamento (quatro marchas diferentes), concluíram que os níveis de desgaste dos pneus diagonais, respectivamente de 63,4% para os dianteiros e 41,2% para os traseiros, provocaram alterações significativas no desempenho do trator em solo mobilizado, indicando que, para esse nível de desgaste, torna-se necessário um estudo econômico que complemente as informações obtidas visando permitir uma análise detalhada

da necessidade ou não de substituição dos pneus; porém na em solo firme e solo com cobertura vegetal o conjunto de pneus desgastados ainda pode ser utilizado sem alterações de desempenho do trator.

Ao avaliar desempenho de um trator em função do tipo de pneu (radial, diagonal e BPAF) em condições de campo, Cordeiro (2000), verificou-se que houve menor consumo de combustível para os pneus radiais ensaiados sob pressão de inflação de 110 kPa (16 psi) e carga no pneu traseiro variando de 18.000 N a 22.500 N. O pneu diagonal, com pressão de inflação 124 kPa (18 psi) e carga no pneu traseiro variando de 17.000 N a 22.000 N, apresentou maior capacidade de tração, com menor patinagem para os níveis de força de tração na barra, sob maiores lastragens.

Nagaoka *et al.* (2002) em seus estudos concluíram que as condições da superfície do solo também afetam o consumo de combustível do trator, pois ao comparar o consumo de combustível de um trator em diferentes tipos de preparo do solo, observaram que o maior consumo de combustível do trator se deu quando se utilizou o método convencional em relação à área sob o sistema de plantio direto.

Monteiro, Lanças e Guerra (2011) realizando testes com pneu radial e diagonal em três condições superficiais de um Nitossolo Vermelho distrófico (superfície firme, preparada e com cobertura vegetal de resto de milho) concluíram que os menores valores de patinagem e consumo horário de combustível foram obtidos para a lastragem com 40% de água, quando o trator estava equipado com pneus radiais. Já os tratamentos com solo mobilizado apresentaram os maiores valores de patinagem e de consumo horário de combustível. O melhor desempenho do trator, quando equipado com pneu diagonal, ocorreu com a lastragem líquida de 75% de água nos pneus. Os autores ainda comentam que as pistas com superfície firme e com cobertura vegetal apresentaram resultados de desempenho operacional e energético semelhantes na maioria das condições estudadas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Localização da Área Experimental

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Campus de Botucatu, Estado de São Paulo no ano de 2012.

Os ensaios foram realizados no NEMPA – Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais, do Departamento de Engenharia Rural, em pista de concreto e pista de solo mobilizado. A coordenada geográfica da área experimental (ponto central), onde estão às pistas são: 22°51'S, 48°25'W e altitude de 770m.

3.1.2 Pista de Concreto

A pista de concreto possui duas retas com 200 metros de comprimento e 4 metros de largura, em forma oval, totalizando 800 m² de área com declividade de 1% no sentido do comprimento, construída segundo a Norma OECD-CÓDIGO 2, conforme a Figura 1.

Figura 1- Vista da pista de concreto



Fonte: Autor

3.1.3 Pista de Solo Agrícola Mobilizado

A pista de solo agrícola possui 400 metros de comprimento e 25 metros de largura totalizando 10.000 m² de área e declividade de 1% no sentido do comprimento.

O solo da pista foi classificado conforme Embrapa (2006), como Nitossolo Vermelho Distroférrico com relevo plano e textura argilosa.

A Figura 2 apresenta uma vista da pista de solo agrícola nas condições em que os ensaios foram realizados.

Figura 2 - Vista da pista de solo agrícola mobilizado.



Fonte: Autor.

3.1.3.1 Caracterização do solo

Para coleta de amostras de solo na pista de solo mobilizado para a determinação do teor de água, densidade das partículas, granulometria e limites de Atteberg, foram utilizados os materiais descritos por Monteiro (2008) e EMBRAPA (1997), conforme. Para determinar a resistência do solo à penetração foi utilizada a Unidade Móvel de Amostragem de Solo – UMAS, composta por um Penetrômetro Hidráulico-Eletrônico e um Amostrador de Solo, conforme descrito por Lanças (2006).

Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 2

Tabela 2 - Atributos físicos do solo.

Atributos	Solo Mobilizado
Areia (%)	42,8
Silte (%)	18,9
Argila (%)	38,3
Limite de Liquidez (%)	33,4
Limite de Plasticidade (%)	25,8
Densidade de Partículas (g.cm ⁻³)	2,98
Teor de água (%) 0-10 cm	27,4
Índice de cone (kPa) 0-15 cm	750

Fonte: Adaptado de Monteiro (2010).

3.1.4 Trator e Pneus

Os ensaios foram realizados com um trator da marca New Holland, modelo TM 7040, com 132 kW de potência no motor, a 2200 rpm (de acordo com o fabricante), as curvas de potência e torque indicado segundo norma OECD-CÓDIGO 2 (2012) foram obtidas através do ensaio dinamométrico (APÊNDICE – A).

O trator trabalhou com a tração dianteira auxiliar ligada, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Trator New Holland TM 7040 utilizado no ensaio.



Fonte: Autor.

Para aferição da massa do trator foi utilizada uma balança de plataforma, marca Dinamica Generale, modelo DINA 3 com capacidade para 196,13 kN (20 toneladas) e precisão de 1%, para determinação do peso individual de cada eixo do trator, conforme apresentado na Tabela 4.

Foi utilizado um conjunto de pneus diagonais marca Goodyear Modelo Dyna Torque III com 12 lonas e dimensões 24.5-32, nos rodados traseiros e um conjunto de pneus da marca Pirelli Modelo TM 95 com 12 lonas e dimensões 18.4-26 nos rodados dianteiros do trator conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Características dos pneus utilizados no ensaio.

Pneus	Dimensões	Pressão de inflação (kPa)	Largura total (mm)	Circunferência de rolamento (mm)
Dianteiro	18.4-26	220,6	467,3	4330
		110,3	467,3	4250
Traseiro	24.5-32	165,4	622,3	5600
		110,3	622,3	5530

Elaborado pelo autor.

Tabela 4 - Características do trator utilizado no ensaio.

Especificações do trator	
Marca/modelo	New Holland TM 7040
Tipo/classificação	4x2 TDA
Cabine	Com cabine
Horímetro	52,5 horas
Motor – especificações técnica do fabricante	
Marca/modelo	New Holland
Numero de cilindros	6
Aspiração	Turbo Intercooler
Resfriamento ar admissão	sim
Rotação máxima livre (rpm)	2476
Rotação nominal (rpm)	2200
Potência do motor (cv @ rpm)	180 @ 2200
Motor - medidos e calculados no NEMPA	
Potência máxima (cv @ rpm)	174,6 @ 2200
Potência nominal (cv @ 2200)	174,6 - ar condicionado ligado
Potência máxima da TDP (cv @ rpm)	157,2 @ 2200 - ar condicionado ligado
Torque máximo (Nm @ rpm)	747 @ 1200
Reserva de torque (%)	33,9
Transmissão TDP e ventilador	
Tipo	Range Command
Marchas (Frente x Ré)	18 x 6
Posição do câmbio	Lateral
Avanço cinemático das rodas dianteiras (%): kPa pneus (tras./diant.)	4,68 : 165,4/220,6 kPa 3,20 : 110,3/110,3 kPa
Relação Transmissão motor/TDP	3,648
Relação Transmissão Ventilador/motor	1,395
Pneus	
Marca/modelo (Tras./diant.)	Goodyear - Dyna Torque III 24.5-32 / Pirelli - TM 95 18.4-26
Número de lonas (Tras./diant.)	12 Tras. / 12 Diant.
Tipo construtivo	Diagonal
Pesos	
Peso total com lastro (kg)	9000
Eixo Traseiro (kg)	5400
Eixo Dianteiro (kg)	3600
Distribuição do peso % (tras./diant.)	60 / 40
Relação Peso/Potência (kg/cv)	55

Elaborada pelo autor.

3.1.5 Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração – UMEB

Para obtenção da força de tração na barra do trator foi utilizada a Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração – UMEB (FIGURA 4) pertencente ao NEMPA, que operou como um carro dinamométrico instrumentado (TABELA 5).

Figura 4 - Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração – UMEB.



Fonte: Autor.

Tabela 5 - Descrição dos equipamentos e sensores instalados na UMEB, utilizados para o controle variável da força imposta na barra de tração, de acordo com o Código 2 da OCDE.

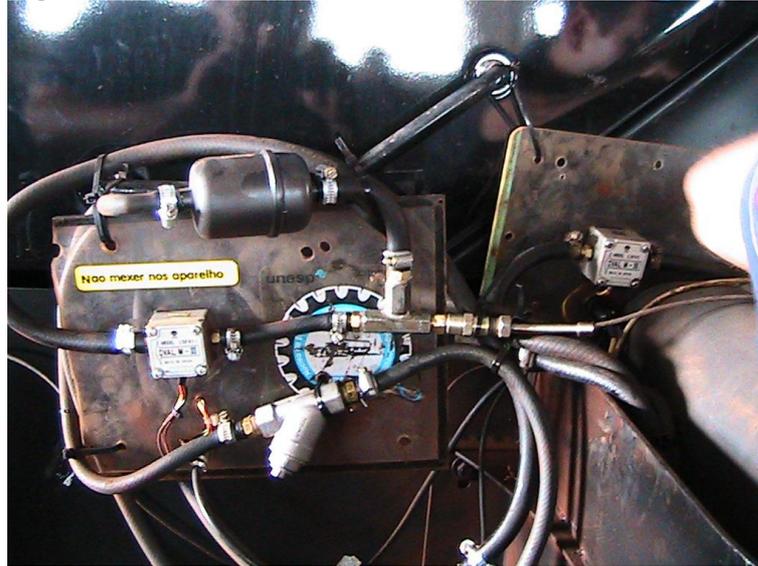
Itens/Sensor	Descrição
Sistema de aquisição de dados	Para captar e registrar os dados de ensaio: tipo CLP (controlador lógico programável) marca Unitronics 24V modelo Vision 230TM
Sensor de força	Para determinar a força exercida em tração: tipo célula de carga marca Lider capacidade de trabalho entre 0 e 10.000 kgf (0 e 100 kN), instalada entre o trator e a UMEB
Roda odométrica	Para determinar a distância percorrida e a velocidade real de deslocamento: tipo metálica com revestimento externo em borracha, perímetro de 1,64 m, com sensor de pulso marca S&E modelo E2A1A 24V de 60 pulsos por volta acoplado ao eixo da roda odométrica
Sistema de frenagem	Para aplicação de força resistente ao trator de testes: tipo pneumático, com controle de força ajustável e capacidade de frenagem de até 7500 kgf (75 kN). Em situações que ofereça maior

Fonte: Adaptado de Fiorese *et al.* (2012).

3.1.6 Consumo Horário de Combustível

O consumo de combustível foi determinado com o uso de dois fluxômetros OVAL M-III LSF41L0-M2, com vazão de 1 mL/pulso, instalados no circuito de combustível, entre o tanque e o motor, sendo um instalado antes da bomba injetora e outro no retorno do combustível ao tanque (FIGURA 5).

Figura 5 - Fluxômetro de combustível.



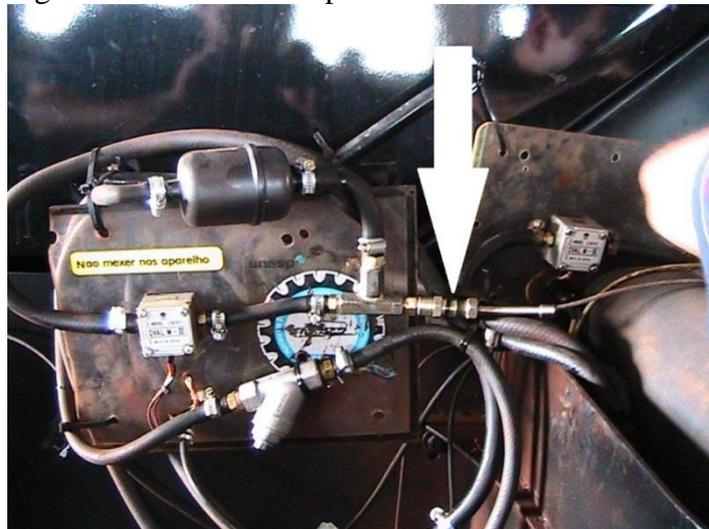
Fonte: Autor.

3.1.7 Temperatura do combustível

A temperatura do combustível foi medida através de um sensor da marca Salcas, modelo termoresistência PT 100 simples e temperatura de trabalho até 200 °C, instalado no sistema de alimentação de combustível do trator (FIGURA 6).

O indicador de temperatura utilizado foi um indicador digital de temperatura para painel, escala 0 a 199.9 graus centígrados, calibragem PT-100 Ohms, modelo ITD-720-PT-100 Ohms com precisão de 0.1% da leitura.

Figura 6 - Sensor de temperatura do combustível.

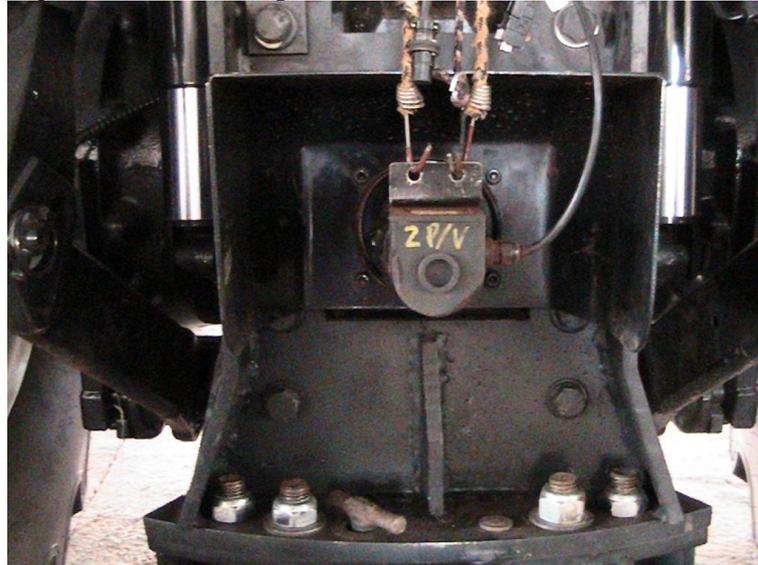


Fonte: Autor.

3.1.8 Rotação do motor do trator

A rotação do motor foi obtida mediante uso de um gerador de pulso marca S&E modelo E1A2C 24V instalado na TDP (FIGURA 7), o qual emite 2 pulsos por volta.

Figura 7 - Sensor de pulso instalado na TDP do trator.



Fonte: Autor.

3.1.9 Patinagem dos rodados do trator

A determinação da patinagem das quatro rodas do trator foi obtida utilizando-se geradores de pulso marca S&E modelo E1A2C 24V de 60 pulsos por volta (FIGURA 8), que forneceu a rotação de cada roda. Também foi obtida a rotação da roda odométrica da UMEB (sem patinagem).

Figura 8 - Sensor de pulso instalado nos rodados do trator.



Fonte: Autor.

3.2 Métodos

3.2.1 Delineamento experimental do ensaio de campo

Foi utilizado o delineamento experimental em faixas (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002), denominadas pistas e definidas pelas condições da superfície de rolamento (superfície de concreto, superfície de solo agrícola).

O arranjo fatorial dos tratamentos foi 2x2x3, sendo analisados:

- Dois tipos de superfície de rolamento (F1): Pista de concreto e Pista de solo mobilizado;
- Duas pressões de inflação dos pneus do trator (F2): Máxima recomendada pelos fabricantes dos pneus 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiro e a Mínima recomendada pelos fabricantes dos pneus 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro;
- Três forças aplicadas na barra tração do trator (F3): 100% (46,4 kN na pista de concreto e 31,4 kN na pista de solo mobilizado), 75% (34,7 kN na pista de concreto e 23,5 kN na pista de solo mobilizado) e 50% (22,9 kN na pista de concreto e 15,9 kN na pista de solo mobilizado) da força correspondente a força máxima de tração na potência máxima e velocidade nominal do motor.

A norma (Código 2) estabelece como procedimento inicial obter a potência máxima do motor na marcha do trator mais próxima de $7,5 \text{ km.h}^{-1}$, na rotação nominal do motor, após definir a potência máxima deve-se ensaiar o trator aplicando 75% da força de tração correspondente à potência máxima a velocidade nominal do motor e 50% da força de tração correspondente à potência máxima a velocidade nominal do motor.

Para obter a potência máxima na rotação nominal do motor do trator NH TM 7040 em pista de concreto foi selecionada a marcha B3 ($7,5 \text{ km.h}^{-1}$, velocidade teórica) e rotação máxima livre de arranque de 2476 rpm do motor, com o conjunto Trator/UMEB em movimento aplicou-se força na barra de tração até a rotação do motor atingir a rotação nominal de 2200 rpm com tolerância de 20 rpm para mais ou para menos (2180 a 2220 rpm). A potência máxima foi definida com as pressões dos pneus do trator de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiro.

Na pista de solo agrícola mobilizado a potência máxima do motor do trator foi definida na marcha do trator B3 ($7,5 \text{ km.h}^{-1}$, velocidade teórica) e rotação máxima livre de arranque de 2476 rpm do motor, com o conjunto Trator/UMEB em movimento aplicou-se força na barra de tração até os rodados do trator atingir 15% de patinagem com tolerância de 1% para mais ou para menos (14 a 16%). A potência máxima do motor foi definida com as pressões de inflação dos pneus de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiro do trator.

Para cada tratamento foi realizadas cinco repetições, totalizando 60 parcelas. Os dados foram obtidos em parcelas (“tiros”) de 25 metros.

Para avaliação dos dados neste trabalho foi utilizado à estatística clássica e a média móvel exponencialmente ponderada considerando as seguintes etapas:

Estatística descritiva: para obtenção da Média aritmética, Coeficiente de variação, Desvio padrão, Variância, Mínimo, Máximo e Coeficientes de Simetria e Curtose.

Teste de normalidade: foi considerado os Coeficientes de Simetria e Curtose entre -3 e 3.

Albiero (2010) cita em seu trabalho que valores positivos Simetria representam concentração de valores à jusante da média e valores de negativos representam concentração de valores à montante da média. Segundo Oliveira (2010) valores do coeficiente de simetria maiores que -3 e 3 representam grande desvio da distribuição normal, assim deve-se desconsiderar a hipótese de normalidade.

Para os valores de Curtose Albiero (2010) cita que valores positivos representam distribuições de dados concentrados em torno da média, já valores negativos representam

distribuições achatadas em relação à média. Assim Oliveira (2010) define que valores do coeficiente de curtose maiores que -3 e 3 representam grande desvio da distribuição normal, desconsiderando assim a hipótese de normalidade.

Análise de variância: o teste utilizado para avaliar a diferença entre médias foi à estatística F. Chao (1974) apud Albiero (2006) cita que a estatística F considera que os vários grupos de tratamentos constituem um grupo total, sendo a variância da amostra total é particionada em: variância dentro do grupo total, e variância entre grupos. Assim a rejeição da hipótese nula, se dá quando a esperança da média quadrada entre grupos é maior do que a esperança da média quadrada dentro de cada grupo, consequentemente a estatística F, ou razão F é maior do que 1, sempre considerando que o nível de significância da hipótese é menor ou igual ao nível de significância requerido (α).

Teste de Média: o teste utilizado para comparação de médias foi o da Mínima Diferença Significativa – MDS. Montgomery (2004) considera desde que se tenha uma razão F significativa à 5% de significância o teste da Mínima Diferença Significativa (MDS) é uma ferramenta eficiente para comparação de médias, já que este, consiste no cálculo das diferenças entre todos os pares de médias existentes via a combinação de todos os tratamentos e é mais robusto quanto a problemas de normalidade.

Para este trabalho o nível de significância considerado foi de 5%, ou seja, intervalo de confiança acima de 95%.

Média Móvel Exponencial Ponderada - MMEP: utilizada em caso que a hipótese de normalidade foi rejeitada.

Segundo Albiero *et al.* (2012), Melo *et al.* (2013) e Monteiro *et al.* (2013) a MMEP é uma ferramenta estatística eficiente para avaliar processos que não seguem uma distribuição normal, esta ferramenta estatística permite que se avalie a estabilidade do processo e variabilidade dos dados.

Montgomery (2004) define a MMEP como sendo praticamente um teste não-paramétrico, pois não depende de normalidade da distribuição dos dados. O autor define a MMEP como sendo:

$$z_i = \lambda \cdot \sum_0^{i-1} (1-\lambda) \cdot x_{i-j} + (1-\lambda)^i \cdot z_0 \quad (1)$$

Onde:

z_i é o valor da média móvel ponderada;

zo é a média alvo do processo;

xi é o valor da característica medida;

λ é o peso considerado para a média, se refere à sensibilidade em captar pequenas mudanças na média.

Os limites de controle do gráfico MMEP são dados pelas seguintes equações:

$$LSC = \mu + L\sigma \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} \cdot [1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad (2)$$

$$LIC = \mu - L\sigma \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} \cdot [1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad (3)$$

Onde:

LSC é o limite superior de controle

LIC é o limite inferior de controle

μ é a média do processo;

L é a largura da faixa entre a média e o limite;

σ é o desvio padrão da amostra.

Segundo Hines *et al.* (2006) a MMEP pode ser considerada uma média ponderada de todas as observações, os pesos decrescem geometricamente com as observações, este método atribui menos peso a observações que ocorreram há menos tempo ou menos frequentemente e sua sensibilidade depende do peso dado e do intervalo entre os limites e a média. Hunter (1989) *apud* Albiero (2010) sugeriu a escolha de peso $\lambda=0,4$ e intervalo em 3σ , o que permite detectar uma mudança do desvio padrão na média em um número reduzido de observações fato comprovado por Albiero (2010).

3.2.2 Velocidade de Deslocamento

A velocidade real é determinada pela roda odométrica fixada posteriormente à UMEB, munida de um sensor de pulso que mede o espaço percorrido em função do perímetro da roda odométrica (EQUAÇÃO 4).

$$V_m = \frac{S}{t} \times 3,6 \quad (4)$$

Onde:

V_m = velocidade média (km h^{-1});

S = espaço percorrido (m);

t = tempo decorrido (s);

3,6 = fator de conversão.

3.2.3 Patinagem dos Rodados do Trator

Com os sinais recebidos dos geradores de pulsos instalados nos rodados, dianteiro e traseiro e utilizando a Equação 5, foi possível determinar a patinagem tanto nas rodas dianteiras como nas rodas traseiras. A determinação da patinagem do trator com carga foi obtida com o trator tracionando a UMEB, e a patinagem do trator sem carga foi obtida pelo deslocamento do trator sem tracionar a UMEB.

$$\text{Pat} = \left(\frac{N_1}{N_0} - 1 \right) \cdot 100 \quad (5)$$

Onde:

Pat = Patinagem (%);

N_0 = Número de pulsos sem carga;

N_1 = Número de pulsos com carga.

3.2.4 Força de Tração na Barra

A exigência de força de tração média na barra de tração corresponde à média aritmética de todos os valores obtidos durante o deslocamento do conjunto Trator/UMEB pela parcela experimental.

A força de tração (FT) foi obtida com o uso da célula de carga, obtida automaticamente e conforme programação prévia com o uso da Equação 6.

$$F_m = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{t} \quad (6)$$

Onde:

F_m = Força de tração média (kN);

F_i = Força de tração instantânea ($\text{kN}\cdot\text{s}^{-1}$);

t = Tempo de percurso na parcela (s).

3.2.5 Potência disponível na barra de tração

A potência média exigida na barra de tração foi calculada em função da força de tração e da velocidade de deslocamento (EQUAÇÃO 7).

$$P_b = \frac{F_m \times V_m}{3,6} \quad (7)$$

Onde:

P_b = potência média requerida na barra de tração do trator (kW);

F_m = força de tração média requerida na barra de tração (kN);

V_m = velocidade média de deslocamento (km h^{-1});

3,6 = fator de conversão.

3.2.6 Consumo Horário do Combustível

O princípio de operação dos fluxômetros consiste em emitir um pulso a cada volta das engrenagens ovais internas, equivalente a 1 ml de combustível. Desta forma o sistema eletrônico calcula o consumo horário volumétrico de acordo com a Equação 8.

$$Ch_v = \left(\frac{Pul_1 \times \left(\frac{60}{t}\right) \times 60}{1000} \right) - \left(\frac{Pul_2 \times \left(\frac{60}{t}\right) \times 60}{1000} \right) \quad (8)$$

Onde:

Ch_v = Consumo horário volumétrico ($\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$);

Pul_1 = Pulsos gerados pelo fluxômetro de alimentação antes da bomba injetora;

Pul_2 = Pulsos gerados pelo fluxômetro de retorno;

60 = Constante de conversão para minutos e horas.

3.2.7 Consumo específico de combustível

O consumo específico, importante para comparar tratores/motores de diferentes tamanhos, ou diferentes condições de esforço tratório, é calculado pela Equação 9.

$$C_{esp} = \rho \times \frac{Chv}{P_b} \quad (9)$$

Onde:

C_{esp} = Consumo específico de combustível ($g.kWh^{-1}$);

ρ = Densidade do combustível ($826 g.L^{-1}$ para temperatura de $40^\circ C$);

Chv = Consumo horário volumétrico ($L.h^{-1}$);

P_b = potência média requerida na barra de tração do trator (kW).

3.2.8 Rotação do motor

A rotação do motor do trator foi determinada de acordo com a Equação 10.

$$N_m = \frac{\left(\frac{P_{ulTDP}}{2}\right) \times it}{\frac{t}{60}} \quad (10)$$

Onde:

N_m = Rotação do motor (rpm);

P_{ulTDP} = pulsos obtidos na TDP durante o percurso na parcela;

it = relação de transmissão entre motor e eixo da TDP.

3.2.9 Rendimento na Barra de Tração

O cálculo do rendimento na barra de tração foi realizado de acordo com a Equação 11.

$$R_{bt} = \left(\frac{P_b}{P_m}\right) \times 100 \quad (11)$$

Onde:

R_{bt} = rendimento na barra de tração (%);

P_b = potência na barra de tração (kW);

P_m = potência no motor (128,4 kW, medido e calculado no NEMPA, com ar condicionado do trator ligado).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Força na barra de tração

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados da estatística descritiva dos dados obtidos para força na barra de tração do trator nas duas condições de superfície de rolamento, pista de concreto e pista de solo mobilizado, para as duas condições de pressão de inflação dos pneus do trator e para as três forças aplicadas na barra de tração do trator conforme a norma OECD-CÓDIGO 2.

Tabela 6 - Estatística descritiva para os dados de força na barra de tração do trator (kN).

Pista de Concreto						
Pressão de inflação dos pneus.	Traseiro/Dianteiro (kPa)			Traseiro/Dianteiro (kPa)		
	165,4/220,6			110,3/110,3		
Força aplicada na barra de tração (%)	100	75	50	100	75	50
Observações	5	5	5	5	5	5
Média (kN)	46,4	34,7	22,9	46,3	34,5	23,2
Coef. de Variação (%)	0,2	0,4	0,4	0,3	1,1	0,2
Variância	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Desvio Padrão	0,6	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3
Mínimo	45,5	34,6	22,8	46,1	34,4	23,0
Máximo	47,0	34,8	23,0	46,5	34,6	23,6
Simetria	0,5	0,5	-0,1	0,0	1,7	0,5
Curtose	-0,6	-0,6	-2,3	-3,0	2,7	-0,6

“Continua”

“Continuação”						
Pista de Solo Mobilizado						
Pressão de inflação dos pneus.	Traseiro/Dianteiro (kPa)			Traseiro/Dianteiro (kPa)		
	165,4/220,6			110,3/110,3		
Força aplicada na barra de tração (%)	100	75	50	100	75	50
Observações	5	5	5	5	5	5
Média (kN)	31,4	23,5	15,9	31,1	23,6	16,3
Coef. de Variação (%)	1,4	1,1	2,7	1,6	1,4	2,1
Variância	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Desvio Padrão	0,4	0,2	0,4	0,5	0,3	0,3
Mínimo	31,1	23,1	15,3	30,7	23,2	15,9
Máximo	32,2	23,7	16,3	31,8	24,0	16,8
Simetria	2,0	-1,7	-0,9	0,7	0,4	0,8
Curtose	4,3	2,8	-0,7	-2,0	-1,9	0,7

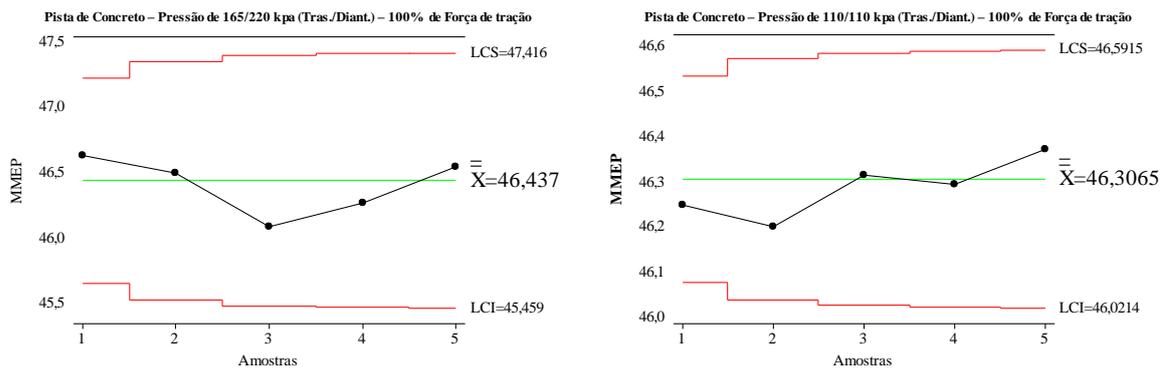
Na Tabela 6 observou-se que mesmo o experimento ter sido realizado em condições de campo onde normalmente existe dificuldade em controlar a variação do ambiente, o coeficiente de variação dos dados se apresentaram em um padrão relativamente baixo isso nos mostra que os critérios metodológicos utilizados nos ensaios descritos no item 3.2.1 foram eficientes.

Verificou-se que o coeficiente de curtose para a força na barra de tração do trator não se mostraram dentro do intervalo de -3 e 3, quando o trator trabalhou na pista de solo mobilizado com pneus inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiro tracionando a UMEB com 100% da força máxima de tração o coeficiente de curtose mostra uma concentração de valores próximos à média contradizendo assim uma distribuição normal. Albiero (2010) afirma que em casos de comprovação da não normalidade dos dados a análise de variância não se torna uma ferramenta estatística indicada para avaliação dos dados. Assim este mesmo autor recomenda para processos não normais à utilização para avaliação, do comportamento das médias e a variabilidade dos dados, através da Média Móvel Exponencial Ponderada - MMEP proposta por Montgomery (2004).

Nas Figuras 9, 10, 11, 12, 13, e 14 estão apresentados os gráficos de controle da MMEP para força na barra de tração do trator para condições de exigência de 100%, 75% e 50% respectivamente, de força na barra de tração do trator, trabalhando em superfície de concreto e solo mobilizado, com pressão de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa

(Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.), podendo observar que todos os pontos estão dentro dos limites de controle, neste caso segundo Montgomery (2004) o processo é considerado estável.

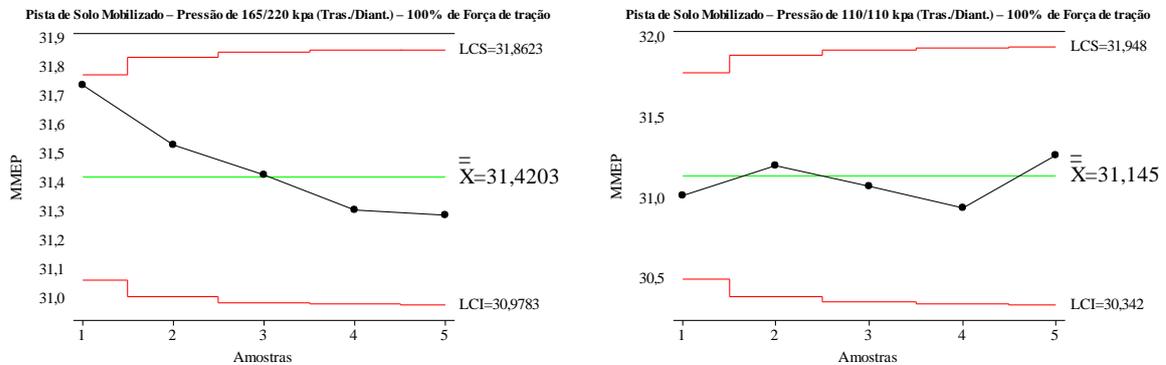
Figura 9 - Gráficos de controle da MMEP para força na barra de tração do trator (kN) correspondente a 100% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de concreto e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).



Avaliando as médias de força na barra de tração para o fator pressão de inflação dos pneus na exigência de 100% de força na barra de tração para o trator tracionar a UMEB em superfície de concreto, notou-se que a condição de pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, apresentou força tração média de 46,30 kN e quando os pneus do trator estavam inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 (32 psi) nos rodados dianteiros no mesmo tipo de superfície apresentou força de tração média de 46,43 kN. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de concreto – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 100% de Força de tração vemos que tanto a valor da força média de tração 46,30 kN, quanto os valores do limite inferior 46,02 kN e superior 46,59 kN se mostraram muito próximos dos valores do gráfico Pista de concreto – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 100% de Força de tração, que apresentou força média de tração de 46,43 kN, limite inferior 45,45 kN e limite superior 47,41 kN podendo dizer assim que as médias não apresentaram diferenças significativas pela análise da MMEP, ou seja o conjunto motomecanizado apresentou força de tração igual estatisticamente para as duas condições de pressão de inflação dos pneus do trator.

Para a condição de superfície de solo mobilizado os gráficos de controle da MMEP para força na barra de tração do trator estão apresentados na Figura 10.

Figura 10 - Gráficos de controle da MMEP para força na barra de tração do trator (kN) correspondente a 100% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de solo mobilizado e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).

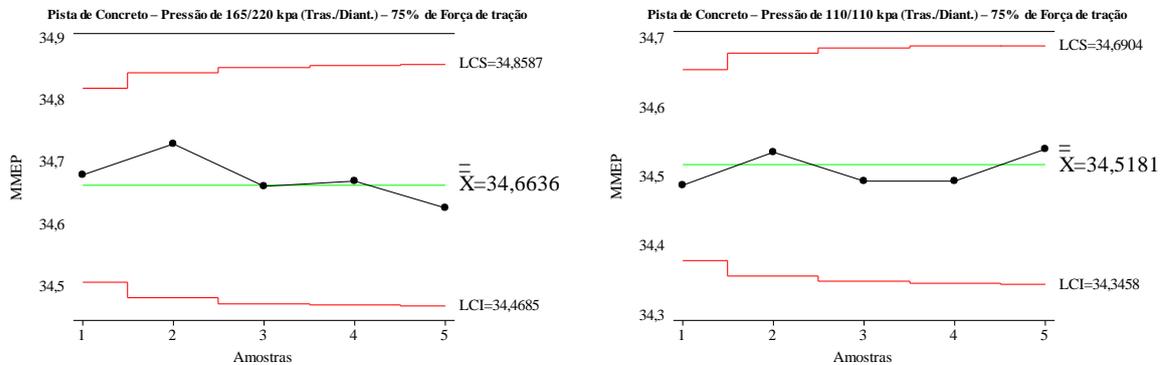


Como observado na Figura 10 os dados se apresentaram estáveis e com pouca variabilidade para os dados de força na barra de tração do trator.

Avaliando as médias de força na barra de tração para o fator pressão de inflação dos pneus na exigência de 100% de força na barra de tração para o trator tracionar a UMEB em superfície de solo mobilizado, notou-se que a condição de pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, apresentou força tração média de 31,14 kN e quando os pneus do trator estavam inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros no mesmo tipo de superfície apresentou força de tração média de 31,42 kN. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de solo mobilizado – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 100% de Força de tração vemos que tanto a valor da força média de tração, 31,14 kN quanto os valores do limite inferior 30,34 kN e superior 31,94 kN se mostraram muito próximos dos valores do gráfico Pista de solo mobilizado – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 100% de Força de tração, que apresentou força média de tração de 31,42 kN, limite inferior 30,97 kN e limite superior 31,86 kN, podendo dizer assim que as médias não apresentaram diferenças significativas pela análise da MMEP, ou seja o conjunto motomecanizado apresentou força de tração igual estatisticamente para as duas condições de pressão de inflação dos pneus.

Para a condição de superfície de concreto com 75% da força de tração requerida na barra de tração do trator os gráficos de controle da MMEP para força na barra de tração do trator estão apresentados na Figura 11.

Figura 11 - Gráficos de controle da MMEP para força na barra de tração do trator (kN) correspondente a 75% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de concreto e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).

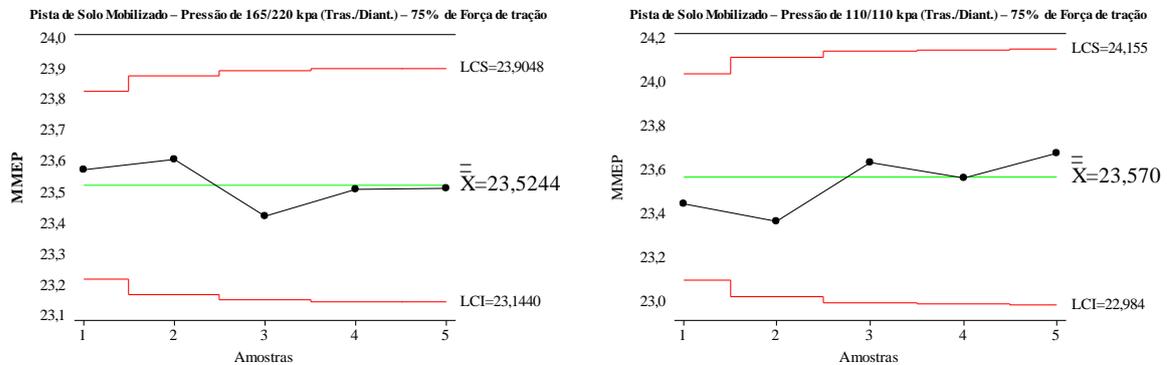


Como observado na Figura 11 os dados se apresentaram estáveis e com pouca variabilidade para os dados de força na barra de tração do trator.

Avaliando as médias de força na barra de tração para o fator pressão de inflação dos pneus para exigência de 75% de força na barra de tração para o trator tracionar a UMEB em superfície de concreto, notou-se que a condição de pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, apresentou força tração média de 34,51 kN e quando os pneus do trator estavam inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros no mesmo tipo de superfície apresentou força de tração média de 34,66 kN. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de concreto – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 75% de Força de tração vemos que tanto a valor da força média de tração, 34,51 kN quanto os valores do limite inferior 34,34 kN e superior 34,69 kN se mostraram muito próximos dos valores do gráfico Pista de concreto – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 75% de Força de tração, que apresentou força média de tração de 34,66 kN, limite inferior 34,46 kN e limite superior 34,85 kN, podendo dizer assim que as médias não apresentaram diferenças significativas pela análise da MMEP, ou seja o conjunto motomecanizado apresentou força de tração igual estatisticamente para as duas condições de pressão de inflação dos pneus.

Para a condição de superfície de solo mobilizado os gráficos de controle da MMEP para força na barra de tração do trator estão apresentados na Figura 12.

Figura 12 - Gráficos de controle da MMEP para força na barra de tração do trator (kN) correspondente a 75% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de solo mobilizado e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).

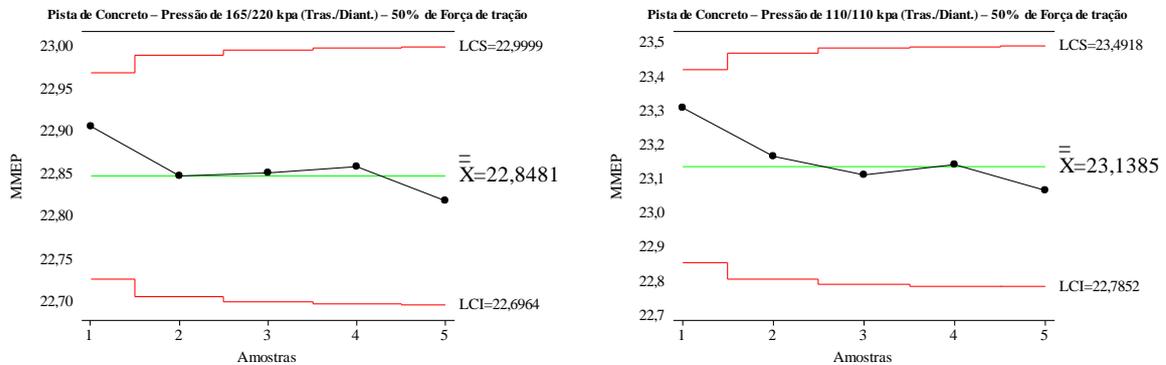


Como observado na Figura 12 os dados se apresentaram estáveis e com pouca variabilidade para os dados de força na barra de tração do trator.

Avaliando as médias de força na barra de tração para o fator pressão de inflação dos pneus para exigência de 75% de força na barra de tração para o trator tracionar a UMEB em superfície de solo mobilizado, notou-se que a condição de pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, apresentou força tração média de 23,57 kN e quando os pneus do trator estavam inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros no mesmo tipo de superfície apresentou força de tração média de 23,52 kN. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de solo mobilizado – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 75% de Força de tração vemos que tanto a valor da força média de tração, 23,57 kN quanto os valores do limite inferior 22,98 kN e superior 24,15 kN se mostraram muito próximos dos valores do gráfico Pista de solo mobilizado – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 75% de Força de tração, que apresentou força média de tração de 23,52 kN, limite inferior 23,12 kN e limite superior 23,90 kN, podendo dizer assim que as médias não apresentaram diferenças significativas pela análise da MMEP, ou seja o conjunto motomecanizado apresentou força de tração igual estatisticamente para as duas condições de pressão de inflação dos pneus.

Para a condição de superfície de concreto com 50% da força de tração requerida na barra de tração do trator os gráficos de controle da MMEP para força na barra de tração do trator estão apresentados na Figura 13.

Figura 13 - Gráficos de controle da MMEP para força na barra de tração do trator (kN) correspondente a 50% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de concreto e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).

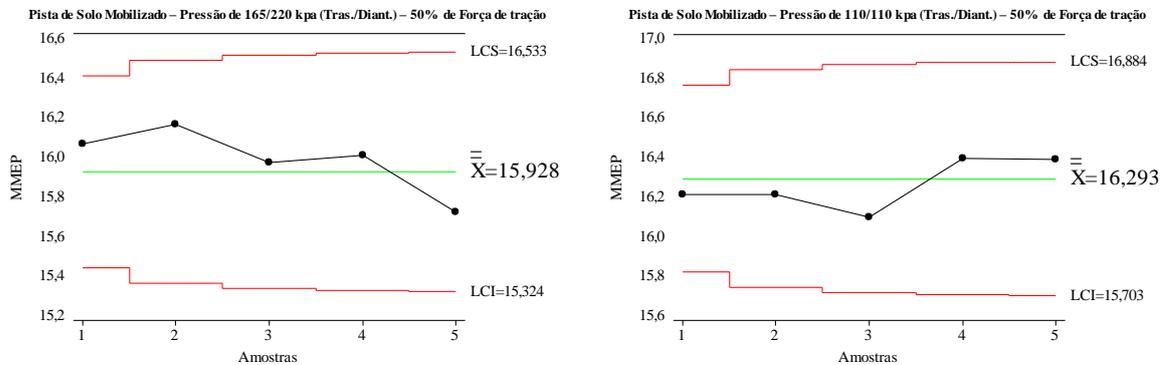


Como observado na Figura 13 os dados se apresentaram estáveis e com pouca variabilidade para os dados de força na barra de tração do trator.

Avaliando as médias de força na barra de tração para o fator pressão de inflação dos pneus para exigência de 50% de força na barra de tração para o trator tracionar a UMEB em superfície de concreto, notou-se que a condição de pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, apresentou força tração média de 23,13 kN e quando os pneus do trator estavam inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros no mesmo tipo de superfície apresentou força de tração média de 22,84 kN. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de concreto – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 50% de Força de tração vemos que tanto a valor da força média de tração, 23,13 kN quanto os valores do limite inferior 22,78 kN e superior 23,49 kN se mostraram muito próximos dos valores do gráfico Pista de concreto – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 50% de Força de tração, que apresentou força média de tração de 22,84 kN, limite inferior 22,69 kN e limite superior 22,99 kN, podendo dizer assim que as médias não apresentaram diferenças significativas pela análise da MMEP, ou seja o conjunto motomecanizado apresentou força de tração igual estatisticamente para as duas condições de pressão de inflação dos pneus.

Para a condição de superfície de solo mobilizado os gráficos de controle da MMEP para força na barra de tração do trator estão apresentados na Figura 14.

Figura 14 - Gráficos de controle da MMEP para força na barra de tração do trator (kN) correspondente a 50% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de solo mobilizado e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).



Como observado na Figura 14 os dados se apresentaram estáveis e com pouca variabilidade para os dados de força na barra de tração do trator.

Avaliando as médias de força na barra de tração para o fator pressão de inflação dos pneus para exigência de 50% de força na barra de tração para o trator tracionar a UMEB em superfície de solo mobilizado, notou-se que a condição de pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, apresentou força tração média de 16,29 kN e quando os pneus do trator estavam inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros no mesmo tipo de superfície apresentou força de tração média de 15,92 kN. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de solo mobilizado – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 50% de Força de tração vemos que tanto a valor da força média de tração, 16,29 kN quanto os valores do limite inferior 15,70 kN e superior 16,88 kN se mostraram muito próximos dos valores do gráfico Pista de solo mobilizado – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 50% de Força de tração, que apresentou força média de tração de 15,92 kN, limite inferior 15,32 kN e limite superior 16,53 kN, podendo dizer assim que as médias não apresentaram diferenças significativas pela análise da MMEP, ou seja o conjunto motomecanizado apresentou força de tração igual estatisticamente para as duas condições de pressão de inflação dos pneus.

Ao analisar os resultados apresentados para força na barra de tração observou-se que não houve diferenças significativas entre as médias de força na barra de tração para a variação da pressão de inflação dos pneus do trator, isso mostra que os dados obtidos no experimento para os parâmetros avaliados, tanto para condição de máxima pressão de inflação

recomendada pelo fabricante dos pneus (165,4 kPa rodados traseiro e 220,6 kPa rodados dianteiro) quanto à mínima pressão de inflação recomendada pelo fabricante dos pneus (110,3 kPa rodados traseiro e 110,3 kPa rodados dianteiro) foram coletados nas mesmas condições de força de tração requerida para tracionar a UMEB nas duas condições de pressão de inflação dos pneus.

Para o fator superfície de rolamento o trator desenvolveu uma força máxima na barra de tração cerca de 32% maior para superfície de concreto quando comparada a força gerada na condição de superfície de solo mobilizado. Essa diferença ocorreu devido a superfície de concreto apresentar condição de tração homogênea, gerando uma aderência dos rodados com a superfície de contato superior a condição de solo mobilizado que apresenta superfície heterogênea tornando assim a interação pneu/solo instável, corroborando com resultados encontrado por Monteiro (2011), Gabriel Filho et al. (2010) e Lanças (1996).

4.2 Consumo de Específico de Combustível

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados da estatística descritiva dos dados obtidos para o consumo específico de combustível nas duas condições de superfície de rolamento, pista de concreto e pista de solo mobilizado para as duas condições de pressão de inflação dos pneus do trator e para as três forças aplicadas na barra de tração do trator conforme a norma OECD-CÓDIGO 2.

Tabela 7 - Estatística descritiva para os dados de consumo específico de combustível (g.kW.h^{-1}).

Pista de Concreto						
Pressão de inflação dos pneus.	Traseiro/Dianteiro (kPa)			Traseiro/Dianteiro (kPa)		
	165,4/220,6			110,3/110,3		
Força aplicada na barra de tração (%)	100	75	50	100	75	50
Observações	5	5	5	5	5	5
Média (g.kW.h^{-1})	358,1	413,2	479,7	351,8	408,8	478,6
Coef. de Variação (%)	2,0	1,0	2,2	0,6	0,8	0,8
Variância	49,4	17,0	109,6	5,1	11,9	13,4
Desvio Padrão	7,0	4,1	10,4	2,2	3,4	3,6
Mínimo	348,6	408,4	469,1	349,6	403,1	473,7
Máximo	368,0	417,4	493,1	355,0	411,3	483,2
Simetria	0,2	0,0	0,1	0,5	-1,6	-0,2
Curtose	1,1	-2,6	-1,9	-0,6	2,3	-0,7
Pista de Solo Mobilizado						
Pressão de inflação dos pneus.	Traseiro/Dianteiro (kPa)			Traseiro/Dianteiro (kPa)		
	165,4/220,6			110,3/110,3		
Força aplicada na barra de tração (%)	100	75	50	100	75	50
Observações	5	5	5	5	5	5
Média (g.kW.h^{-1})	511,3	550,8	640,9	496,7	536,5	634,3
Coef. de Variação (%)	1,3	1,6	2,9	1,8	2,4	2,2
Variância	43,1	74,4	340,5	81,3	169,1	190,0
Desvio Padrão	6,5	8,6	18,4	9,0	13,0	13,7
Mínimo	504,4	536,5	610,6	489,2	520,4	619,8
Máximo	522,1	557,5	659,3	511,0	551,8	656,2
Simetria	1,3	-1,6	-1,4	1,2	0,1	1,1
Curtose	2,7	2,3	2,4	1,1	-1,9	1,6

Na Tabela 7 observou-se que mesmo o experimento ter sido realizado em condições de campo onde normalmente existe uma dificuldade em conseguir controlar a variação do ambiente, o coeficiente de variação dos dados se apresentaram em um padrão relativamente baixo isso mostra que os critérios metodológicos utilizados nos ensaios descritos no item 3.2.1 foram eficientes.

Verifica-se que os coeficientes de simetria e curtose para o consumo específico de combustível em todos os fatores avaliados se mostraram dentro do intervalo de -3 e 3, ou seja, respeitando uma distribuição normal. Como os dados apresentaram normalidade para o

consumo específico de combustível, a análise de variância se torna uma ferramenta estatística adequada para avaliar os dados juntamente com um teste de comparação de médias.

A Análise de Variância foi realizada utilizando-se a razão F como estatística e a diferença entre médias foi obtida através do teste de Mínima Diferença Significativa (MDS), utilizados para avaliação dos dados.

O resultado da análise de variância apresentado na Tabela 8. A razão F é superior a 1, desde que o valor da significância é menor que 0,01 (1%) e superior a 5 desde que o valor da significância seja igual a 0,01 e menor que 0,05 (5%), existe uma diferença estatisticamente significativa entre as médias dos tratamentos: tipo de superfície de rolamento (F1); pressão de inflação dos pneus (F2); força aplicada na barra de tração do trator (F3); interação entre tipo de superfície e força na aplicada na barra de tração (F1xF3) com um nível de confiança de 95%.

Tabela 8 - Análise de variância para dados de consumo específico de combustível (g.kW.h⁻¹).

Fatores	GL	SQ	QM	F	P
Superfícies (F1)	1	322988,95	322988,95	3509,0830 **	<0,001
Pressão de Inflação (F2)	1	934,80	934,80	10,1561 **	0,0025
Força na barra de tração (F3)	2	169934,43	84967,21	923,1183 **	<0,001
Interação F1xF2	1	234,60	234,60	2,5489 ns	0,1168
Interação F1xF3	2	1710,06	855,03	9,2894 **	<0,001
Interação F2xF3	2	126,26	63,13	0,6859 ns	>0,050
Interação.F1xF2xF3	2	12,38	6,19	0,0673 ns	>0,050
Tratamentos	11	495941,51	45085,59	489,8282 **	<0,001
Resíduo	48	4418,09	92,05		
Total	59	500359,60			

** significativo ao nível de 1% de significância (p < .01)

* significativo ao nível de 5% de significância (.01 =< p < .05)

ns não significativo (p >= .05)

Na Tabela 8 os tratamentos interação entre tipo de superfície de rolamento e pressão de inflação dos pneus (F1xF2), interação pressão de inflação dos pneus e força aplicada na barra de tração (F2xF3) e para a interação entre todos os fatores (F1xF2xF3) não apresentaram diferença estatisticamente significativas entre as médias.

Nas Tabelas 9, 10, 11 e 12 estão apresentados as médias utilizando o teste da Mínima Diferença Significativa – MDS para o consumo específico de combustível, as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ou seja não existe diferença

significativa entre médias segundo o teste de mínima diferença significativa a um nível de confiança de 95%, (5% de significância).

Tabela 9 - Médias de consumo específico de combustível (g.kW.h^{-1}) para o fator tipo de superfície de rolamento (F1).

Tipo de Superfície (F1)	Médias (g.kW.h^{-1})
Pista de Concreto	415,04 b
Pista de Solo Mobilizado	561,78 a

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste MDS em nível de 5% de significância.

Conforme a Tabela 9 pode-se notar que para a superfície de rolamento do tipo concreto ocorreu um consumo específico de combustível pelo trator agrícola menor estatisticamente comprovado pelo teste MDS a nível de significância de 5% em relação a superfície de rolamento de solo mobilizado, resultados semelhantes foram encontrados por Monteiro (2011), Gabriel Filho *et al* (2010) e Lopes *et al* (2003).

Como apresentado na Tabela 9 o trator trabalhando em superfície de rolamento do tipo solo mobilizado apresentou um consumo específico de combustível de $561,26 \text{ g.kW.h}^{-1}$, ou seja o trator requer uma quantidade de combustível para gerar a potência necessária na barra de tração para tracionar um implemento de 26,12 % maior quando comparado ao trabalho em superfície de concreto que apresentou um gasto de $415,04 \text{ g.kW.h}^{-1}$.

Segundo Monteiro (2011) a capacidade de um trator agrícola em desenvolver tração em superfície de solo mobilizado diminui em relação à superfície de concreto, isso ocorre devido o solo não oferecer a mesma resistência, já que em solos mobilizado a resistência do solo ao rolamento é maior quando comparada ao concreto, gerando assim uma situação que requer uma demanda maior de energia do trator para vencer a resistência do solo ao rolamento e manter a velocidade de deslocamento elevando assim o consumo específico de combustível.

Na Tabela 10 estão apresentadas as médias de consumo específico de combustível para o fator pressão de inflação dos pneus, e como podemos observar a pressão de inflação dos pneus de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiro do trator apresentou um consumo específico de combustível maior estatisticamente comprovada pelo teste MDS a nível de significância de 5% em relação ao consumo específico quando o trator trabalhou com pressão de inflação dos pneus de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro.

Tabela 10 - Médias de consumo específico de combustível (g.kW.h^{-1}) para o fator pressão de inflação dos pneus (F2).

Pressão de Inflação dos Pneus (F2)	Médias (g.kW.h^{-1})
Traseiro/Dianteiro - 165,4/220,6 kPa	492,36 a
Traseiro/Dianteiro - 110,3/110,3 kPa	484,47 b

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste MDS em nível de 5% de significância.

Conforme a Tabela 10 observou-se que o trator NH TM 7040 ao trabalhar com os pneus inflados com um pressão de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro teve um consumo específico de combustível de $484,47 \text{ g.kW.h}^{-1}$, ou seja o trator obteve uma redução no consumo de combustível de 1,6% quando comparado ao consumo específico de combustível quando o trator tracionou a UMEB com os pneus inflados a uma pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiro que apresentou um gasto de $492,36 \text{ g.kW.h}^{-1}$.

Ao diminuir a pressão de inflação dos pneus do trator ocorre um aumento na área de contato do pneu com a superfície de rolamento melhorando o rendimento dos rodados do trator em realizar tração, assim a uma redução na demanda de energia gasta pelo trator consequentemente reduzindo o consumo de combustível. Conforme Lee e Kim (1997), a pressão interna tem papel fundamental na área de contato entre o pneu e o solo, além da distribuição da pressão na sua superfície, interferindo na capacidade tratoria. Smerda e Cupera (2010), afirmam que a redução na pressão de inflação e o uso do tipo adequado dos pneus podem melhorar as características de força de tração e consequentemente diminuir o consumo de combustível.

Como se observou a redução na pressão de inflação dos pneus gerou uma pequena diferença no consumo específico de combustível, essa diferença não foi maior devido às duas pressões de inflação dos pneus, utilizada no ensaio estarem dentro das pressões recomendada pelo fabricante dos pneus onde a pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiro é correspondente a máxima pressão de inflação dos pneus recomendada pelo fabricante e a pressão de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e dianteiro respectivamente corresponde à mínima pressão de inflação recomendada pelo fabricante dos pneus. Correa (1993) afirma que o trator ao trabalhar com a mínima pressão de inflação dos pneus recomendada gera uma vantagem no desempenho já que esta proporciona ao trator desenvolver mais potência na barra de tração sem gerar um gasto maior de combustível.

Na Tabela 11 as médias de consumo específico de combustível para o fator avaliado força aplicada na barra de tração do trator conforme a norma OECD-CÓDIGO 2 apresentaram

diferenças estatisticamente comprovada pelo teste MDS a nível de significância de 5%, podendo observar que ao aumentar a aplicação de força na barra de tração do trator reduziu-se o consumo específico de combustível do mesmo.

Tabela 11 - Médias de consumo específico de combustível (g.kW.h^{-1}) para o fator força aplicada na barra de tração do trator (F3).

Força Aplicada na Barra de Tração (F3)	Médias (g.kW.h^{-1})
100% da força na potência máxima do motor	429,46 c
75% da força na potência máxima do motor	477,38 b
50% da força na potência máxima do motor	558,41 a

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste MDS em nível de 5% de significância.

Conforme apresentado na Tabela 11 a aplicação da força na barra de tração do trator correspondente a 100% da força máxima de tração na potência máxima do motor do trator gerou um consumo específico de combustível de $429,46 \text{ g.kW.h}^{-1}$, a aplicação da força na barra de tração do trator correspondente a 75% da força máxima de tração na potência máxima do motor do trator gerou um consumo específico de combustível de $477,38 \text{ g.kW.h}^{-1}$ e a aplicação da força na barra de tração do trator correspondente a 50% da força máxima de tração na potência máxima do motor do trator gerou um consumo específico de combustível de $558,41 \text{ g.kW.h}^{-1}$, ou seja o trator ao utilizar 100% da força máxima de tração na potência máxima do motor para tracionar a UMEB consumiu 10% a menos de combustível comparado ao consumo do trator quando a UMEB exigiu para ser tracionada 75% da força máxima de tração na potência máxima do motor do trator e 23% a menos de combustível quando a UMEB exigiu 50% da força de máxima de tração na potência máxima do motor do trator NH TM 7040.

Esses resultados mostra que a uma otimização no desempenho do motor ao se trabalhar com força máxima na barra de tração na questão do consumo de combustível, isso aconteceu devido o fato do trator ter trabalhado com a rotação de potência máxima 2200 rpm.

Outro aspecto ligado ao consumo específico de combustível é a potência na barra de tração, quando se reduziu a força na barra de tração de 100% para 75% e 50% respectivamente, diminuimos a potência na barra de tração, e como a rotação do motor do trator foi mantida a mesma para todas as condições de força requerida na barra de tração para tracionar a UMEB, conseqüentemente ocorreu diferenças no consumo específico já que este é calculado através do consumo horário que está diretamente relacionado a rotação do motor em função da potência na barra de tração.

Esses resultados nos mostra que a otimização do desempenho do motor do trator na questão de consumo de combustível está diretamente ligada à adequação do equipamento utilizado a fonte de potência, concordando assim com Salvador, Mion e Benez (2009) que ao avaliarem a relação de consumo específico de combustível concluíram que os menores valores de consumo específico de combustível significam a otimização do desempenho do motor, da eficiência trativa e da adequação do equipamento a fonte de potência.

Nas interações entre os fatores avaliados apenas ocorreu diferença significativa entre as médias pelo teste F, a interação entre superfície de rolamento e força aplicada na barra de tração do trator (F1xF3) sendo possível utilizar o teste MDS na nível de 5% de significância para comparação das médias. As interações entre tipo de superfície de rolamento e pressão de inflação dos pneus (F1xF2), pressão de inflação e força aplicada na barra de tração do trator (F2xF3) e a interação entre todos os fatores avaliados (F1xF2xF3), não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo.

Tabela 12 - Médias de consumo específico de combustível (g.kW.h^{-1}) para interação entre tipo de superfície de rolamento (F1) e força aplicada na barra de tração (F3).

Tipo de Superfície (F1)	Força Aplicada na Barra de Tração (F3)		
	100%	75%	50%
Pista de Concreto	354,89 bC	411,06 bB	479,18 bA
Pista de Solo Mobilizado	504,02 aC	543,69 aB	637,64 aA

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e letras maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste MDS em nível de 5% de significância.

Conforme apresentado na Tabela 12 as médias de consumo específico de combustível para interação entre os fatores tipo de superfície de rolamento e força aplicada na barra de tração do trator pode-se visualizar que esses dois fatores influenciam significativamente no consumo específico de combustível do trator, podemos observar que em pista de concreto o trator ao tracionar a UMEB utilizando a máxima força de tração disponível na barra de tração gerou um consumo de combustível de $354,89 \text{ g.kW.h}^{-1}$, enquanto que quando o trator tracionou o equipamento em superfície de solo mobilizado utilizando a mesma condição de força na barra de tração gerou um gasto de combustível de $504,02 \text{ g.kW.h}^{-1}$, ou seja, uma diferença de 29,58% de uma superfície para outra. Para as forças de 75% e 50% da força máxima de tração a diferença do consumo específico de combustível em relação aos tipos de superfícies se manteve em média de 24,5% de uma superfície para outra, sempre com uma desvantagem de consumo para a superfície de solo mobilizado.

A tendência é que quanto menor a força aplicada na barra de tração do trator menor será a diferença de consumo de combustível entre as superfícies de rolamento, já que a exigência de tração requerida pelos rodados é menor com isso os fenômenos de contato e de fluxo que ocorrem na zona de interface entre o solo e os dispositivos de tração tem seus efeitos reduzidos (SHMULEVICH, (2010). Gabriel Filho (2010) afirma que a eficiência de tração de um trator pode ser influenciada pelas condições do solo, características rodados e variáveis como força dinâmica, força na barra de tração, torque e patinagem.

4.3 Consumo horário de combustível

Na Tabela 13 estão apresentados os resultados da estatística descritiva dos dados obtidos para o consumo horário de combustível nas duas condições de superfície de rolamento, pista de concreto e pista de solo mobilizado para as duas condições de pressão de inflação dos pneus do trator e para as três forças aplicadas na barra de tração do trator conforme a norma OECD-Código 2.

Tabela 13 - Estatística descritiva para os dados de consumo horário de combustível (L.h⁻¹).

Pista de Concreto						
Pressão de inflação dos pneus.	Traseiro/Dianteiro (kPa)			Traseiro/Dianteiro (kPa)		
	165,4/220,6			110,3/110,3		
Força aplicada na barra de tração (%)	100	75	50	100	75	50
Observações	5	5	5	5	5	5
Média (L.h ⁻¹)	36,6	36,4	28,5	36,6	36,0	28,7
Coef. de Variação (%)	1,1	0,5	2,1	0,9	1,0	1,7
Variância	0,2	0,0	0,4	0,1	0,1	0,2
Desvio Padrão	0,4	0,2	0,6	0,3	0,4	0,5
Mínimo	36,0	36,2	27,9	36,3	35,4	28,3
Máximo	37,1	36,6	29,2	37,1	36,3	29,5
Simetria	-0,9	-0,1	-0,2	0,2	-1,1	1,8
Curtose	0,9	-2,3	-2,6	-1,5	0,9	3,0

“Continua”

“Continuação”

Pista de Solo Mobilizado						
Pressão de inflação dos pneus.	Traseiro/Dianteiro (kPa)			Traseiro/Dianteiro (kPa)		
	165,4/220,6			110,3/110,3		
Força aplicada na barra de tração (%)	100	75	50	100	75	50
Observações	5	5	5	5	5	5
Média (L.h ⁻¹)	37,2	32,5	26,5	36,5	31,4	26,5
Coef. de Variação (%)	1,0	1,4	1,7	0,8	2,6	1,7
Variância	0,1	0,2	0,2	0,1	0,7	0,2
Desvio Padrão	0,4	0,4	0,4	0,3	0,8	0,5
Mínimo	36,6	31,9	26,1	36,0	30,3	25,9
Máximo	37,6	33,0	27,1	36,8	32,2	27,2
Simetria	-0,9	0,0	0,4	-0,8	-0,5	0,5
Curtose	1,1	-1,6	-1,6	-0,2	-1,6	1,2

Na Tabela 13 observou-se que mesmo o experimento ter sido realizado em condições de campo onde normalmente existe uma dificuldade em se conseguir controlar a variação do ambiente, o coeficiente de variação dos dados se apresentaram em um padrão relativamente baixo isso nos mostra que os critérios metodológicos utilizados nos ensaios descritos no item 3.2.1 foram eficientes.

Verifica-se que os coeficientes de simetria e curtose para o consumo específico de combustível em todos os fatores avaliados se mostraram dentro do intervalo de -3 e 3, ou seja, respeitando uma distribuição normal. Como os dados apresentaram normalidade para o consumo horário de combustível, a análise de variância se torna uma ferramenta estatística adequada para avaliar os dados juntamente com um teste de comparação de médias.

A Análise de Variância foi realizada utilizando-se a razão F como estatística e a diferença entre médias foi obtida através do teste de Mínima Diferença Significativa (MDS), utilizados para avaliação dos dados.

O resultado da análise de variância apresentado na Tabela 14. A razão F é superior a 1, desde que o valor da significância é menor que 0,01 (1%) e superior a 5 desde que o valor da significância seja igual a 0,01 e menor que 0,05 (5%), existe uma diferença estatisticamente significativa entre as médias dos tratamentos: tipo de superfície de rolamento (F1); pressão de inflação dos pneus (F2); força aplicada na barra de tração do trator (F3); interação entre tipo de superfície e força na aplicada na barra de tração (F1xF3) e interação entre pressão de

inflação dos pneus e força na aplicada na barra de tração (F2xF3) com um nível de confiança de 95%.

Tabela 14 - Análise de variância para dados de consumo horário de combustível (L.h⁻¹).

Fatores	GL	SQ	QM	F	P
Superfícies (F1)	1	63,65571	63,65571	296,8934 **	<0,001
Pressão de Inflação (F2)	1	1,72919	1,72919	8,0650 **	0,0066
Força na barra de tração (F3)	2	889,46824	444,73412	2074,2619 **	<0,001
Interação F1xF2	1	0,79101	0,79101	3,6893 ns	0,0606
Interação F1xF3	2	49,38278	24,69139	115,1619 **	<0,001
Interação F2xF3	2	1,51383	0,75692	3,5303 *	0,0371
Interação.F1xF2xF3	2	0,24238	0,12119	0,5652 ns	>0,050
Tratamentos	11	1006,78314	91,52574	426.8806 **	<0,001
Resíduo	48	10,29149	0,21441		
Total	59	1017,07463			

** significativo ao nível de 1% de significância ($p < ,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($,01 \leq p < ,05$)

ns não significativo ($p \geq ,05$)

Na Tabela 14 os tratamentos interação entre tipo de superfície de rolamento e pressão de inflação dos pneus (F1xF2) e para a interação entre todos os fatores (F1xF2xF3) não apresentaram diferença estatisticamente significativas entre as médias.

Nas Tabelas 15, 16, 17, 18 e 19, estão apresentados as médias utilizando o teste da Mínima Diferença Significativa – MDS para o consumo horário de combustível, as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ou seja não existe diferença significativa entre médias segundo o teste de mínima diferença significativa a um nível de confiança de 95%, (5% de significância).

Tabela 15 - Médias de consumo horário de combustível (L.h⁻¹) para o fator tipo de superfície de rolamento (F1).

Tipo de Superfície (F1)	Médias (L.h ⁻¹)
Pista de Concreto	33,81 a
Pista de Solo Mobilizado	31,75 b

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste MDS em nível de 5% de significância.

Conforme a Tabela 15 pode-se notar que para a superfície de rolamento do tipo concreto ocorreu um consumo horário de combustível pelo trator agrícola maior

estatisticamente comprovado pelo teste MDS a nível de significância de 5% em relação a superfície de rolamento de solo mobilizado.

Como apresentado na Tabela 15 o trator trabalhando em superfície de rolamento do tipo solo mobilizado apresentou um consumo horário de combustível de $31,75 \text{ L.h}^{-1}$, ou seja o trator requer uma quantidade de combustível para gerar a potência necessária na barra de tração para tracionar a UMEB 6,1 % menor quando comparado ao trabalho em superfície de concreto que apresentou um consumo de $33,81 \text{ L.h}^{-1}$.

A diferença no consumo horário de combustível se deu devido o trator ter trabalhado com uma força na barra de tração em superfície de concreto 32,5% maior em relação à força aplicada na barra de tração em superfície de solo mobilizado. Essa diferença ocorreu devido às forças aplicadas na barra de tração ser definidas através de metodologias diferentes para quantificar a força máxima de tração em cada tipo de superfície, em pista solo mobilizado o critério utilizado foi o índice de patinagem dos rodados do trator em 15%, já na pista de concreto o critério utilizado foi a rotação de potência máxima do motor do trator (2200 rpm).

Com os resultados apresentados acima podemos concluir que o parâmetro consumo horário de combustível não é um parâmetro eficiente para avaliar o desempenho energético do trator já que este não leva em consideração a quantidade de trabalho realizada pelo trator e sim a demanda de combustível gasto em um período de tempo.

Na Tabela 16 estão apresentados as médias de consumo horário de combustível para o fator pressão de inflação dos pneus, e como podemos observar a pressão de inflação dos pneus de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiro do trator apresentou um consumo horário de combustível maior estatisticamente comprovada pelo teste MDS a nível de significância de 5% em relação ao consumo horário quando o trator trabalhou com pressão de inflação dos pneus de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro.

Tabela 16 - Médias de consumo horário de combustível (L.h^{-1}) para o fator pressão de inflação dos pneus (F2).

Pressão de Inflação dos Pneus (F2)	Médias (L.h^{-1})
Traseiro/Dianteiro - 165,4/220,6 kPa	32,95 a
Traseiro/Dianteiro - 110,3/110,3 kPa	32,60 b

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste MDS em nível de 5% de significância.

Conforme a Tabela 16 observou-se que o trator NH TM 7040 ao trabalhar com os pneus inflados com um pressão de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16

psi) nos rodados dianteiro teve um consumo específico de combustível de $32,6 \text{ L.h}^{-1}$, ou seja o trator obteve uma redução no horário de combustível de 1,1% quando comparado ao consumo horário de combustível quando o trator tracionou a UMEB com os pneus inflados a uma pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiro que apresentou um gasto de $32,9 \text{ L.h}^{-1}$.

Ao diminuir a pressão de inflação dos pneus do trator ocorre um aumento na área de contato do pneu com a superfície de rolamento melhorando o rendimento dos rodados do trator em realizar tração, assim a uma redução na demanda de combustível gasta pelo trator consequentemente reduzindo o consumo de combustível concordando assim com Lee e Kim (1997), Correa (1993) e Smerda e Cupera (2010)

Na Tabela 17 as médias de consumo horário de combustível para o fator avaliado força aplicada na barra de tração do trator conforme a norma OECD-CÓDIGO 2 apresentaram diferenças estatisticamente comprovada pelo teste MDS a nível de significância de 5%, podendo observar que ao aumentar a aplicação de força na barra de tração do trator reduziu-se o consumo horário de combustível do mesmo.

Tabela 17 - Médias de consumo horário de combustível (L.h^{-1}) para o fator força aplicada na barra de tração do trator (F3).

Força Aplicada na Barra de Tração (F3)	Médias (L.h^{-1})
100% da força na potência máxima do motor	36,71 a
75% da força na potência máxima do motor	34,07 b
50% da força na potência máxima do motor	27,55 c

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste MDS em nível de 5% de significância.

Conforme apresentado na Tabela 17 a aplicação da força na barra de tração do trator correspondente a 100% da força máxima de tração na potência máxima do motor do trator gerou um consumo horário de combustível de $36,7 \text{ L.h}^{-1}$, a aplicação da força na barra de tração do trator correspondente a 75% da força máxima de tração na potência máxima do motor do trator gerou um consumo horário de combustível de $34,0 \text{ L.h}^{-1}$ e a aplicação da força na barra de tração do trator correspondente a 50% da força máxima de tração na potência máxima do motor do trator gerou um consumo horário de combustível de $27,5 \text{ L.h}^{-1}$, ou seja o trator ao utilizar 100% da força máxima de tração na potência máxima do motor para tracionar a UMEB consumiu 7,4% mais combustível comparado ao consumo do trator quando a UMEB exigiu para ser tracionada 75% da força máxima de tração na potência máxima do

motor do trator e 25% mais combustível quando a UMEB exigiu 50% da força de máxima de tração na potência máxima do motor do trator NH TM 7040.

Esses resultados mostra que o consumo horário de combustível apresenta valores mais elevados para condições de maior exigência de força de tração, reforçando assim a deficiência de informação que esse parâmetro apresenta sobre o desempenho energético real do trator como já comentado acima.

Lembrando que o consumo horário é um parâmetro de grande importância para ser utilizado como base dos cálculos de desempenho energético e operacional, já que é um parâmetro fácil e rápido de ser mensurado nos tratores agrícola, assim servindo como uma ferramenta indispensável para complementar o planejamento agrícola.

Nas interações entre os fatores avaliados para o consumo horário de combustível ocorreu diferença significativa entre as médias pelo teste F, a interação entre superfície de rolamento e força aplicada na barra de tração do trator (F1xF3) e pressão de inflação e força aplicada na barra de tração do trator (F2xF3) sendo possível utilizar o teste MDS na nível de 5% de significância para comparação das médias. As interações entre tipo de superfície de rolamento e pressão de inflação dos pneus (F1xF2) e a interação entre todos os fatores avaliados (F1xF2xF3), não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo.

Tabela 18 - Médias de consumo horário de combustível ($L.h^{-1}$) para interação entre tipo de superfície de rolamento (F1) e força aplicada na barra de tração (F3).

Tipo de Superfície (F1)	Força Aplicada na Barra de Tração (F3)		
	100%	75%	50%
Pista de Concreto	36,62 aA	36,20 aB	28,60 aC
Pista de Solo Mobilizado	36,80 aA	31,93 bB	26,50 bC

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e letras maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste MDS em nível de 5% de significância.

Conforme apresentado na Tabela 18 as médias de consumo horário de combustível para interação entre os fatores tipo de superfície de rolamento e força aplicada na barra de tração do trator podemos visualizar que esses dois fatores influenciam significativamente no consumo horário de combustível do trator, podemos observar que em pista de concreto o trator ao tracionar a UMEB utilizando a máxima força de tração disponível na barra de tração gerou um consumo de combustível de $36,6 L.h^{-1}$, e quando o trator tracionou o equipamento em superfície de solo mobilizado utilizando a mesma condição de força na barra de tração gerou um gasto de combustível de $36,8 L.h^{-1}$, não tendo diferença significativa na média de

consumo horário de combustível de uma superfície para outra. Para as forças de 75% e 50% da força máxima de tração a diferença do consumo horário de combustível em relação aos tipos de superfícies apresentaram diferenças significativas pelo teste MDS em nível de 5% de significância, mostrando um consumo de combustível superior para a condição de pista de concreto.

Tabela 19 - Médias de consumo horário de combustível ($L.h^{-1}$) para interação entre pressão de inflação dos pneus (F2) e força aplicada na barra de tração (F3).

Pressão de Inflação (F2)	Força Aplicada na Barra de Tração (F3)		
	100%	75%	50%
165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.)	36,89 aA	34,43 aB	27,52 aC
110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.)	36,53 aA	33,71 bB	27,58 aC

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e letras maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste MDS em nível de 5% de significância.

Conforme apresentado na Tabela 19 as médias de consumo horário de combustível para interação entre os fatores pressão de inflação dos pneus e força aplicada na barra de tração do trator podemos visualizar que esses dois fatores influenciam significativamente no consumo horário de combustível do trator, observando que apenas a aplicação da força na barra de tração correspondente a 75% da força máxima de tração do trator apresentou diferença significativa entre as médias das pressões de inflação utilizados nos pneus do trator mostrando uma economia de 2% no consumo de combustível por hora trabalhada.

4.4 Patinagem dos rodados do trator

Na Tabela 20 estão apresentados os resultados da estatística descritiva dos dados obtidos para patinagem dos rodados do trator nas duas condições de superfície de rolamento, pista de concreto e pista de solo mobilizado, para as duas condições de pressão de inflação dos pneus do trator e para as três forças aplicadas na barra de tração do trator conforme a norma OECD-Código 2.

Tabela 20 - Estatística descritiva para os dados de patinagem dos rodados do trator (%).

Pista de Concreto						
Pressão de inflação dos pneus.	Traseiro/Dianteiro (kPa)			Traseiro/Dianteiro (kPa)		
	165,4/220,6			110,3/110,3		
Força aplicada na barra de tração (%)	100	75	50	100	75	50
Observações	5	5	5	5	5	5
Média (%)	8,8	6,0	3,9	7,2	5,0	3,4
Coef. de Variação (%)	1,7	1,7	1,4	2,5	4,9	3,2
Variância	0,02	0,01	0,00	0,03	0,06	0,01
Desvio Padrão	0,15	0,10	0,05	0,18	0,25	0,11
Mínimo	8,6	5,9	3,8	7,0	4,6	3,2
Máximo	9,0	6,1	3,9	7,4	5,2	3,5
Simetria	-0,6	0,0	-0,6	-0,1	-1,7	-1,3
Curtose	0,9	-3,0	-3,3	-2,3	2,8	2,9
Pista de Solo Mobilizado						
Pressão de inflação dos pneus.	Traseiro/Dianteiro (kPa)			Traseiro/Dianteiro (kPa)		
	165,4/220,6			110,3/110,3		
Força aplicada na barra de tração (%)	100	75	50	100	75	50
Observações	5	5	5	5	5	5
Média (%)	15,4	9,5	6,4	12,1	6,8	4,7
Coef. de Variação (%)	7,2	6,6	2,7	5,4	13,2	6,3
Variância	1,24	0,39	0,03	0,43	0,82	0,09
Desvio Padrão	1,11	0,63	0,17	0,65	0,91	0,29
Mínimo	14,1	8,5	6,1	11,0	5,8	4,3
Máximo	16,6	9,9	6,5	12,6	8,1	5,1
Simetria	-0,1	-1,3	-1,9	-1,5	0,5	0,3
Curtose	-2,6	0,3	3,7	2,3	-0,9	0,6

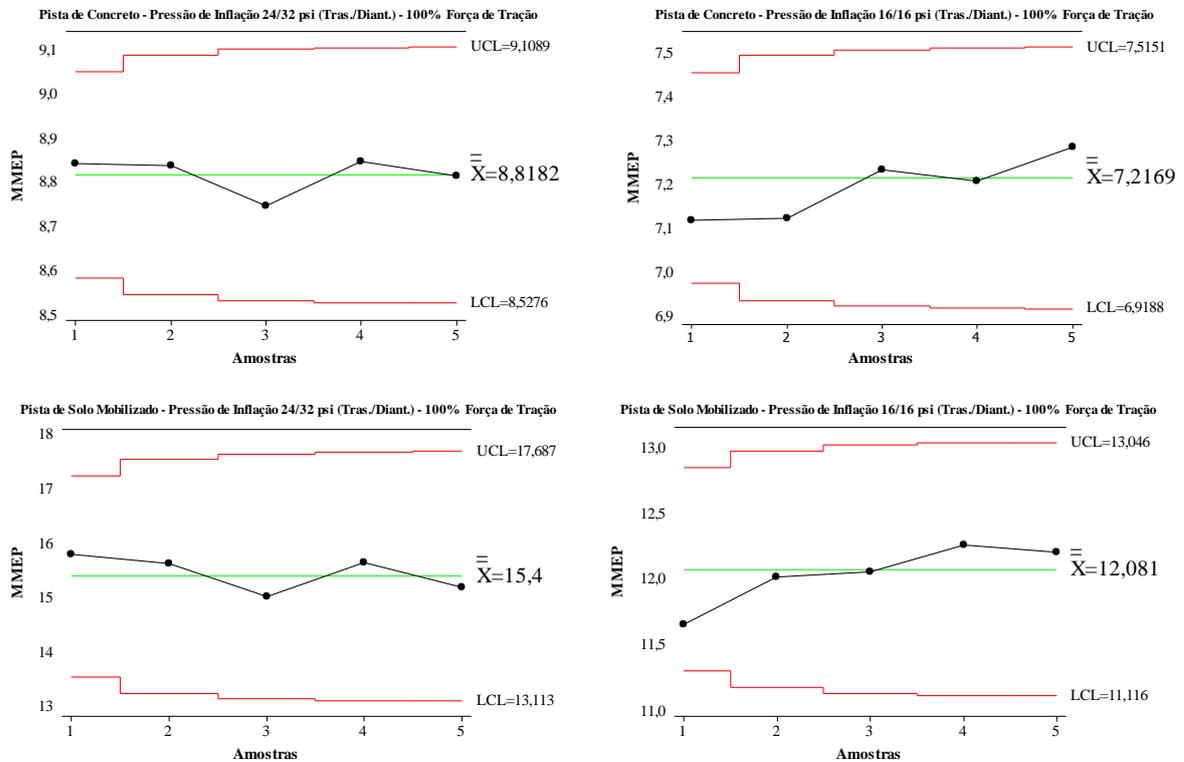
Na Tabela 20 observou-se que mesmo o experimento ter sido realizado em condições de campo onde normalmente existe uma dificuldade em se conseguir controlar a variação do ambiente, o coeficiente de variação dos dados se apresentaram em um padrão relativamente baixo isso nos mostra que os critérios metodológicos utilizados nos ensaios descritos no item 3.2.1 foram eficientes.

Verificou-se que os coeficientes de simetria e curtose para a patinagem dos rodados do trator não se mostraram dentro do intervalo de -3 e 3. Quando o trator trabalhou na pista de concreto com pneus inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6

kPa (32 psi) nos rodados dianteiro tracionando a UMEB com 50% da força máxima de tração o coeficiente de curtose mostra uma distribuição achatada de valores em relação à média contradizendo assim uma distribuição normal, e quando o trator trabalhou na pista de solo mobilizado com pneus inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiro tracionando a UMEB com 50% da força máxima de tração o coeficiente de curtose mostra uma concentração de valores próximos à média contradizendo assim uma distribuição normal. Albiero (2010) afirma que em casos de comprovação da não normalidade dos dados a análise de variância não se torna uma ferramenta estatística indicada para avaliação dos dados. Assim este mesmo autor recomenda para processos não normais à utilização para avaliação, do comportamento das médias e a variabilidade dos dados, através da Média Móvel Exponencial Ponderada - MMEP proposta por Montgomery (2004).

Nas Figuras 15, 16 e 17 estão apresentados os gráficos de controle para patinagem dos rodados do trator para condições de exigência de 100%, 75% e 50% respectivamente, de força de tração na barra de tração do trator, trabalhando em superfície de concreto e solo mobilizado, com pressão de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.), podendo observar que todos os pontos estão dentro dos limites de controle, neste caso segundo Montgomery (2004) o processo é considerado estável.

Figura 15 - Gráficos de controle da MMEP para a patinagem dos rodados do trator (%) para condição de exigência de 100% de força na barra de tração do trator, fator tipo de superfície (pista de concreto e pista de solo mobilizado) e fator pressão de inflação dos pneus (165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.)).



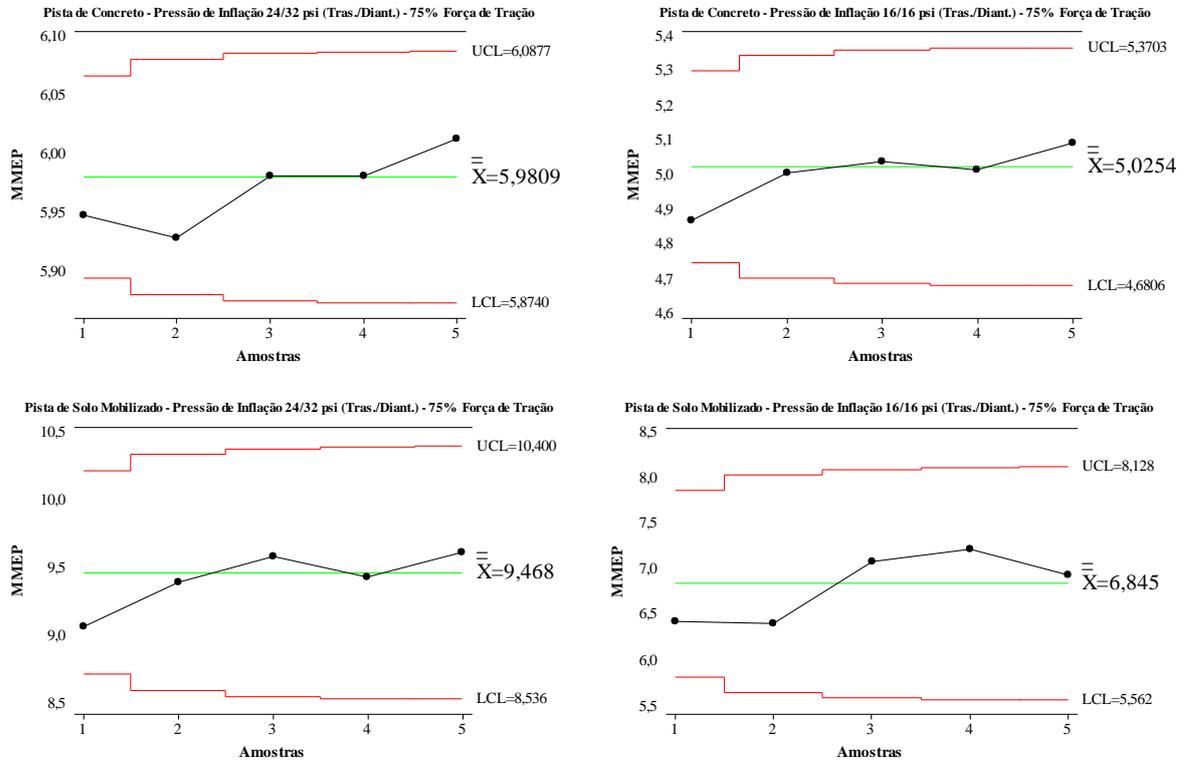
Como observado na Figura 15 os dados se apresentam estáveis e com pouca variabilidade para todos os dados de patinagem dos rodados do trator.

Avaliando as médias de patinagem do fator pressão de inflação dos pneus para exigência de 100% de força na barra de tração para o trator tracionar a UMEB em superfície de concreto, notamos uma vantagem para a pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, apresentando média de 7,2% de patinagem, ou seja, 18% menos quando comparada a média de patinagem quando os pneus do trator estavam inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros no mesmo tipo de superfície, que apresentou média de 8,8% de patinagem. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de concreto – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 100% de Força de tração vemos que tanto a valor da média 7,2 % quanto o valor do limite superior 7,5% não sobrepôs o limite inferior 8,5% do gráfico Pista de concreto – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 100% de Força de tração, podendo dizer assim que houve diferença significativa comprovada estatisticamente entre as médias.

Ainda na Figura 15 ao avaliar os gráficos de controle para patinação dos rodados em superfície de solo mobilizado, notamos uma vantagem quando o trator trabalhou com pressão de inflação dos pneus de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, pois esta condição apresentou média de 12% de patinação, ou seja 21,5% a menos quando comparada a média de patinação dos rodados na pressão de inflação dos pneus de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros do trator no mesmo tipo de superfície, apresentando média de 15,4% de patinação. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de solo mobilizado – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 100% de Força de tração vemos que tanto o valor da média 12 % quanto o valor do limite superior 13% não sobrepôs o limite inferior 13,1% do gráfico Pista de solo mobilizado – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 100% de Força de tração, podendo dizer assim que houve diferença significativa comprovada estatisticamente entre as médias.

Como observado na Figura 16 os dados se apresentam estáveis e com pouca variabilidade para todos os dados de patinação dos rodados do trator.

Figura 16 - Gráficos de controle da MMEP para a patinagem dos rodados do trator (%) para condição de exigência de 75% de força na barra de tração do trator, fator tipo de superfície (pista de concreto e pista de solo mobilizado) e fator pressão de inflação dos pneus (165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.)).



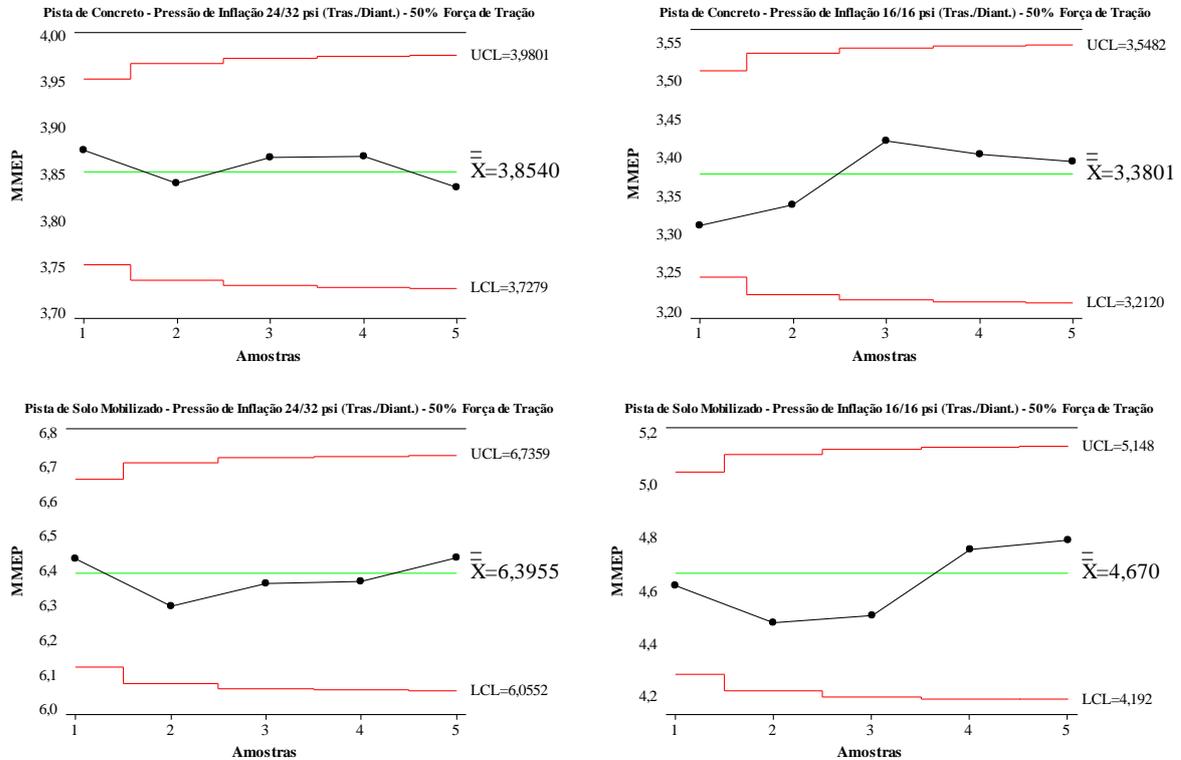
Avaliando as médias de patinagem do fator pressão de inflação dos pneus para exigência de 75% de força na barra de tração (FIGURA 16) para o trator tracionar a UMEB em superfície de concreto, notamos uma vantagem para a pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, apresentando média de 5,0% de patinagem, ou seja, 16% menos quando comparada a média de patinagem quando os pneus do trator estavam inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros no mesmo tipo de superfície, que apresentou média de 5,98% de patinagem. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de concreto – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 75% de Força de tração vemos que tanto a valor da média 5,0 % quanto o valor do limite superior 5,37% não sobrepôs o limite inferior 5,87% do gráfico Pista de concreto – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 75% de Força de tração, podendo dizer assim que houve diferença significativa comprovada estatisticamente entre as médias.

Ainda na Figura 17 ao avaliar os gráficos de controle para patinagem dos rodados em superfície de solo mobilizado, notamos uma vantagem quando o trator trabalhou com pressão

de inflação dos pneus de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, pois esta condição apresentou média de 6,8% de patinação, ou seja 27,7% a menos quando comparada a média de patinação dos rodados na pressão de inflação dos pneus de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros do trator no mesmo tipo de superfície, apresentando média de 9,4% de patinação. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de solo mobilizado – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 75% de Força de tração vemos que tanto o valor da média 6,8 quanto o valor do limite superior 8,1% não sobrepôs o limite inferior 8,5% do gráfico Pista de solo mobilizado – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 75% de Força de tração, podendo dizer assim que houve diferença significativa comprovada estatisticamente entre as médias.

Como observado na Figura 17 os dados se apresentam estáveis e com pouca variabilidade para todos os dados de patinação dos rodados do trator.

Figura 17 - Gráficos de controle da MMEP para a patinagem dos rodados do trator (%) para condição de exigência de 50% de força na barra de tração do trator, fator tipo de superfície (pista de concreto e pista de solo mobilizado) e fator pressão de inflação dos pneus (165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.)).



Avaliando as médias de patinagem do fator pressão de inflação dos pneus para exigência de 50% de força na barra de tração (FIGURA 17) para o trator tracionar a UMEB em superfície de concreto, notamos uma vantagem para a pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, apresentando média de 3,38% de patinagem, ou seja, 12,2% menos quando comparada a média de patinagem quando os pneus do trator estavam inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros no mesmo tipo de superfície, que apresentou média de 3,85% de patinagem. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de concreto – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 50% de Força de tração vemos que tanto a valor da média 3,38 % quanto o valor do limite superior 3,54% não sobrepôs o limite inferior 3,72% do gráfico Pista de concreto – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 50% de Força de tração, podendo dizer assim que houve diferença significativa comprovada estatisticamente entre as médias.

Ainda na Figura 17 ao avaliar os gráficos de controle para patinagem dos rodados em superfície de solo mobilizado, notamos uma vantagem quando o trator trabalhou com pressão

de inflação dos pneus de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, pois esta condição apresentou média de 4,67% de patinagem, ou seja 26,9% a menos quando comparada a média de patinagem dos rodados na pressão de inflação dos pneus de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros do trator no mesmo tipo de superfície, apresentando média de 6,39% de patinagem. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de solo mobilizado – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 50% de Força de tração vemos que tanto o valor da média 4,67% quanto o valor do limite superior 5,14% não sobrepõem o limite inferior 6,05% do gráfico Pista de solo mobilizado – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 50% de Força de tração, podendo dizer assim que houve diferença significativa comprovada estatisticamente entre as médias.

Com os resultados apresentados para patinagem dos rodados do trator podemos observar que todas as médias de patinagem dos rodados foram menores para a condição de inflação dos pneus com pressão de 110,3 kPa (16 psi) tanto nos rodados traseiro quanto nos dianteiro para todas as condições de força de tração requerida na barra de tração do trator nas duas superfícies de rolamento, com isso podemos dizer que quando o trator opera com baixas pressões de inflação dos pneus a tendência é que os índices de deslizamento dos rodados motrizes sejam menores quando comparado as pressões de inflação dos pneus mais altas, confirmando resultados obtidos por Lanças *et al.* (2009). Isso acontece, pois pressões mais baixas resultam no aumento da área de contato do pneu com a superfície de rolamento dando-lhe melhor capacidade trativa (MONTEIRO; LANÇAS; GABRIEL FILHO, 2009; MAZETTO *et al.*, 2004; CORRÊA 2000; LANÇAS; SANTOS FILHO; UPADHYAYA, 1995). Abeels (1976) *Apud* Mazetto *et al.* (2004) define que a variação da área de contato de um pneu é diretamente proporcional à força e inversamente proporcional à pressão de inflação.

Corrêa *et al.* (2000) observaram uma tendência de melhoria na capacidade tratória, quando os pneus estavam inflados na pressão recomendada pelo fabricante. Os resultados obtidos pelos autores evidenciaram diferenças expressivas do uso da pressão correta em relação às altas pressões de inflação.

As menores patinagens das rodas motrizes proporcionam menor compactação do solo, menor desgaste dos pneus e conseqüentemente reduzem o gasto de combustível do trator (SALVADOR; MION; BENEZ, 2009).

Também podemos observar que a superfície de concreto apresentou menores índices de patinagem dos rodados do trator, esses resultados mostram que as condições da superfície

de rolamento alteraram significativamente o esforço tratório, pois a tração está diretamente relacionada à patinação do trator, concordando assim com Monteiro (2011). Diferentes condições da superfície do solo causam diferentes condições de patinação dos rodados do trator (LANÇAS; UPADHYAYA 1997).

Ao se diminuir a força requerida na barra de tração do trator para tracionar a UMEB notou-se que a patinação dos rodados também diminuiu. Herzog *et al.* (2002) afirma que a patinação dos rodados ocorre devido a diversos fatores, entre eles o esforço de tração necessário para deslocar determinado equipamento e o tipo de superfície que esta em contato com a banda de rodagem dos pneus.

4.5 Velocidade de deslocamento

Na Tabela 21 estão apresentados os resultados da estatística descritiva dos dados obtidos para velocidade de deslocamento do conjunto motomecanizado Trator/UMEB nas duas condições de superfície de rolamento, pista de concreto e pista de solo mobilizado, para as duas condições de pressão de inflação dos pneus do trator e para as três forças aplicadas na barra de tração do trator conforme a norma OECD-Código 2.

Tabela 21 - Estatística descritiva para os dados de velocidade de deslocamento (km.h⁻¹).

Pista de Concreto						
Pressão de inflação dos pneus.	Traseiro/Dianteiro (kPa)			Traseiro/Dianteiro (kPa)		
	165,4/220,6			110,3/110,3		
Força aplicada na barra de tração (%)	100	75	50	100	75	50
Observações	5	5	5	5	5	5
Média (km.h ⁻¹)	6,5	7,6	7,7	6,7	7,6	7,7
Coef. de Variação (%)	0,8	0,7	0,7	0,8	0,0	0,6
Variância	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Desvio Padrão	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00	0,04
Mínimo	6,5	7,5	7,7	6,6	7,6	7,6
Máximo	6,6	7,6	7,8	6,7	7,6	7,7
Simetria	0,6	-0,6	0,6	-0,6	0,0	-2,2
Curtose	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	0,0	5,0

“Continua”

“Continuação”						
Pista de Solo Mobilizado						
Pressão de inflação dos pneus.	Traseiro/Dianteiro (kPa)			Traseiro/Dianteiro (kPa)		
	165,4/220,6			110,3/110,3		
Força aplicada na barra de tração (%)	100	75	50	100	75	50
Observações	5	5	5	5	5	5
Média (km.h ⁻¹)	6,9	7,5	7,7	7,0	7,4	7,6
Coef. de Variação (%)	1,9	1,2	0,6	0,6	1,1	0,0
Variância	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
Desvio Padrão	0,13	0,09	0,04	0,04	0,08	0,00
Mínimo	6,8	7,4	7,7	7,0	7,3	7,6
Máximo	7,1	7,6	7,8	7,1	7,5	7,6
Simetria	0,5	1,3	2,2	2,2	-0,5	0,0
Curtose	-1,5	0,3	5,0	5,0	-0,6	0,0

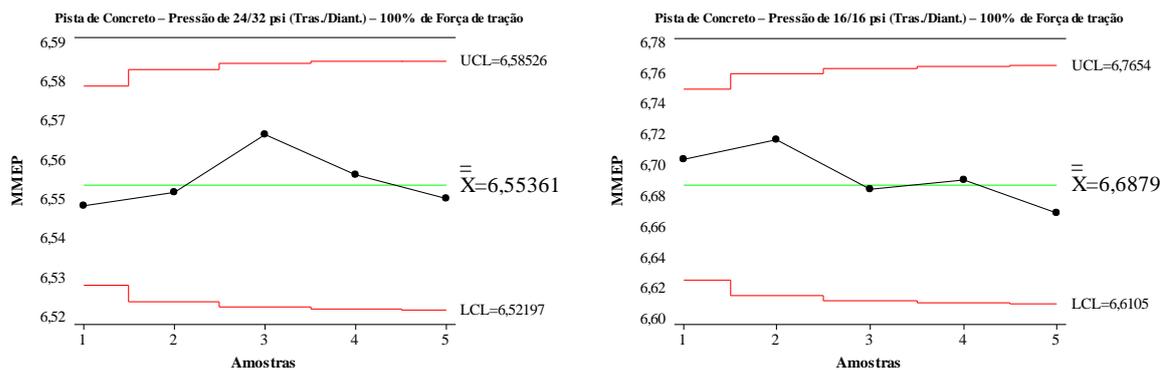
Na Tabela 21 observou-se que mesmo o experimento ter sido realizado em condições de campo onde normalmente existe uma dificuldade em se conseguir controlar a variação do ambiente, o coeficiente de variação dos dados se apresentaram em um padrão relativamente baixo, isso mostra que os critérios metodológicos utilizados nos ensaios descritos no item 3.2.1 foram eficientes.

Verificou-se que o coeficiente de curtose para a velocidade de deslocamento não se mostrou dentro do intervalo de -3 e 3, mostrando assim uma concentração de valores próximos à média (valores positivo do coeficiente de curtose maiores que 3) e uma distribuição achatada de valores em relação a média (valores negativos do coeficiente de curtose maiores que -3) contradizendo assim uma distribuição normal. Albiero (2010) afirma que em casos de comprovação da não normalidade dos dados a análise de variância não se torna uma ferramenta estatística indicada para avaliação dos dados. Assim este mesmo autor recomenda para processos não normais à utilização para avaliação, do comportamento das médias e a variabilidade dos dados, através da Média Móvel Exponencial Ponderada - MMEP proposta por Montgomery (2004).

Nas Figuras 18, 19, 20, 21, 22, e 23 estão apresentados os gráficos de controle para velocidade de deslocamento do conjunto motomecanizado Trator/UMEB para condições de exigência de 100%, 75% e 50% respectivamente, de força na barra de tração do trator, trabalhando em superfície de concreto e solo mobilizado, com pressão de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.), podendo observar que

todos os pontos estão dentro dos limites de controle, neste caso segundo Montgomery (2004) o processo é considerado estável.

Figura 18 - Gráficos de controle da MMEP para velocidade de deslocamento (km.h^{-1}) para condição de exigência de 100% de força na barra de tração do trator, pista de concreto e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).

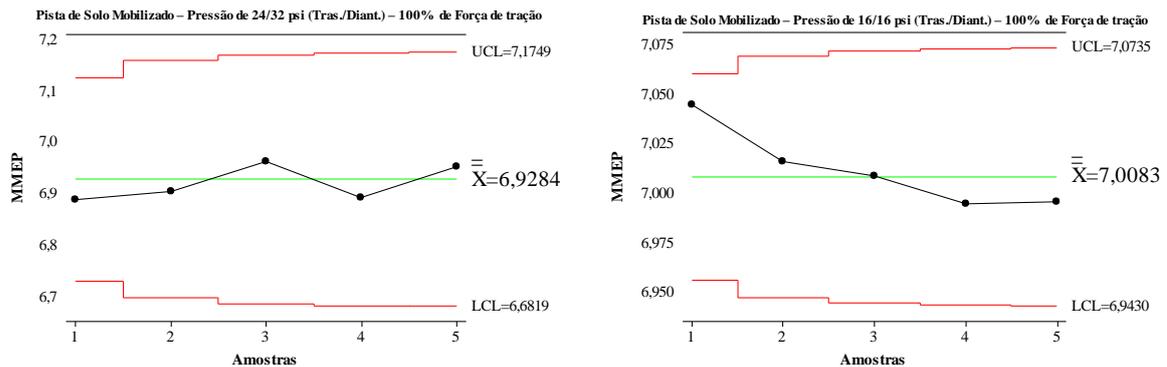


Como observado na Figura 18 os dados se apresentaram estáveis e com pouca variabilidade para os dados de velocidade de deslocamento do conjunto motomecanizado.

Avaliando as médias de velocidade de deslocamento para o fator pressão de inflação dos pneus para exigência de 100% de força na barra de tração para o trator tracionar a UMEB em superfície de concreto, notou-se que a condição de pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, apresentou velocidade média de $6,6 \text{ km.h}^{-1}$ e quando os pneus do trator estavam inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros no mesmo tipo de superfície apresentou velocidade média de $6,5 \text{ km.h}^{-1}$. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de concreto – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 100% de Força de tração vemos que tanto a valor da velocidade média , $6,68 \text{ km.h}^{-1}$ quanto os valores do limite inferior $6,61 \text{ km.h}^{-1}$ e superior $6,78 \text{ km.h}^{-1}$ se mostraram muito próximos dos valores do gráfico Pista de concreto – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 100% de Força de tração, que apresentou velocidade média de $6,55 \text{ km.h}^{-1}$, limite inferior $6,58 \text{ km.h}^{-1}$ e limite superior $6,52 \text{ km.h}^{-1}$, podendo dizer assim que as médias não apresentaram diferenças significativas pela análise da MMEP, ou seja o conjunto motomecanizado apresentou velocidade de deslocamento igual estatisticamente para as duas condições de pressão de inflação dos pneus.

Para a condição de superfície de solo mobilizado os gráficos de controle da MMEP para velocidade de deslocamento estão apresentados na Figura 19.

Figura 19 - Gráficos de controle da MMEP para velocidade de deslocamento (km.h^{-1}) para condição de exigência de 100% de força na barra de tração do trator, pista de solo mobilizado e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).

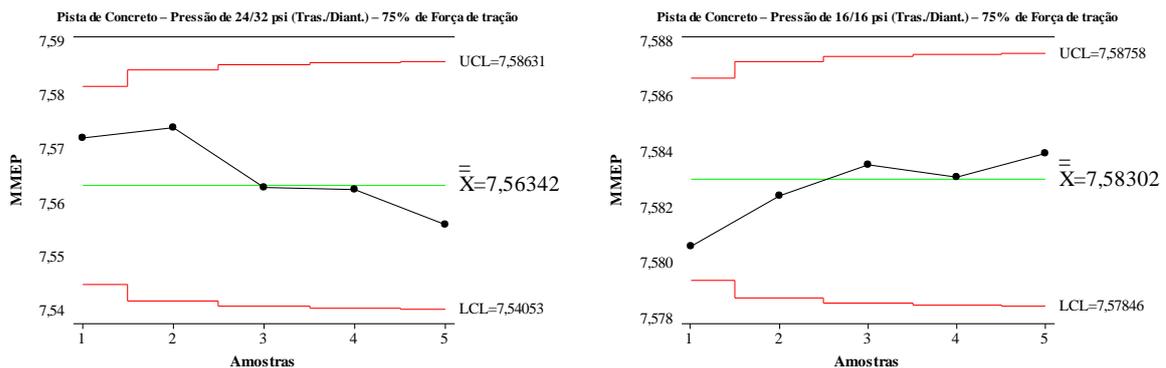


Como observado na Figura 19 os dados se apresentaram estáveis e com pouca variabilidade para os dados de velocidade de deslocamento do conjunto motomecanizado.

Avaliando as médias de velocidade de deslocamento para o fator pressão de inflação dos pneus para exigência de 100% de força na barra de tração para o trator tracionar a UMEB em superfície de solo mobilizado, notou-se que a condição de pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, apresentou velocidade média de $7,0 \text{ km.h}^{-1}$ e quando os pneus do trator estavam inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros no mesmo tipo de superfície apresentou velocidade média de $6,9 \text{ km.h}^{-1}$. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de solo mobilizado – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 100% de Força de tração vemos que tanto a valor da velocidade média, $7,00 \text{ km.h}^{-1}$ quanto os valores do limite inferior $6,94 \text{ km.h}^{-1}$ e superior $7,02 \text{ km.h}^{-1}$ se mostraram muito próximos dos valores do gráfico Pista de solo mobilizado – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 100% de Força de tração, que apresentou velocidade média de $6,92 \text{ km.h}^{-1}$, limite inferior $6,62 \text{ km.h}^{-1}$ e limite superior $7,17 \text{ km.h}^{-1}$, podendo dizer assim que as médias não apresentaram diferenças significativas pela análise da MMEP, ou seja o conjunto motomecanizado apresentou velocidade de deslocamento igual estatisticamente para as duas condições de pressão de inflação dos pneus.

Para a condição de superfície de concreto com 75% da força de tração requerida na barra de tração do trator os gráficos de controle da MMEP para velocidade de deslocamento estão apresentados na Figura 20.

Figura 20 - Gráficos de controle da MMEP para velocidade de deslocamento (km.h^{-1}) para condição de exigência de 75% de força na barra de tração do trator, pista de concreto e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).

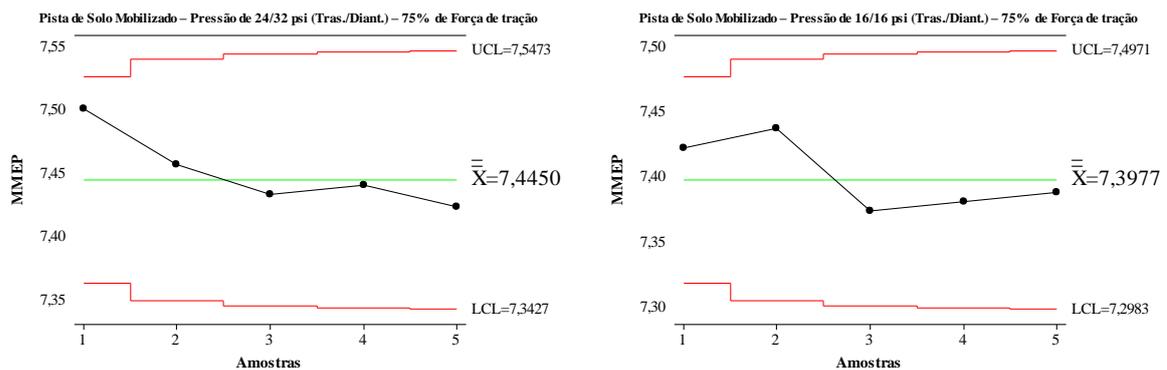


Como observado na Figura 20 os dados se apresentaram estáveis e com pouca variabilidade para os dados de velocidade de deslocamento do conjunto motomecanizado.

Avaliando as médias de velocidade de deslocamento para o fator pressão de inflação dos pneus para exigência de 75% de força na barra de tração para o trator tracionar a UMEB em superfície de concreto, notou-se que a condição de pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, apresentou velocidade média de $7,5 \text{ km.h}^{-1}$ e quando os pneus do trator estavam inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros no mesmo tipo de superfície apresentou velocidade média de $7,5 \text{ km.h}^{-1}$. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de concreto – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 75% de Força de tração vemos que tanto a valor da velocidade média , $7,58 \text{ km.h}^{-1}$ quanto os valores do limite inferior $7,57 \text{ km.h}^{-1}$ e superior $7,58 \text{ km.h}^{-1}$ se mostraram muito próximos dos valores do gráfico Pista de concreto – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 75% de Força de tração, que apresentou velocidade média de $7,56 \text{ km.h}^{-1}$, limite inferior $7,54 \text{ km.h}^{-1}$ e limite superior $7,58 \text{ km.h}^{-1}$, podendo dizer assim que as médias não apresentaram diferenças significativas pela análise da MMEP, ou seja o conjunto motomecanizado apresentou velocidade de deslocamento igual estatisticamente para as duas condições de pressão de inflação dos pneus.

Para a condição de superfície de solo mobilizado os gráficos de controle da MMEP para velocidade de deslocamento estão apresentados na Figura 21.

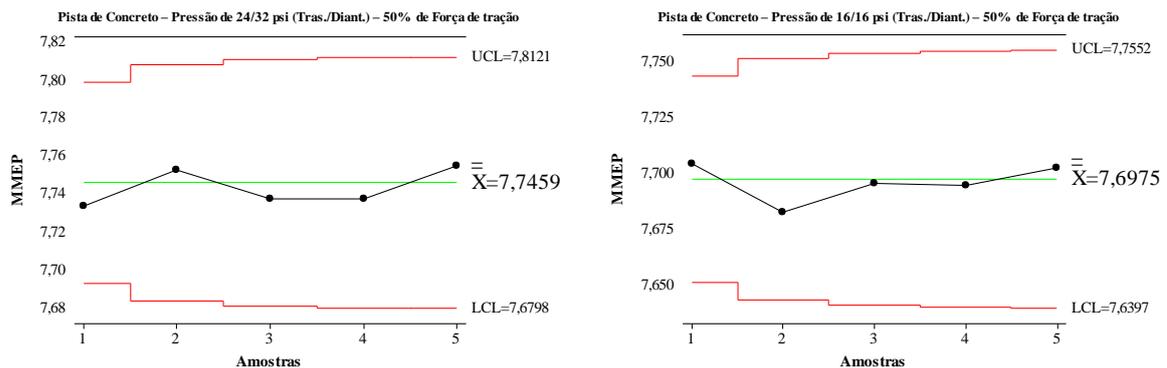
Figura 21 - Gráficos de controle da MMEP para velocidade de deslocamento (km.h^{-1}) para condição de exigência de 75% de força de tração na barra de tração do trator, pista de solo mobilizado e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).



Como observado na Figura 21 os dados se apresentaram estáveis e com pouca variabilidade para os dados de velocidade de deslocamento do conjunto motomecanizado. Avaliando as médias de velocidade de deslocamento para o fator pressão de inflação dos pneus para exigência de 75% de força na barra de tração para o trator tracionar a UMEB em superfície de solo mobilizado, notou-se que a condição de pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, apresentou velocidade média de $7,3 \text{ km.h}^{-1}$ e quando os pneus do trator estavam inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros no mesmo tipo de superfície apresentou velocidade média de $7,4 \text{ km.h}^{-1}$. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de solo mobilizado – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 75% de Força de tração vemos que tanto a valor da velocidade média , $7,39 \text{ km.h}^{-1}$ quanto os valores do limite inferior $7,29 \text{ km.h}^{-1}$ e superior $7,49 \text{ km.h}^{-1}$ se mostraram muito próximos dos valores do gráfico Pista de solo mobilizado – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 75% de Força de tração, que apresentou velocidade média de $7,44 \text{ km.h}^{-1}$, limite inferior $7,34 \text{ km.h}^{-1}$ e limite superior $7,54 \text{ km.h}^{-1}$, podendo dizer assim que as médias não apresentaram diferenças significativas pela análise da MMEP, ou seja o conjunto motomecanizado apresentou velocidade de deslocamento igual estatisticamente para as duas condições de pressão de inflação dos pneus.

Para a condição de superfície de concreto com 50% da força de tração requerida na barra de tração do trator os gráficos de controle da MMEP para velocidade de deslocamento estão apresentados na Figura 22.

Figura 22 - Gráficos de controle da MMEP para velocidade de deslocamento (km.h^{-1}) para condição de exigência de 50% de força na barra de tração do trator, pista de concreto e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).

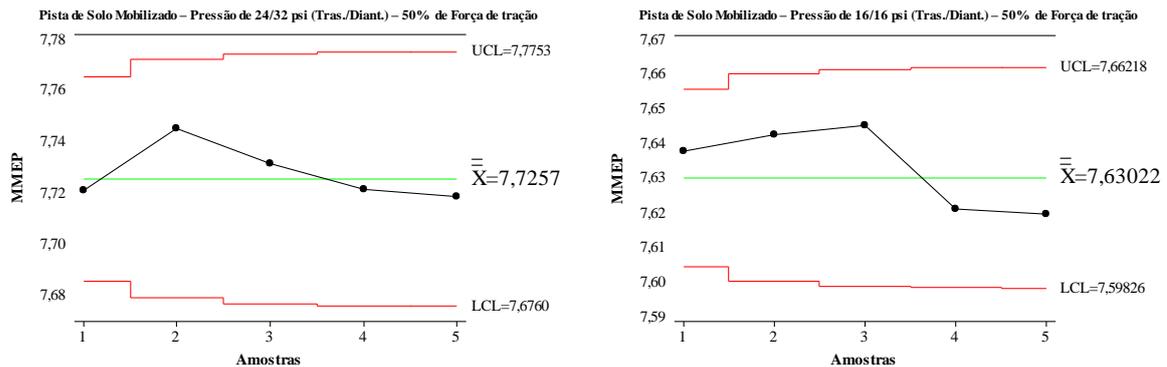


Como observado na Figura 22 os dados se apresentaram estáveis e com pouca variabilidade para os dados de velocidade de deslocamento do conjunto motomecanizado.

Avaliando as médias de velocidade de deslocamento para o fator pressão de inflação dos pneus para exigência de 50% de força na barra de tração para o trator tracionar a UMEB em superfície de concreto, notou-se que a condição de pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, apresentou velocidade média de $7,6 \text{ km.h}^{-1}$ e quando os pneus do trator estavam inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros no mesmo tipo de superfície apresentou velocidade média de $7,7 \text{ km.h}^{-1}$. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de concreto – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 50% de Força de tração vemos que tanto a valor da velocidade média, $7,69 \text{ km.h}^{-1}$ quanto os valores do limite inferior $7,63 \text{ km.h}^{-1}$ e superior $7,75 \text{ km.h}^{-1}$ se mostraram muito próximos dos valores do gráfico Pista de concreto – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 50% de Força de tração, que apresentou velocidade média de $7,74 \text{ km.h}^{-1}$, limite inferior $7,67 \text{ km.h}^{-1}$ e limite superior $7,81 \text{ km.h}^{-1}$, podendo dizer assim que as médias não apresentaram diferenças significativas pela análise da MMEP, ou seja o conjunto motomecanizado apresentou velocidade de deslocamento igual estatisticamente para as duas condições de pressão de inflação dos pneus.

Para a condição de superfície de solo mobilizado os gráficos de controle da MMEP para velocidade de deslocamento estão apresentados na Figura 23.

Figura 23 - Gráficos de controle da MMEP para velocidade de deslocamento (km.h^{-1}) para condição de exigência de 50% de força na barra de tração do trator, pista de solo mobilizado e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).



Como observado na Figura 23 os dados se apresentaram estáveis e com pouca variabilidade para os dados de velocidade de deslocamento do conjunto motomecanizado.

Avaliando as médias de velocidade de deslocamento para o fator pressão de inflação dos pneus para exigência de 50% de força na barra de tração para o trator tracionar a UMEB em superfície de solo mobilizado, notou-se que a condição de pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, apresentou velocidade média de $7,6 \text{ km.h}^{-1}$ e quando os pneus do trator estavam inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros no mesmo tipo de superfície apresentou velocidade média de $7,7 \text{ km.h}^{-1}$. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de solo mobilizado – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 50% de Força de tração vemos que tanto a valor da média $7,63 \text{ km.h}^{-1}$ quanto o valor do limite superior $7,66 \text{ km.h}^{-1}$ não sobrepôs o limite inferior $7,67 \text{ km.h}^{-1}$ do gráfico Pista de solo mobilizado – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 50% de Força de tração, podendo dizer assim que houve diferença significativa comprovada estatisticamente pela MMEP entre as médias.

Comparando-se a velocidade de deslocamento do conjunto motomecanizado com pneus do trator inflados com pressão máxima (165,4 kPa (24 psi) rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) rodados dianteiro) e mínima pressão recomendada pelo fabricante dos pneus (110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e dianteiro) em solo firme e mobilizado nas diferentes

condições de forças imposta na barra de tração do trator conforme norma da OECD-CÓDIGO 2, observa-se que não houve, em geral, diferenças significativas para o parâmetro velocidade de deslocamento. As diferenças percentuais foram muito pequenas, não cabendo nenhuma expressão de valor. Pode-se concluir com isso, que a mudança de pressão de inflação não afetou a velocidade de deslocamento do conjunto.

4.6 Potência na barra de tração

Na Tabela 22 estão apresentados os resultados da estatística descritiva dos dados obtidos para potência na barra de tração do trator nas duas condições de superfície de rolamento, pista de concreto e pista de solo mobilizado para as duas condições de pressão de inflação dos pneus do trator e para as três forças aplicadas na barra de tração do trator conforme a norma OECD-Código 2.

Tabela 22 - Estatística descritiva para os dados de potência na barra de tração (kW).

Pista de Concreto						
Pressão de inflação dos pneus.	Traseiro/Dianteiro (kPa)			Traseiro/Dianteiro (kPa)		
	165,4/220,6			110,3/110,3		
Força aplicada na barra de tração (%)	100	75	50	100	75	50
Observações	5	5	5	5	5	5
Média (kW)	84,5	72,8	49,2	86,0	72,7	49,5
Coef. de Variação (%)	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2
Variância	0,7	0,1	0,0	0,1	0,0	0,4
Desvio Padrão	0,8	0,4	0,1	0,3	0,2	0,6
Mínimo	83,2	72,4	49,0	85,7	72,5	48,8
Máximo	85,3	73,2	49,3	86,3	72,9	50,5
Simetria	-0,9	0,0	-0,4	-0,3	0,4	1,3
Curtose	0,6	-2,8	-0,2	-3,1	-3,2	2,5

“Continua”

“Continuação”						
Pista de Solo Mobilizado						
Pressão de inflação dos pneus.	Traseiro/Dianteiro (kPa)			Traseiro/Dianteiro (kPa)		
	165,4/220,6			110,3/110,3		
Força aplicada na barra de tração (%)	100	75	50	100	75	50
Observações	5	5	5	5	5	5
Média (kW)	60,1	48,6	34,2	60,6	48,4	34,5
Coef. de Variação (%)	0,2	0,2	0,2	0,1	0,4	0,2
Variância	1,2	0,7	1,0	0,7	0,1	0,4
Desvio Padrão	1,1	0,8	1,0	0,9	0,4	0,6
Mínimo	58,7	47,5	32,8	59,5	48,1	33,8
Máximo	61,2	49,8	35,3	61,7	49,0	35,5
Simetria	-0,2	0,2	-0,5	-0,1	1,1	0,9
Curtose	-2,5	0,8	-1,1	-1,1	0,0	1,1

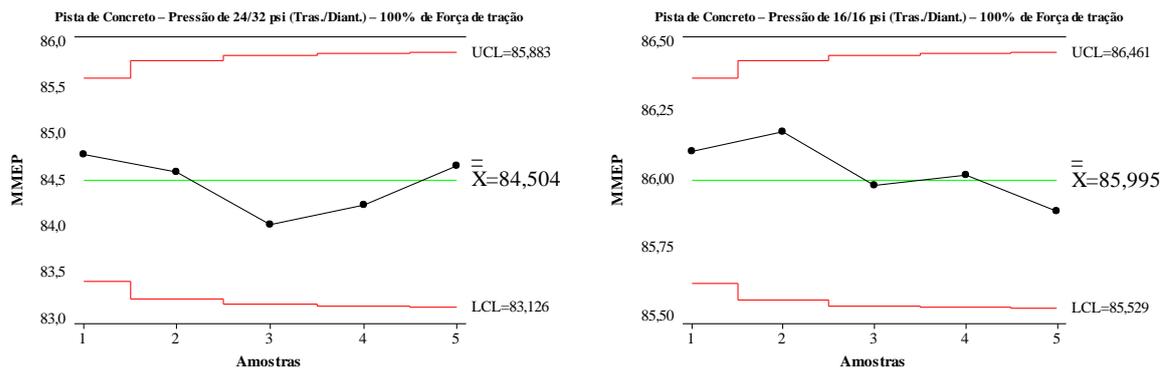
Na Tabela 22 observou-se que mesmo o experimento ter sido realizado em condições de campo onde normalmente existe dificuldade em controlar a variação do ambiente, o coeficiente de variação dos dados se apresentaram em um padrão relativamente baixo isso nos mostra que os critérios metodológicos utilizados nos ensaios descritos no item 3.2.1 foram eficientes.

Verificou-se que os coeficientes de curtose para potência na barra de tração do trator não se mostraram dentro do intervalo de -3 e 3 quando o trator trabalhou na pista de concreto com pneus inflados com pressão de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro tracionando a UMEB com 100% e 75% da força máxima de tração, ou seja, nessas duas condições o coeficiente de curtose mostra uma distribuição achatada em relação à média contradizendo assim uma distribuição normal. Albiero (2010) afirma que em casos de comprovação da não normalidade dos dados a análise de variância não se torna uma ferramenta estatística indicada para avaliação dos dados. Assim este mesmo autor recomenda para processos não normais à utilização para avaliação, do comportamento das médias e a variabilidade dos dados, através da Média Móvel Exponencial Ponderada - MMEP proposta por Montgomery (2004).

Nas Figuras 24, 25, 26, 27, 28, e 29 estão apresentados os gráficos de controle da MMEP para potência na barra de tração do trator para condições de exigência de 100%, 75% e 50% respectivamente de força na barra de tração do trator, trabalhando em superfície de concreto e solo mobilizado, com pressão de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa

(Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.), podendo observar que todos os pontos estão dentro dos limites de controle, neste caso segundo Montgomery (2004) o processo é considerado estável.

Figura 24 - Gráficos de controle da MMEP para potência na barra de tração do trator (kW) correspondente a 100% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de concreto e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).

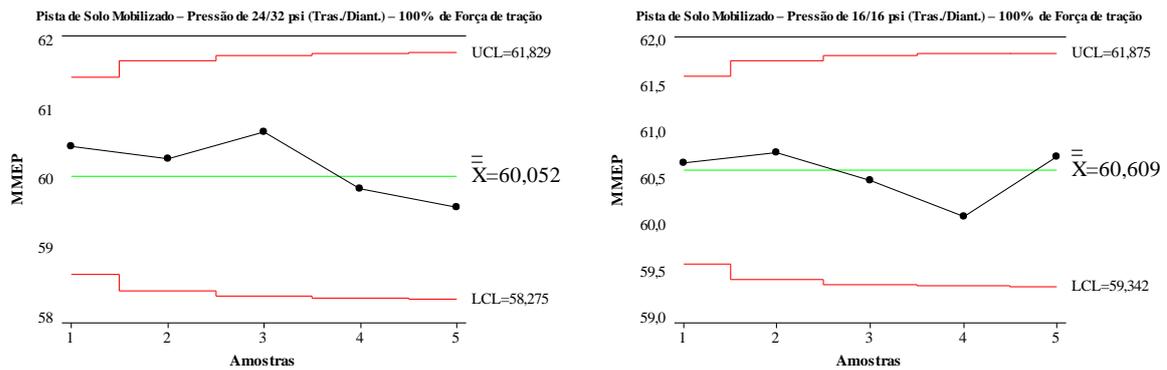


Como observado na Figura 24 os dados se apresentaram estáveis e com pouca variabilidade para os dados de força na barra de tração do trator.

Avaliando as médias de potência na barra de tração para o fator pressão de inflação dos pneus para exigência de 100% de força na barra de tração para o trator tracionar a UMEB em superfície de concreto, notou-se que a condição de pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, apresentou potência na barra de tração média de 85,9 kW e quando os pneus do trator estavam inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros no mesmo tipo de superfície apresentou potência na barra de tração média de 84,5 kW. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de concreto – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 100% de Força de tração vemos que tanto a valor da potência média na barra de tração, 85,9 kW quanto os valores do limite inferior 85,5 kW e superior 86,4 kW se mostraram muito próximos dos valores do gráfico Pista de concreto – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 100% de Força de tração, que apresentou potência média na barra de tração de 84,5 kW, limite inferior 83,1 kW e limite superior 85,8 kW, podendo dizer assim que as médias não apresentaram diferenças significativas pela análise da MMEP, ou seja o conjunto motomecanizado apresentou potência na barra de tração igual estatisticamente para as duas condições de pressão de inflação dos pneus.

Para a condição de superfície de solo mobilizado os gráficos de controle da MMEP para potência na barra de tração do trator estão apresentados na Figura 25.

Figura 25 - Gráficos de controle da MMEP para potência na barra de tração do trator (kW) correspondente a 100% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de solo mobilizado e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).

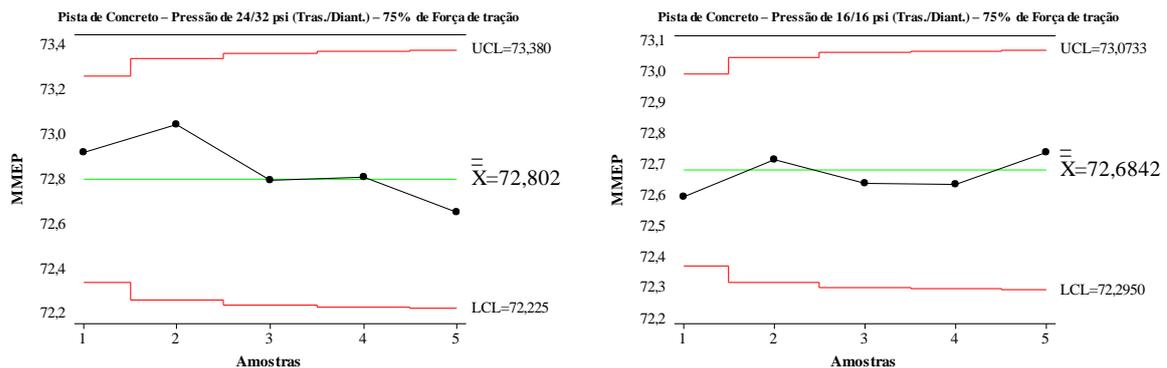


Como observado na Figura 25 os dados se apresentaram estáveis e com pouca variabilidade para os dados de potência na barra de tração do trator.

Avaliando as médias de potência na barra de tração para o fator pressão de inflação dos pneus para exigência de 100% de força na barra de tração para o trator tracionar a UMEB em superfície de solo mobilizado, notou-se que a condição de pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, apresentou potência na barra de tração média de 60,6 kW e quando os pneus do trator estavam inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros no mesmo tipo de superfície apresentou potência na barra de tração média de 60,0 kW. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de solo mobilizado – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 100% de Força de tração vemos que tanto a valor da potência média na barra de tração, 60,6 kW quanto os valores do limite inferior 59,3 kW e superior 61,8 kW se mostraram muito próximos dos valores do gráfico Pista de solo mobilizado – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 100% de Força de tração, que apresentou potência média na barra de tração de 60,0 kW, limite inferior 58,2 kW e limite superior 61,8 kW, podendo dizer assim que as médias não apresentaram diferenças significativas pela análise da MMEP, ou seja o conjunto motomecanizado apresentou potência na barra de tração igual estatisticamente para as duas condições de pressão de inflação dos pneus.

Para a condição de superfície de concreto com 75% da força de tração requerida na barra de tração do trator os gráficos de controle da MMEP para potência na barra de tração do trator estão apresentados na Figura 26.

Figura 26 - Gráficos de controle da MMEP para potência na barra de tração do trator (kW) correspondente a 75% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de concreto e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).

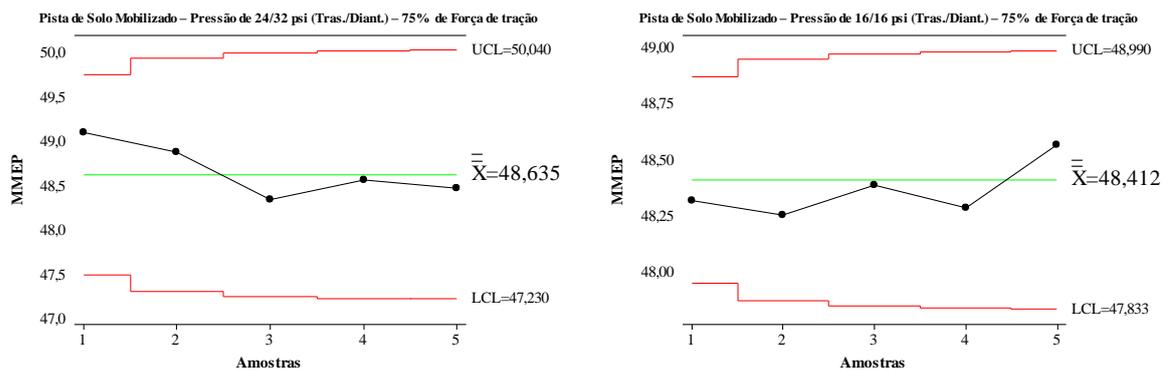


Como observado na Figura 26 os dados se apresentaram estáveis e com pouca variabilidade para os dados de potência na barra de tração do trator.

Avaliando as médias de potência na barra de tração para o fator pressão de inflação dos pneus para exigência de 75% de força na barra de tração para o trator tracionar a UMEB em superfície de concreto, notou-se que a condição de pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, apresentou potência na barra de tração média de 72,6 kW e quando os pneus do trator estavam inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros no mesmo tipo de superfície apresentou potência na barra de tração média de 72,8 kW. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de concreto – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 75% de Força de tração vemos que tanto a valor da potência média na barra de tração, 72,6 kW quanto os valores do limite inferior 72,2 kW e superior 73,0 kW se mostraram muito próximos dos valores do gráfico Pista de concreto – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 75% de Força de tração, que apresentou potência média na barra de tração de 72,8 kW, limite inferior 72,2 kW e limite superior 73,3 kW, podendo dizer assim que as médias não apresentaram diferenças significativas pela análise da MMEP, ou seja o conjunto motomecanizado apresentou potência na barra de tração igual estatisticamente para as duas condições de pressão de inflação dos pneus.

Para a condição de superfície de solo mobilizado os gráficos de controle da MMEP para potência na barra de tração do trator estão apresentados na Figura 27.

Figura 27 - Gráficos de controle da MMEP para potência na barra de tração do trator (kW) correspondente a 75% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de solo mobilizado e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).

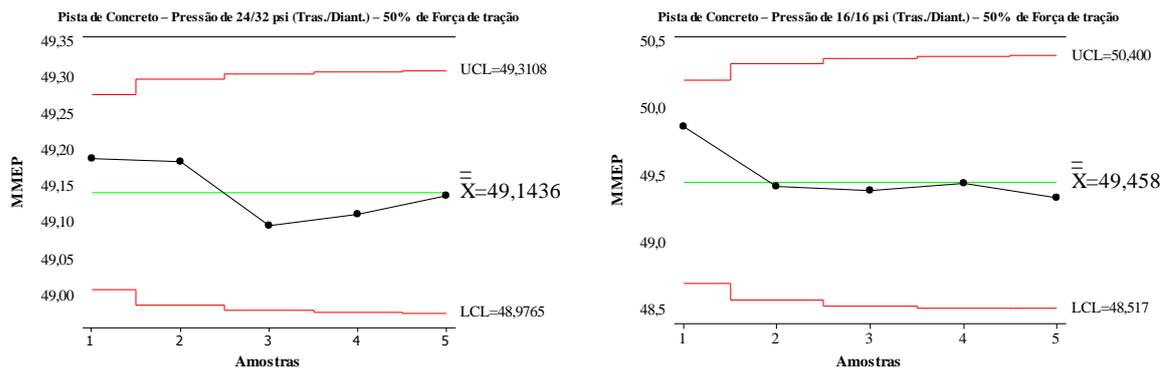


Como observado na Figura 27 os dados se apresentaram estáveis e com pouca variabilidade para os dados de potência na barra de tração do trator.

Avaliando as médias de potência na barra de tração para o fator pressão de inflação dos pneus para exigência de 75% de força na barra de tração para o trator tracionar a UMEB em superfície de solo mobilizado, notou-se que a condição de pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, apresentou potência na barra de tração média de 48,4 kW e quando os pneus do trator estavam inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros no mesmo tipo de superfície apresentou potência na barra de tração média de 48,6 kW. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de solo mobilizado – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 75% de Força de tração vemos que tanto a valor da potência média na barra de tração, 48,4 kW quanto os valores do limite inferior 47,8 kW e superior 49,9 kW se mostraram muito próximos dos valores do gráfico Pista de solo mobilizado – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 75% de Força de tração, que apresentou potência média na barra de tração de 47,6 kW, limite inferior 47,2 kW e limite superior 50,0 kW, podendo dizer assim que as médias não apresentaram diferenças significativas pela análise da MMEP, ou seja o conjunto motomecanizado apresentou potência na barra de tração igual estatisticamente para as duas condições de pressão de inflação dos pneus.

Para a condição de superfície de concreto com 50% da força de tração requerida na barra de tração do trator os gráficos de controle da MMEP para potência na barra de tração do trator estão apresentados na Figura 28.

Figura 28 - Gráficos de controle da MMEP para potência na barra de tração do trator (kW) correspondente a 50% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de concreto e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).

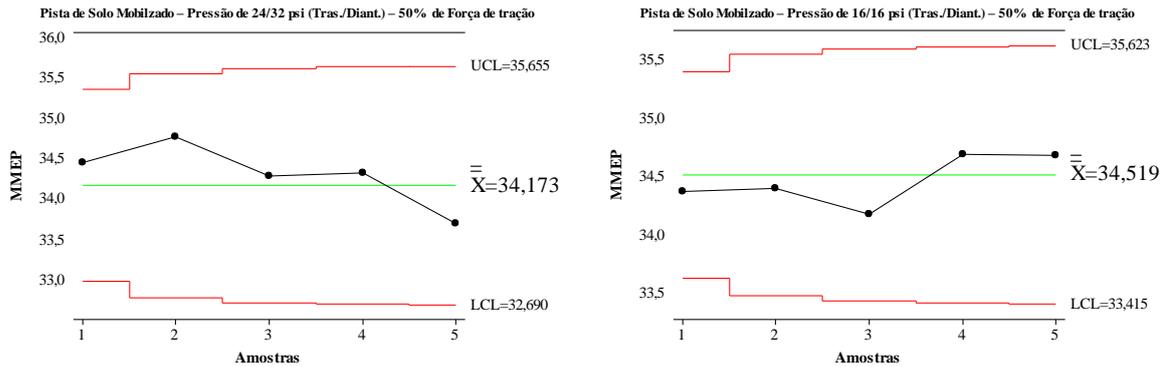


Como observado na Figura 28 os dados se apresentaram estáveis e com pouca variabilidade para os dados de potência na barra de tração do trator.

Avaliando as médias de potência na barra de tração para o fator pressão de inflação dos pneus para exigência de 50% de força na barra de tração para o trator tracionar a UMEB em superfície de concreto, notou-se que a condição de pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, apresentou potência na barra de tração média de 49,4 kW e quando os pneus do trator estavam inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros no mesmo tipo de superfície apresentou potência na barra de tração média de 49,1 kW. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de concreto – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 50% de Força de tração vemos que tanto a valor da potência média na barra de tração, 49,4 kW quanto os valores do limite inferior 48,5 kW e superior 50,4 kW se mostraram muito próximos dos valores do gráfico Pista de concreto – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 50% de Força de tração, que apresentou potência média na barra de tração de 49,1 kW, limite inferior 48,9 kW e limite superior 49,3 kW, podendo dizer assim que as médias não apresentaram diferenças significativas pela análise da MMEP, ou seja o conjunto motomecanizado apresentou potência na barra de tração igual estatisticamente para as duas condições de pressão de inflação dos pneus.

Para a condição de superfície de solo mobilizado os gráficos de controle da MMEP para potência na barra de tração do trator estão apresentados na Figura 29.

Figura 29 - Gráficos de controle da MMEP para potência na barra de tração do trator (kW) correspondente a 50% da força de tração utilizada para tracionar a UMEB, pista de concreto e pressões de inflação dos pneus de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) e 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.).



Como observado na Figura 29 os dados se apresentaram estáveis e com pouca variabilidade para os dados de potência na barra de tração do trator.

Avaliando as médias de potência na barra de tração para o fator pressão de inflação dos pneus para exigência de 50% de força na barra de tração para o trator tracionar a UMEB em superfície de solo mobilizado, notou-se que a condição de pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro do trator, apresentou potência na barra de tração média de 34,5 kW e quando os pneus do trator estavam inflados com pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiros no mesmo tipo de superfície apresentou potência na barra de tração média de 34,1 kW. Ao observar o gráfico da MMEP para condição Pista de solo mobilizado – Pressão de 110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.) – 50% de Força de tração vemos que tanto a valor da potência média na barra de tração, 34,5 kW quanto os valores do limite inferior 33,4 kW e superior 35,6 kW se mostraram muito próximos dos valores do gráfico Pista de solo mobilizado – Pressão de 165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.) – 50% de Força de tração, que apresentou potência média na barra de tração de 34,1 kW, limite inferior 32,6 kW e limite superior 35,6 kW, podendo dizer assim que as médias não apresentaram diferenças significativas pela análise da MMEP, ou seja o conjunto motomecanizado apresentou potência na barra de tração igual estatisticamente para as duas condições de pressão de inflação dos pneus.

Ao analisar os resultados apresentados para potência na barra de tração observou-se que não houve diferenças significativas entre as médias para variação da pressão de inflação dos pneus do trator, isso mostra que os dados obtidos no experimento para os parâmetros avaliados, tanto para condição de máxima pressão de inflação recomendada pelo fabricante dos pneus (165,4 kPa (24 psi) rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) rodados dianteiro) quanto à mínima pressão de inflação recomendada pelo fabricante dos pneus (110,3 kPa (16 psi) rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) rodados dianteiro) foram coletados nas mesmas condições de potência na barra de tração requerida para tracionar a UMEB nas duas condições de pressão de inflação dos pneus.

Para o fator superfície de rolamento o trator desenvolveu uma potência máxima na barra de tração cerca de 30% maior para superfície de concreto quando comparada a potência na barra de tração do trator gerada na condição de superfície de solo mobilizado. Essa diferença ocorreu devido a superfície de concreto apresentar condição de tração homogênea, gerando uma aderência dos rodados com a superfície de contato superior a condição de solo mobilizado que apresenta superfície heterogênea tornando assim a interação pneu/solo instável, corroborando com resultados encontrado por Monteiro (2011), Gabriel Filho et al. (2010) e Lanças (1997).

4.7 Rendimento na barra de tração

Na Tabela 23 estão apresentados os resultados da estatística descritiva dos dados obtidos para o rendimento na barra de tração nas duas condições de superfície de rolamento, pista de concreto e pista de solo mobilizado para as duas condições de pressão de inflação dos pneus do trator e para as três forças aplicadas na barra de tração do trator conforme a norma OECD-Código 2.

Tabela 23 - Estatística descritiva para os dados de rendimento na barra de tração (%).

Pista de Concreto						
Pressão de inflação dos pneus.	Traseiro/Dianteiro (kPa)			Traseiro/Dianteiro (kPa)		
	165,4/220,6			110,3/110,3		
Força aplicada na barra de tração (%)	100	75	50	100	75	50
Observações	5	5	5	5	5	5
Média (%)	65,7	56,7	38,3	67,0	56,6	38,5
Coef. de Variação (%)	1,0	0,5	0,3	0,4	0,3	1,3
Variância	0,4	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2
Desvio Padrão	0,7	0,3	0,1	0,3	0,2	0,5
Mínimo	64,8	56,4	38,1	66,7	56,4	38,0
Máximo	66,4	57,0	38,4	67,2	56,8	39,3
Simetria	-0,6	0,0	-1,3	-0,2	-0,1	1,2
Curtose	-0,9	-2,7	2,9	-3,0	-2,3	1,9
Pista de Solo Mobilizado						
Pressão de inflação dos pneus.	Traseiro/Dianteiro (kPa)			Traseiro/Dianteiro (kPa)		
	165,4/220,6			110,3/110,3		
Força aplicada na barra de tração (%)	100	75	50	100	75	50
Observações	5	5	5	5	5	5
Média (%)	46,8	37,9	26,6	47,2	37,7	26,9
Coef. de Variação (%)	1,9	1,7	3,0	1,4	0,8	1,7
Variância	0,8	0,4	0,6	0,5	0,1	0,2
Desvio Padrão	0,9	0,7	0,8	0,7	0,3	0,5
Mínimo	45,7	37,0	25,5	46,4	37,5	26,4
Máximo	47,7	38,8	27,4	48,1	38,2	27,6
Simetria	-0,1	0,3	-0,6	0,2	1,5	1,0
Curtose	-2,5	0,7	-1,4	-1,0	1,3	1,1

Na Tabela 23 observou-se que mesmo o experimento ter sido realizado em condições de campo onde normalmente existe dificuldade em controlar a variação do ambiente, o coeficiente de variação dos dados se apresentaram em um padrão relativamente baixo isso nos mostra que os critérios metodológicos utilizados nos ensaios descritos no item 3.2.1 foram eficientes.

Verifica-se que os coeficientes de simetria e curtose para o rendimento na barra de tração em todos os fatores avaliados se mostraram dentro do intervalo de -3 e 3 ou seja respeitando uma distribuição normal. Como os dados apresentaram normalidade para o

rendimento na barra de tração, a análise de variância se torna uma ferramenta estatística adequada para avaliar os dados juntamente com um teste de comparação de médias.

A Análise de Variância foi realizada utilizando-se a razão F como estatística e a diferença entre médias foi obtida através do teste de Mínima Diferença Significativa (MDS), utilizados para avaliação dos dados.

O resultado da análise de variância apresentado na Tabela 24. A razão F é superior a 1, desde que o valor da significância é menor que 0,01 (1%) e superior a 5 desde que o valor da significância seja igual a 0,01 e menor que 0,05 (5%), existe uma diferença estatisticamente significativa entre as médias dos tratamentos: tipo de superfície de rolamento (F1); pressão de inflação dos pneus (F2); força aplicada na barra de tração do trator (F3); interação entre tipo de superfície e força na aplicada na barra de tração (F1xF3) e interação entre pressão de inflação dos pneus e força na aplicada na barra de tração (F2xF3) com um nível de confiança de 95%.

Tabela 24 - Análise de variância para dados de rendimento na barra de tração (%).

Fatores	GL	SQ	QM	F	P
Superfícies (F1)	1	4147.02	4147.02171	14304.8769 **	<0.001
Pressão de Inflação (F2)	1	1.50597	1.50597	5.1947 *	0.0271
Força na barra de tração (F3)	2	5897.75910	2948.87955	10171.9648 **	<0.001
Interação F1xF2	1	0.29513	0.29513	1.0180 ns	0.3179
Interação F1xF3	2	186.79834	93.39917	322.1743 **	<0.001
Interação F2xF3	2	2.32443	1.16222	4.0090 *	0.0246
Interação.F1xF2xF3	2	0.48373	0.24187	0.8343 ns	>0.050
Tratamentos	11	10236.18842	930.56258	3209.9140 **	<0.001
Resíduo	48	13.91533	0.28990		
Total	59	10250.10374			

** significativo ao nível de 1% de significância ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de significância ($.01 = p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Ainda na Tabela 24 os tratamentos interação entre tipo de superfície de rolamento e pressão de inflação dos pneus (F1xF2) e para a interação entre todos os fatores (F1xF2xF3) não apresentaram diferença estatisticamente significativas entre as médias.

Nas Tabelas 25, 26, 27, 28, e 29, apresentaram-se os testes de média utilizando o teste da Mínima Diferença Significativa – MDS para o rendimento na barra de tração, as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ou seja, não existe diferença

significativa entre médias segundo o teste de mínima diferença significativa a um nível de confiança de 95%, (5% de significância).

Tabela 25 - Médias de rendimento na barra de tração (%) para o fator tipo de superfície de rolamento (F1).

Tipo de Superfície (F1)	Médias (%)
Pista de Concreto	53,79 a
Pista de Solo Mobilizado	37,17 b

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste MDS em nível de 5% de significância.

Conforme a Tabela 25 pode-se notar que para a superfície de rolamento do tipo concreto o trator teve rendimento na barra de tração de 53,79%, ou seja, 16,62% superior quando comparado ao rendimento na barra de tração do trator para superfície de solo mobilizado que apresentou média de 37,17%, essa diferença foi comprovada estatisticamente pelo teste MDS a nível de 5% de significância, resultados semelhantes foram encontrados por Monteiro (2011), Masiero, Lanças e Monteiro (2010).

O maior valor de rendimento na barra de tração ocorreu devido à superfície de concreto, permitir maior aderência e melhor condição de tração do trator de forma constante reduzindo a variabilidade da força de tração. Segundo Yanai *et. al.* (1999), as condições do solo afetam a eficiência de tração de um trator agrícola e o tipo de cobertura existente no mesmo. Lanças (1996) mostra em seu trabalho que as condições superficiais do solo firme apresentam melhores resultados de eficiência trativa comparando-se com solo mobilizado. Mialhe (1991) afirma que quando se passa da condição de pista de concreto para terreno agrícola, é justamente na interface rodado-solo onde as perdas de potência se tornam mais críticas.

O valor de rendimento na barra de tração obtido em pista de concreto e solo mobilizado inferior ao proposto pela norma ASABE D497.4 (1999), onde para superfície de concreto o rendimento na barra proposto é de 72,2% e na superfície de solo agrícola mobilizado é de 53,9%.

Na Tabela 26 estão apresentadas as médias de rendimento na barra de tração para o fator pressão de inflação dos pneus, e como podemos observar a pressão de inflação dos pneus de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiro do trator apresentou rendimento na barra de tração menor estatisticamente comprovada pelo teste MDS a nível de significância de 5% em relação ao rendimento na barra de tração quando

o trator trabalhou com pressão de inflação dos pneus de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro.

Tabela 26 - Médias de rendimento na barra de tração (%) para o fator pressão de inflação dos pneus (F2).

Pressão de Inflação dos Pneus (F2)	Médias (%)
Traseiro/Dianteiro - 165,4/220,6 kPa	45,32 b
Traseiro/Dianteiro - 110,3/110,3 kPa	45,64 a

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste MDS em nível de 5% de significância.

Conforme a Tabela 26 observou-se que o trator NH TM 7040 ao trabalhar com os pneus inflados com um pressão de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro teve rendimento na barra de tração de 45,64%, e quando o trator tracionou a UMEB com os pneus inflados a uma pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiro apresentou um rendimento na barra de tração de 45,32%, apesar das médias serem muito próximas a diferença entre elas foi significativa comprovada pela teste F da análise de variância e pelo teste de média MDS a nível de 5% de significância.

Ao diminuir a pressão de inflação dos pneus do trator ocorre um aumento na área de contato do pneu com a superfície de rolamento melhorando o rendimento dos rodados do trator em realizar tração, assim a um aumento no rendimento na barra de tração do trator. Conforme Lee e Kim (1997), a pressão interna tem papel fundamental na área de contato entre o pneu e o solo, além da distribuição da pressão na sua superfície, interferindo na capacidade tratória. Smerda e Cupera (2010), afirmam que a redução na pressão de inflação e o uso do tipo adequado dos pneus podem melhorar as características de força de tração e consequentemente melhorando o desempenho dos tratores.

Como se observou a redução na pressão de inflação dos pneus gerou uma pequena diferença no rendimento na barra de tração do trator, essa diferença não foi maior devido às duas pressões de inflação dos pneus, utilizada no ensaio estarem dentro das pressões recomendada pelo fabricante dos pneus onde a pressão de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiro é correspondente a máxima pressão de inflação dos pneus recomendada pelo fabricante e a pressão de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e dianteiro respectivamente corresponde à mínima pressão de inflação recomendada pelo fabricante dos pneus. Correa (1993) afirma que o trator ao trabalhar com a mínima

pressão de inflação dos pneus recomendada gera uma vantagem no desempenho já que esta proporciona ao trator desenvolver mais potência na barra de tração.

Na Tabela 27 as médias de rendimento na barra de tração para o fator avaliado força aplicada na barra de tração do trator conforme a norma OECD-CÓDIGO 2 apresentaram diferenças estatisticamente comprovada pelo teste MDS a nível de significância de 5%, podendo observar que ao diminuir a aplicação de força na barra de tração do trator reduziu-se o rendimento na barra de tração do mesmo.

Tabela 27 - Médias de rendimento na barra de tração (%) para o fator força aplicada na barra de tração do trator (F3).

Força Aplicada na Barra de Tração (F3)	Médias (%)
100% da força na potência máxima do motor	56,66 a
75% da força na potência máxima do motor	47,21 b
50% da força na potência máxima do motor	32,56 c

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste MDS em nível de 5% de significância.

Conforme apresentado na Tabela 27 a aplicação da força na barra de tração do trator correspondente a 100% da força máxima de tração na potência máxima do motor do trator gerou rendimento na barra de tração de 56,6%, a aplicação da força na barra de tração do trator correspondente a 75% da força máxima de tração na potência máxima do motor do trator gerou rendimento na barra de tração de 47,2% e a aplicação da força na barra de tração do trator correspondente a 50% da força máxima de tração na potência máxima do motor do trator gerou rendimento na barra de tração de 32,5%, ou seja o trator ao utilizar 100% da força máxima de tração na potência máxima do motor para tracionar a UMEB melhorou significativamente seu rendimento em 9,4% comparado ao rendimento na barra de tração quando a UMEB exigiu para ser tracionada 75% da força máxima de tração na potência máxima do motor do trator e 24% comparado ao rendimento na barra de tração quando a UMEB exigiu 50% da força máxima de tração do trator NH TM 7040.

Esses resultados mostram que a uma otimização no desempenho do trator ao se trabalhar com força máxima na barra de tração.

Outro aspecto ligado ao rendimento na barra de tração do trator é a potência na barra de tração, quando se reduziu a força na barra de tração de 100% para 75% e 50% respectivamente, diminuimos a potência na barra de tração.

A adequação do trator com relação a peso do mesmo se mostrou adequando já que o melhor rendimento na barra de tração se mostrou na utilização de forças na barra de tração

que desempenham 100% da força máxima de tração, lembrando que a relação peso e potência do trator foi de $55 \text{ kg}\cdot\text{cv}^{-1}$. Monteiro, Lanças e Guerra (2011), afirmaram que valores médios de rendimento na barra de tração podem variar em função da relação entre o peso e a potência do motor, isso ocorre devido ao excesso de força na barra de tração que influencia na capacidade máxima de tração que um trator pode desenvolver sob as condições do experimento, isso ocorre em função da magnitude do torque que o conjunto motor-transmissão é capaz de aplicar às rodas motrizes, do limite do potencial do solo agrícola para o desenvolvimento de força de tração e da resistência externa ao rolamento, resultados semelhante foram encontrados por Monteiro *et al.* (2013).

Esses resultados mostra que a otimização do trator está diretamente ligada à adequação do equipamento utilizado a fonte de potência, concordando assim com Salvador, Mion e Benez (2009), Masiero (2010) e Monteiro *et al.* (2013).

Nas interações entre os fatores avaliados ocorreu diferença significativa entre as médias pelo teste F, a interação entre superfície de rolamento e força aplicada na barra de tração do trator (F1xF3) e pressão de inflação dos pneus e força aplicada na barra de tração do trator (F2xF3) sendo possível utilizar o teste MDS em nível de 5% de significância para comparação das médias. As interações entre tipo de superfície de rolamento e pressão de inflação dos pneus (F1xF2) e a interação entre todos os fatores avaliados (F1xF2xF3), não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo.

Tabela 28 - Médias de rendimento na barra de tração do trator (%) para interação entre tipo de superfície de rolamento (F1) e força aplicada na barra de tração (F3).

Tipo de Superfície (F1)	Força Aplicada na Barra de Tração (F3)		
	100%	75%	50%
Pista de Concreto	66,35 aA	56,64 aB	38,39 aC
Pista de Solo Mobilizado	46,97 bA	37,78 bB	26,74 bC

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e letras maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste MDS em nível de 5% de significância.

Conforme apresentado na Tabela 28 as médias de rendimento na barra de tração do trator para interação entre os fatores tipo de superfície de rolamento e força aplicada na barra de tração do trator, visualizou-se que o esses dois fatores influenciam significativamente no rendimento na barra de tração do trator, podendo observar que em pista de concreto o trator ao tracionar a UMEB utilizando força máxima na barra de tração gerou rendimento de 66,3%, enquanto que quando o trator tracionou o equipamento em superfície de solo mobilizado utilizando mesma condição de força na barra de tração obteve rendimento na barra de tração

de 46,9%, ou seja, uma diferença de 19,3% de uma superfície para outra. Para as forças de 75% e 50% da força máxima de tração a diferença do rendimento na barra de tração em relação aos tipos de superfícies se manteve em média de 18,9% e 11,6% respectivamente de uma superfície para outra, sempre com uma desvantagem no rendimento na barra de tração para superfície de solo mobilizado, resultados semelhantes foram encontradas por Masiero (2010) e Gabriel Filho (2011).

Gabriel Filho (2010) afirma que a eficiência de tração de um trator pode ser influenciada pelas condições do solo, características rodados e variáveis como força dinâmica, força na barra de tração, torque e patinação.

Na Tabela 29 estão apresentados as médias de rendimento na barra de tração do trator para interação entre os fatores pressão de inflação dos pneus e força aplicada na barra de tração do trator.

Tabela 29 - Médias de rendimento na barra de tração do trator (%) para interação entre pressão de inflação dos pneus (F2) e força aplicada na barra de tração (F3).

Pressão de Inflação (F2)	Força Aplicada na Barra de Tração (F3)		
	100%	75%	50%
165,4/220,6 kPa (Tras./Diant.)	56,25 bA	47,28 aB	32,43 aC
110,3/110,3 kPa (Tras./Diant.)	57,08 aA	47,14 aB	32,69 aC

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e letras maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste MDS em nível de 5% de significância.

Conforme apresentado na Tabela 29 as médias de rendimento na barra de tração do trator para interação entre os fatores pressão de inflação dos pneus e força aplicada na barra de tração do trator, visualizou-se que esses dois fatores influenciam significativamente no rendimento na barra de tração do trator, podendo observar que o trator ao trabalhar com pressão de inflação dos pneus de 165,4 kPa (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiro para tracionar a UMEB utilizando força máxima na barra de tração gerou rendimento de 56,2%, enquanto que quando o trator estava com os pneus inflados com pressão de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiro e 110,3 kPa (16 psi) nos rodados dianteiro utilizando mesma condição de força na barra de tração obteve rendimento na barra de tração de 57%, ou seja, uma diferença significativa comprovada pela análise de variância e pelo teste MDS a nível de 5% de significância de 0,8% de uma pressão de inflação para outra, com vantagem no rendimento para pressão de inflação de 110,3 kPa (16 psi) nos rodados traseiros e dianteiros respectivamente. Para as forças de 75% e 50% da força máxima de tração a

diferença do rendimento na barra de tração em relação às pressões de inflação utilizadas não apresentaram diferenças significativas entre as médias.

5 CONCLUSÃO

Com os resultados apresentados concluiu-se que:

A mínima pressão de inflação dos pneus recomendada pelo fabricante 110,3 kPa (16 psi) rodados traseiro e dianteiro proporcionou melhor rendimento na barra de tração do trator e menor consumo específico de combustível em relação à máxima pressão de inflação dos pneus recomendada pelo fabricante dos pneus 165,4 (24 psi) nos rodados traseiro e 220,6 kPa (32 psi) nos rodados dianteiro do trator.

A força aplicada na barra de tração correspondente a 100% (46,4 kN em pista de concreto e 31,4 kN em pista de solo mobilizado) da força máxima de tração gerou o melhor desempenho energético nas duas condições de superfícies avaliadas (pista de concreto e pista de solo mobilizado).

Em superfície de concreto o trator obteve força máxima de tração 32,6% superior a força máxima de tração obtida em superfície de solo mobilizado.

Os critérios de ensaio empregados da norma OECD-CÓDIGO 2 proporcionou uma padronização no ensaio facilitando assim a comparação entre os fatores avaliados.

REFERÊNCIAS

- ALBIERO, D. **Avaliação do preparo de solo empregando o sistema de cultivo conservacionista em faixas dom “paraplow” rotativo usando análise dimensional.** 2006. 292 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2006.
- ALBIERO, D. **Desenvolvimento e avaliação de máquina multifuncional conservacionista para a agricultura familiar.** 2010. 244 f. Tese (Dourado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2010.
- ALBIERO, D.; MACIEL, A. J. S.; MILAN, M.; MONTEIRO, L.A.; MION, R.L.. Avaliação da distribuição de sementes por uma semeadora de anel interno rotativo utilizando média móvel exponencial. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 86-95, 2012.
- AL-HAMED, S.A., GRISSE, R.D., ZOZ, F.M., VON BARGEN, K. **Tractor performance spreadsheet for radial tires.** St. Joseph: ASAE. 1990 (ASAE Paper, 901576), 27p.
- ASAE D496.2 MAR 94 Agricultural machinery management. In: **ASAE standards: Standards Engineering Practices Data.** St. Joseph, 326-331p. 1996.
- ASAE S296.4 DEC 95 Uniform terminology for traction of agricultural tractors, self-propelled implements, and other traction and transport devices. In: **ASAE Standards: standards engineering practices data.** St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 119-121p. 1999.
- ASHBURNER, J.; SIMS, B. **Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza.** San José: IICA, 1984. 473 p.
- BARBOSA, J. A.; VIEIRA, L. B.; DIAS, G. P.; DIAS JUNIOR, 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 .
- CASTRO NETO, P. **Desenvolvimento e avaliação de equipamentos e metodologia para determinação de parâmetros físicos do solo relacionados a dias trabalháveis com máquinas agrícolas.** 2001. 155 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.
- CORDEIRO M.A.L. **Desempenho de um trator agrícola em função do pneu, da lastragem e da velocidade de deslocamento.** 2000. 153 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.
- CORREA, I. M. , LANÇAS, K. P. , MAZIERO, J. V. G., YANAI, K. Desempenho operacional de trator 4x2 (aux.) com pneus radiais de baixa pressão e diagonais com a tração dianteira desligada. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA AGRÍCOLA, X, 2000, Guanajuato, México. *Anales...* Guanajuato: ALIA, 2000. CD-ROM.
- CORRÊA, I. M. **Características de tração de um trator agrícola, utilizando-se de pneus radial e diagonal.** 1993. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, 1993.

CORRÊA, I. M. **Desempenho operacional de pneus radiais e diagonais em função da pressão de inflação, da condição de superfície do solo e da condição de acionamento da tração dianteira.** 2000. 121 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

CORRÊA, I. M.; MAZIERO, J. V. G.; YANAI, K.; LOPES, A. **Técnicas de determinação da patinagem das rodas motrizes de tratores agrícolas.** Campinas: Instituto Agronômico, 1999. 15 p. (Boletim Técnico, 179).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FIGLIARESE, D. A. **Desempenho em dinamômetro e emissões residuais de um motor de trator agrícola operando com misturas binárias de óleo diesel b5 e biodiesel de óleo de frango.** 2011. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

FIGLIARESE, D. A.; MARASCA, I.; RAMOS, C. R. G.; MASIERO, F. C.; LANÇAS, K. P. Aplicação da norma código 2 da ocde em trator agrícola, e comparativo com parâmetros da asae no dimensionamento de trator/equipamento. *In: X CONGRESSO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA e XLI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA*, 2012, Londrina. CD-ROM

GABRIEL FILHO, A; LANÇAS, K. P.; LEITE, F.; ACOSTA, J. J. B.; JESUINO, P. R. Desempenho do trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.3, p. 333-339, 2010.

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

GILL, W. R.; VANDEN BERG, G. E. **Soil dynamics in tillage and traction.** 1o Ed. Washington: USDA, 1968.

GOODYEAR. **Farm tire handbook.** Americana, 1994. 88 p.

GREEN, M. K.; STOUT, B. A.; SEARCY, S. W. Instrumentation package for monitoring tractor performance. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 2, p. 346, 1985.

HALLONBORG, U. Super ellipse as tyre-ground contact area. **J. Terramechanics**, v.33, n.3, p.125-132, 1996.

HERZOG, R. L. S., LEVIEN, R., BEUTLER, J. F., TREIN, C. R. Patinagem das rodas do trator em função da profundidade do sulcador e doses de resíduos sobre o solo na semeadura da soja. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA*, 31., 2002. Salvador. *Anais...* Salvador: UFB, 2002. CD-ROM.

HINES, W.W. *et al.* **Probabilidade e estatística na engenharia.** 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

- JESUINO, P. R.; LANÇAS, K. P.; GABRIEL FILHO, A.; MASIERO, F. C. Influência do desgaste das garras dos pneus e das condições superficiais do solo nas operações de campo de um trator agrícola. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 26, n.3, 2011, p.141-159
- LANÇAS, K. P. Elementos básicos para adequação de conjuntos mecanizados. In: MONTEIRO, L. A.; SILVA, P. R. A. **Operação com tratores agrícolas**. Botucatu: Edição dos autores, 2009. p. 59-74.
- LANÇAS, K. P. Nova Ferramenta. **Cultivar Máquinas**, n. 49, p.26 – 28, 2006.
- LANÇAS, K. P., UPADHYAYA, S. K. Pneus radiais para tratores. Guia para a seleção correta da pressão de inflação. **Energia na Agricultura**, Botucatu, 1997. 33p. Boletim Técnico nº 1.
- LANÇAS, K. P.; **Desempenho operacional de pneus radiais em função da pressão de inflação, da lastragem e do deslizamento das rodas de tratores agrícolas**. 1997. 171 f. Tese (Livre Docência) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.
- LANÇAS, K. P.; GUERRA, S. P. S.; JESUINO, P. R.; MONTEIRO, L. A. Altura não é documento. **Cultivar Máquinas**, n. 97, p. 14-17, 2010.
- LANÇAS, K. P.; MONTEIRO, L. A.; GUERRA, S. P. S.; GABRIEL FILHO, A.; MARASCA, I. Efeito da pressão de inflação dos pneus no desempenho operacional de um trator agrícola. In: X CONGRESSO ARGENTINO DE INGENIERÍA RURAL y II DEL MERCOSUR. Actas... Rosario: UNR Editora, 2009. p. 763-768. CD-ROM.
- LANÇAS, K.P.; SANTOS FILHO, A.G.; UPADHYAYA, S.K. **Implications of using low/correct inflation pressure for radial ply tractor tires**. St. Joseph: ASAE, 1995. Paper n.95- 056.
- LANÇAS, K.P.; UPADHYAYA, S. K. Pneus radiais para tratores: Guia para seleção correta da pressão de inflação. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.12, n.1, p.33-36, 1997.
- LEE, D. R.; KIM, K. U. Effect of inflation pressure on tractive performance of bias ply tires. **Journal of Terramechanics**, v. 34, n. 3, p. 187-208, 1997.
- LILJEDAHN, J.N.; SMITH, W.D.; TURQUIST, P.K.; HOKI, M. Tractor and their power units. ed. 4. **Avi Books**, New York 1989. 463p.
- LOPES, A., LANÇAS, K.P., SILVA, R.P.; CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI, C.E.A., ALBERTO KAZUSHI 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.
- LOPES, A.; LANÇAS K. P.; FURLANI, C. E. A.; NAGAOKA, A. K.; CASTRO NETO, P.; GROTTA, D. C. C. Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.382-386, 2003.
- MACHADO, A.L.T.; REIS, A.V.; FERREIRA, M.F.P.; MACHADO, R.L.T.; MACHADO, A.L.C.; BAUER, G.B. Influência da pressão de inflação do pneu do trator na resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 11, n. 4, p. 481-486, 2005.

MASIERO, F. C. **Determinação do rendimento na barra de tração de tratores agrícolas com tração dianteira auxiliar (4X2 TDA)**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

MASIERO, F. C.; LANÇAS, K. P.; MONTEIRO, L. A.; MARASCA, I.; GARCIA, E. A. Desempenho de um trator agrícola em função das variações da pressão de inflação dos pneus e da força na barra de tração. In: X CONGRESSO ARGENTINO DE INGENIERÍA RURAL y II DEL MERCOSUR. Avances en Ingeniería Rural 2007-2009. Rosario: UNR Editora, 2009. p. 180-188. CD-ROM.

MASIERO, F. C.; LANÇAS, K. P.; MONTEIRO L. A. Adequação de conjuntos: Pressão de inflação dos pneus. 2011a. Disponível em: < <http://www.nempa.com.br/artigo/adequao-de-conjuntos-presso-de-inflao-dos-pneus->> Acesso em: 10 de janeiro de 2013.

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

MAZETTO, F. R.; LANÇAS, K. P.; NAGAOKA, A. K.; NETO, C. N.; GUERRA, S. P. S. Avaliação do contato pneu-solo em três modelos de pneus agrícolas **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.750-757, 2004.

MAZETTO, F. R.; Lanças, K. P.; Nagaoka, A. K.; Neto, C. N.; Guerra, S. P. S. Avaliação do contato pneu-solo em três modelos de pneus agrícolas **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.750-757, 2004.

McKYES, E. **Agricultural engineering soil mechanics**. Amsterdam: Elsevier. 1989. 264p.

MELO, R. P.; ALBIERO, D; MONTEIRO, L.A.; SOUZA, F. H.; GUEDES, J. S. Qualidade na distribuição de sementes de milho em semeadoras em um solo cearense **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n.1, p. 94-101, 2013.

MIALHE, L.G. **Gerência de sistema tratorizado vs operação otimizada de tratores**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1991. 30 p.

MIALHE, L.G. **Máquinas Agrícolas - Ensaios & Certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiroz”, 1996. 723 p.

MONTEIRO, L. A. Outras características construtivas dos pneus agrícolas. Portal Dia de Campo. 17 de Dezembro 2009. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=20776&secao=Colunas%20e%20Artigos>>. Acesso em: 20 de julho 2012.

MONTEIRO, L. A.; LANÇAS, K. P.; GABRIEL FILHO, A. Desempenho de um trator agrícola em função do tipo construtivo do pneu e da lastragem líquida em três velocidades de deslocamento na pista com superfície firme. **Energia na Agricultura**, v. 24, n. 1, p. 68-84, 2009.

MONTEIRO, L. A.; LANÇAS, K. P.; GABRIEL FILHO, A. Desempenho de um trator agrícola em função do tipo construtivo do pneu e da lastragem líquida em três velocidades de deslocamento na pista com superfície firme. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 68-84, 2009.

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, 2011.

MONTEIRO, L.A. **Desempenho operacional e energético, segundo a norma OECD – Código 2 de dois tratores agrícolas 4x2 tda com motores de 132 kw em pista concreto e solo agrícola**. 2011. 80 f.Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2011.

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

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

NAGAOKA, A. K.; NOMURA, R. H. C.; BRÖRING, N.; KITANO, N.; JASPER, S. P. Avaliação do consumo de combustível, patinagem e capacidade de campo operacional na operação de semeadura da cultura de aveia preta (*Avena strigosa*) em três sistemas de manejo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002. Salvador. Anais...Salvador: UFB, 2002. CD-ROM.

NEUJAHN, E.B.; SCHLOSSER, J.F. Comportamento de pneus agrícolas radiais e diagonais em relação à tração. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.21, n.2, p.180-189, 2001.

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. About the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Disponível em: <http://www.oecd.org/pages/0,3417,en_36734052_36734103_36734243_1_1_1_1,00.html>. Acesso em: 25 setembro 2012.

OLIVEIRA, J. U. C. de. **Estatística: Uma nova abordagem**. Rio de Janeiro. Editora Ciência, 2010.

PAVILICS, F. Instruments for measurement of Physical Soil Values. In: **A Soil Value System for Land Locomotion Mechanics**, Report n. 5, 1958.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: Exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: Fealq, 2002. 309p.

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

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

SALVADOR, N.; MION, R.L.; BENEZ, S.H. Consumo de combustível em diferentes sistemas de preparo periódico realizados antes e depois da operação de subsolagem. **Ciência Agrotécnica**, v.33, n.3, p. 870-874, 2009.

SHMULEVICH, I. State of the art modeling of soil–tillage interaction using discrete element method. **Soil and Tillage Research**, v. 111, p. 41–53, 2010.

SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; KAY, B. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 4, p. 451-456, 2004.

SILVA, S. L. **Projeto e construção de um sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e implementos agrícolas**. 1997. 148 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

SILVA, S. L.; BENEZ, S. H. Construção de um sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e implementos agrícolas em ensaios de campo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 10, p. 10-18, 1997.

SMERDA, T.; CUPERA, J. Tire inflation and its influence on drawbar characteristics and performance – Energetic indicators of a tractor set. **Journal of Terramechanics**, n 47, p. 395– 400, 2010.

SRIVASTAVA, A.K.; GOERING, C.E.; ROHRBACH, R.P. **Engineering Principles of Agricultural Machines**. USA:Books &Journals,1993. 601p.

TERZAGHI, K.; PERCI, R.B.; MESRI, G. **Soil mechanics in engineering practice**. 3.ed. New York, John Wiley Sons, 1996. 549p.

TRELLEBORG. **Agricultural tyres manual**. Trelleborg, 2002. 20 p.

UPADHYAYA, S.K.; CHANCELLOR, W.; PRERUMPRAL, J.; SCHAFER, R.S.; GILL, W.; VANDERBERG E. **Advances in Soil Dynamics**. St. Joseph: De Vore-Hansen, 1994. 313 p.

WISMER, R.D. e LUTH, H.J. Off-road traction prediction for wheeled vehicles. **Transactions of the ASAE**, v.17, n.1, p. 8-14, 1974.

WULFSOHN, D.; UPADHYAYA, S.K. .Determination of dynamic three-dimensional soil-tire contact profile. **Journal of Terramechanics**, v. 29, p. 433–464, 1992.

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**, Brasília, v.34, n.8, p.1427-34, 1999.

Zoz, F.; Grisso, R. D. **Traction and tractor performance**. ASAE Distinguished lecture Series, 27. St. Joseph: ASAE, 2003. 5p.

APÊNDICE

APÊNDICE A – ENSAIO DINAMOMÉTRICO

Dinamômetro usado nos ensaios

O dinamômetro utilizado nos ensaios foi da marca AW DYNAMOMETER, modelo NEB 400, de fabricação Norte Americana com a capacidade de testar motores a de 20 hp @ 540 rpm até 360 hp @ 1000 rpm (400 hp @ 1500 rpm) de potência. O dinamômetro é do tipo mecânico com frenagem por atrito (unidade de absorção de energia constituída de tambor de freio), acionamento hidráulico, e arrefecimento a água, projetados para realização de testes em motores estacionários ou em tratores agrícolas através da tomada de potência (FIGURA 30).

Figura 30 – Dinamômetro.



Fonte: Autor.

Ensaio dinamométrico

Para realização do ensaio dinamométrico do trator NH TM 7040, o principal procedimento adotado, foi a padronização através da norma OECD-CÓDIGO 2. Essa norma define os procedimentos padrão para realização do ensaio, permitindo que esse ensaio possa ser repetido especificamente dentro das mesmas condições.

O ensaio dinamométrico foi realizado com o acionamento máximo do acelerador, em plena carga, a fim de obter a máxima potência declarada do motor e as curvas características de torque, potência e consumo de combustível. Realizou-se a caracterização das condições

ambientais como informações de referência ao local do ensaio, conforme especificado na norma Código 2 da OCDE (2012).

Os testes foram realizados de forma contínua, sem interrupções a uma temperatura do ambiente de 23,8°C, umidade relativa de 44,5% e pressão atmosférica de 93,3 kPa, dentro da faixa ideal estabelecida, onde os valores devem ficar próximos a 23°C ($\pm 7^\circ\text{C}$) e 100kPa, respectivamente.

Foram realizadas 6 baterias de testes, com objetivo de se obter dados mais representativos para a construção das curvas de potência indicada.

Os resultados dos testes foram apresentados em um único gráfico (exceto para as curvas de consumo de combustível) conforme a norma OECD-CÓDIGO 2 (2012).

Curvas de desempenho do trator

Os valores médios dos resultados dos parâmetros relativos ao desempenho do trator NH TM 7040, submetido ao ensaio dinamométrico conforme a norma OECD Código 2 (2012), são demonstrados na Tabela 30.

Tabela 30- Parâmetros de desempenho do trator NH TM 7040 obtidos ensaio dinamométrico.

Rotações (rpm)		Potência indicada		Torque indicado			Consumo de combustível	
Motor	TDP	kW TDP	kW Motor	N.m TDP	N.m Motor *	Reserva de torque (%)	Chv (L.h ⁻¹)	Cesp (g.kWh ⁻¹)
1200	329	84,4	93,8	2451	747		23,45	229,5
1300	356	89,8	99,7	2407	733		24,50	225,4
1400	384	93,2	103,6	2322	707		25,79	228,4
1500	411	97,6	108,5	2268	691		27,09	229,2
1600	439	101,8	113,2	2219	676		28,03	227,3
1700	466	106,1	117,9	2176	663		29,78	231,8
1800	493	109,6	121,7	2122	646	33,9	31,43	236,9
1900	521	112,1	124,6	2057	627		32,66	240,6
2000	548	115,5	128,3	2013	613		34,39	246,0
2100	576	115,1	127,9	1910	582		35,17	252,4
2200	603	115,6	128,4	1831	558		36,46	260,6
2300	630	115,6	128,4	1752	534		37,05	264,7
2400	658	113,6	126,2	1650	502		37,83	275,1

Analisando os dados apresentados na Tabela 6, para o desempenho do motor do trator percebe-se que o torque máximo (747 N.m) é obtido, a 1200 rpm e a potência máxima (128,4 kW) a 2200 rpm durante o ensaio realizado, conferindo uma reserva de torque (obtida pelo quociente entre a diferença do torque máximo e torque nominal pelo torque nominal) de aproximadamente 33,9%, para um consumo específico de combustível médio, de 242,1 g/kW.h⁻¹. As curvas de torque, potência indicada estão apresentadas conforme norma OECD Código 2 (2012) na Figura 31, e as curvas de consumo horário e específico de combustível estão apresentadas conforme a norma OECD Código 2 (2012) na Figura 33.

Em relação ao desempenho na tomada de potencia do trator (TDP) percebe-se que o torque máximo (2461 N.m) é obtido, a 1200 rpm e a potência máxima (115,6 kW) a 2200 rpm durante o ensaio realizado,. As curvas de torque, potência na TDP podem ser visualizadas na Figura 32.

Figura 31 - Curvas de potencia (kW) e torque (N.m) indicado no motor do trator NH TM 7040.

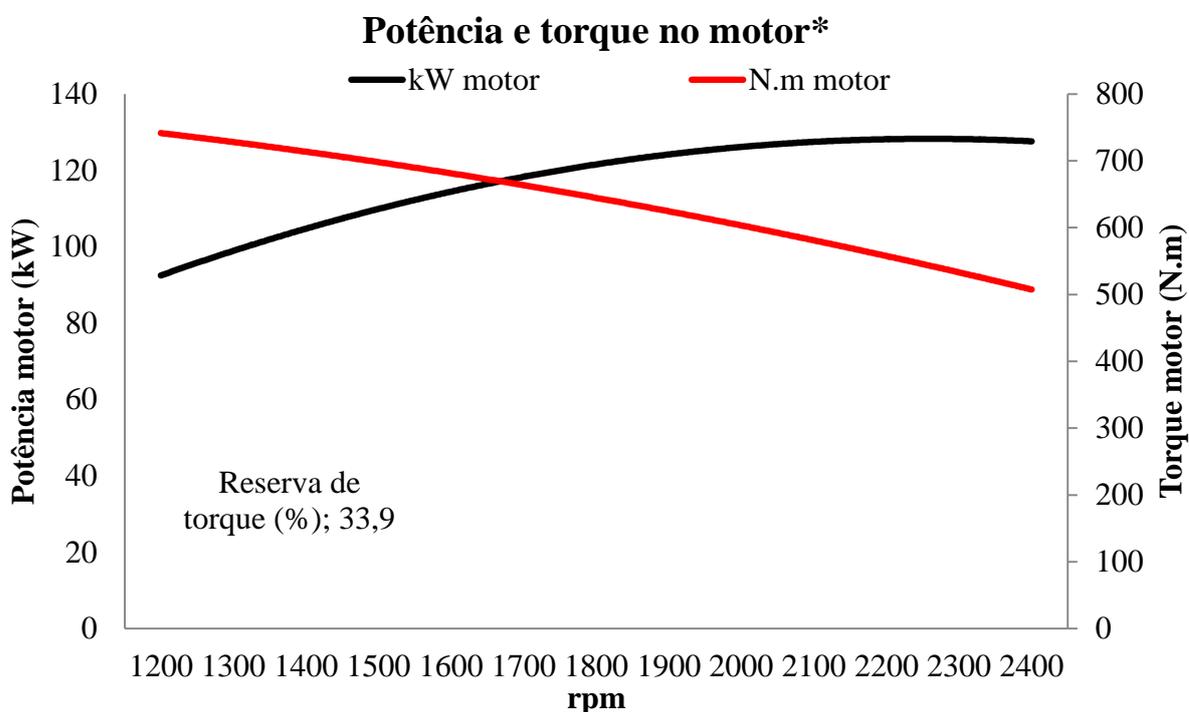
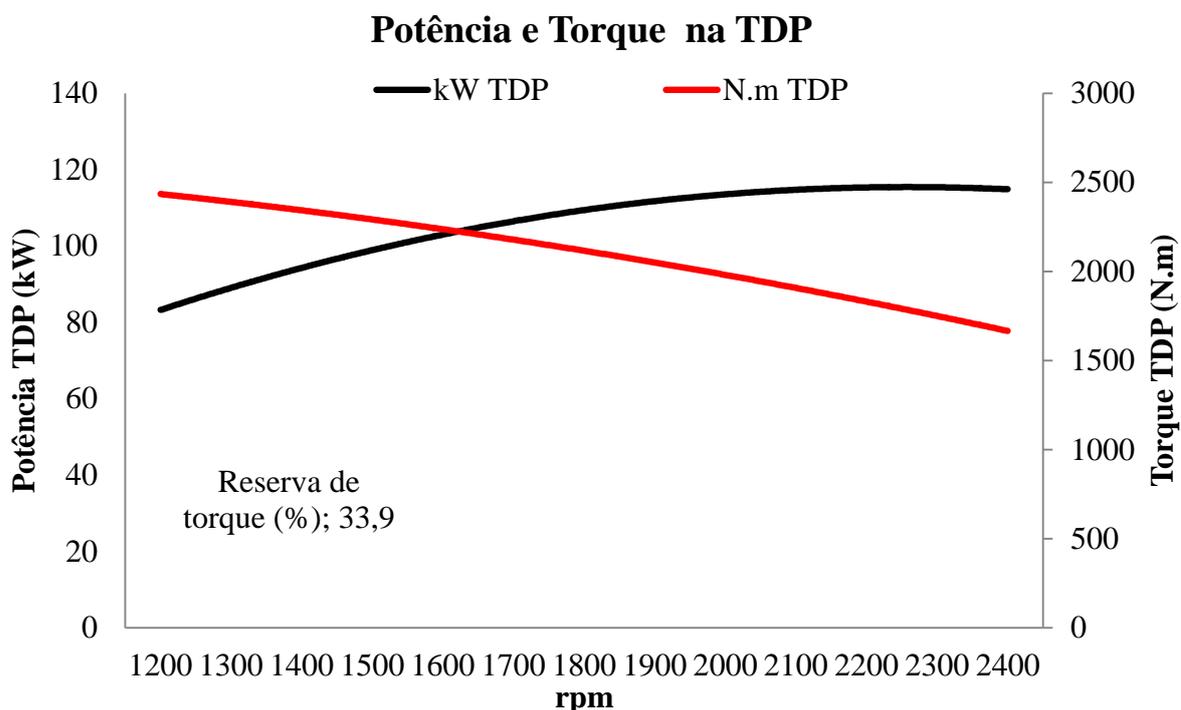
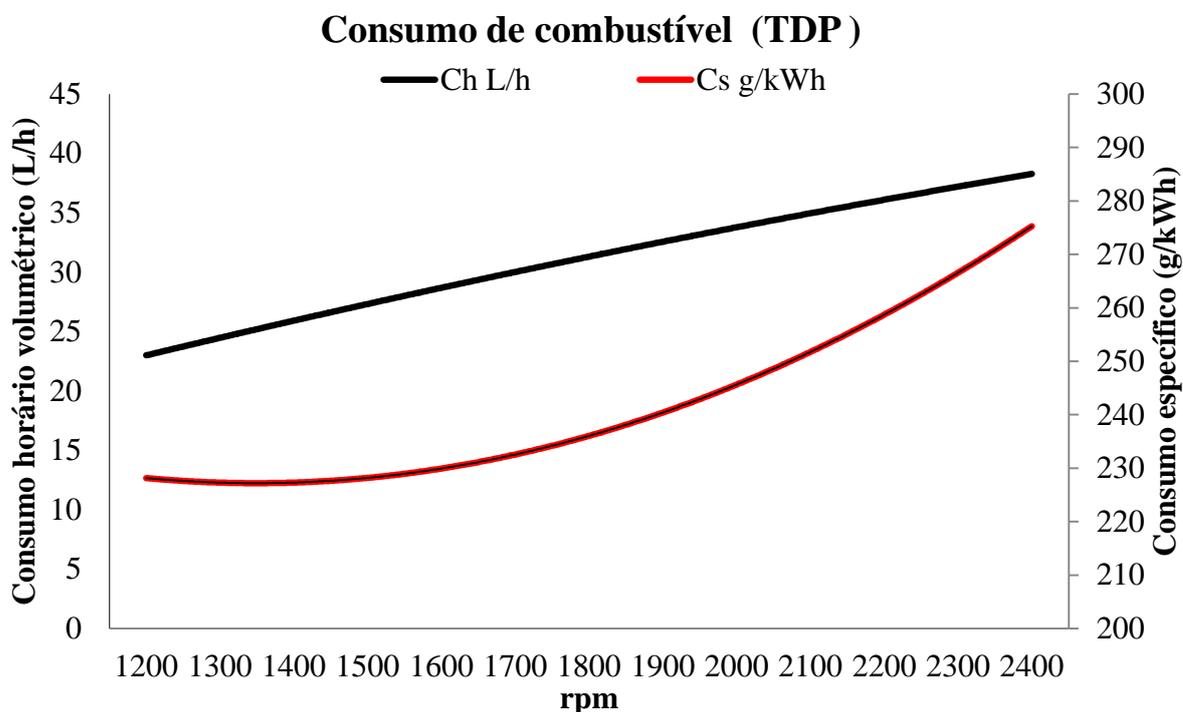


Figura 32 - Curvas de potencia (kW) e torque (N.m) indicado na TDP do trator NH TM 7040.



As curvas de torque e potência apresentam uma relação inversamente proporcional, sendo a rotação do motor, o fator de alteração dos valores de ambas as curvas e, esse comportamento explica-se da seguinte forma: quando a rotação aumenta, a potência aumenta proporcionalmente, porém ocorre uma diminuição nos valores torque, devido ao fato de que a potência é obtida pelo produto da força (torque) pela rotação. Da mesma forma, quando ocorrem altas demandas do motor, a rotação cai e conseqüentemente o torque aumenta até determinado limite, onde ocorre o torque máximo (neste trator a 1200 rpm), sendo que, mantida essa demanda, a partir desse ponto, o motor tende a apagar, resultados semelhantes foram encontrados por Russini (2012).

Figura 33 - Curvas de consumo horário (L.h-1) e específico (g.kW.h-1) de combustível do trator NH TM 7040.



Através da representação das curvas de desempenho, observa-se que o consumo específico apresenta uma elevação próxima a rotação de torque máximo, característica esta, muito comum em motores diesel com bomba injetora mecânica, sendo que, nos picos de sobrecarga, onde a reserva de torque é usada, o governador da bomba injetora compensa injetando mais combustível. Já o consumo específico mais elevado na rotação de proximidade da potência máxima, deve-se ao fato de que a rotação do motor é comandada pela maior ou menor injeção de combustível, resultados semelhantes foram encontrados por Fiorese (2011).