



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

ELIVÂNIA MARIA SOUSA NASCIMENTO

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DO NÍVEL DE RUÍDO DE UM
MICROTRATOR DE DUAS RODAS**

FORTALEZA - CE

2012

ELIVÂNIA MARIA SOUSA NASCIMENTO

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DO NÍVEL DE RUÍDO DE UM
MICROTRATOR DE DUAS RODAS

Dissertação submetida à coordenação do
Curso de Pós- Graduação em Engenharia
Agrícola da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial para obtenção do grau
de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de Concentração: Engenharia de
Sistemas Agrícolas

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Viliotti.

FORTALEZA

2012

ELIVÂNIA MARIA SOUSA NASCIMENTO

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DO NÍVEL DE RUÍDO DE UM
MICROTRATOR DE DUAS RODAS

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de Concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Data de Aprovação: _____, _____ de _____.

Banca Examinadora

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

Prof. Dr. Renildo Luiz Mion (Examinador)
Universidade Federal do Ceará-UFC

Prof. Dr. Nilson Salvador (Examinador)
Universidade Federal de Lavras-UFLA

Ao meu esposo Washington
e a minha filha Bruna.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, saúde, determinação, superação e fé.

À Universidade Federal do Ceará, instituição pela qual sou engenheira agrônoma, agradeço a oportunidade de cursar o Programa de Pós- Graduação em Engenharia Agrícola.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, pelo apoio no meu aperfeiçoamento profissional.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo suporte financeiro.

Em especial, ao Professor Dr. Carlos Alberto Viliotti, pela oportunidade, pela segura orientação, amizade e incentivo.

Ao Professor Dr. Renildo Luiz Mion, pela atenção e contribuição durante a fase de elaboração da dissertação.

Ao Professor Dr. Nilson Salvador pela disponibilidade para participação na banca examinadora.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pelo apoio e sugestões sempre bem vindas no decorrer dos estudos.

A minha amiga Beatriz pela ajuda, apoio e amizade.

Aos amigos do NEMASA (Núcleo de Estudos em Mecanização e Máquinas Agrícolas) Alexandre Sales, Alan Sombra, Marcelo Queiroz, Moacir Lima, Silvia Ferreira, Karla Batista, Rafaela, Ricardo Andrade, Fábio Henrique, Fidel Carlos, Kênia, Virginia Pires, Igor e Clicia, pela amizade, pela colaboração nos testes de campo, pelo convívio durante todo o tempo em que estivemos juntos.

Aos funcionários da Serval Carlos Alberto (Carlão) e Joel (Bola) pela ajuda e companheirismo nos trabalhos de campo.

Ao pessoal do Laboratório de Eletrônica e Máquinas Agrícolas (LEMA) Firmino e Watylla.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará Aninha, Fátima, Maurício, Ivan, Jacó, Toinha e Willa.

Ao Lametro (Laboratório de Metrologia) pela calibração da célula de carga.

A todos meus amigos, que me apoiaram, e as pessoas que, de uma ou outra forma, contribuíram com este trabalho.

RESUMO

Na agricultura familiar a utilização de microtratores como fonte de potência é uma forma para otimizar o trabalho no campo. Objetivou-se com este trabalho avaliar a eficiência energética de um microtrator de duas rodas submetido às marchas (1ª, 2ª e 3ª) com variação de cargas (0, 200 e 400 kg) para três superfícies do solo (pista de asfalto, solo firme e mobilizado) e avaliar o nível de ruído emitido pelo microtrator parado e em movimento a diferentes posições e raios de afastamentos. Na avaliação da eficiência energética utilizou-se um microtrator marca Yanmar instrumentado com sensores indutivos, fluxômetros e célula de carga. A estabilidade e as cargas impostas ao microtrator ensaiado foram feitas através de um comboio de um pulverizador de barra acoplado ao microtrator. Para a medição do nível de ruído foi utilizado um dosímetro pessoal de ruído e um decibelímetro. As variáveis analisadas foram: patinagem dos rodados, consumo horário e específico de combustível, força de tração, potência na barra, velocidade de deslocamento e nível de ruído. A análise dos dados foi realizada através da estatística descritiva utilizando o programa computacional Excel. Os resultados mostraram que na pista de asfalto os valores médios de patinagem foram de 2,4 a 4,9%, 1,9 a 3,9% e de 1,5 a 3,0%, respectivamente, na 1ª, 2ª e 3ª marcha, os valores médios de consumo horário de combustível foram de 2,6 L.h⁻¹ (1ª marcha), 2,8 L.h⁻¹ (2ª marcha) e de 3,1 L.h⁻¹ (3ª marcha), o consumo específico de combustível foi de 1150,4 a 1374,0 g.kW⁻¹.h⁻¹ (1ª marcha), 1057,7 a 1261,7 g.kW⁻¹.h⁻¹ (2ª marcha) e de 948,2 a 1108,3 g.kW⁻¹.h⁻¹ (3ª marcha), a potência foi de 0,9 a 1,1 kW, 1,1 a 1,3 kW e de 1,3 a 1,5 kW, respectivamente, na 1ª, 2ª e 3ª marcha e a velocidade de deslocamento foi de 1,3 a 1,2 km.h⁻¹ (1ª marcha), 1,5 a 1,3 km.h⁻¹ (2ª marcha) e de 1,7 a 1,6 km.h⁻¹ (3ª marcha). O solo firme apresentou índices de patinagem de 5,9 a 9,9%, 5,0 a 8,6% e de 4,3 a 7,9%, respectivamente, na 1ª, 2ª e 3ª marcha, os valores médios de consumo horário de combustível foram de 3,3 L.h⁻¹ (1ª marcha), 3,4 L.h⁻¹ (2ª marcha) e de 3,5 L.h⁻¹ (3ª marcha), o consumo específico de combustível foi de 1092,3 a 1130,8 g.kW⁻¹.h⁻¹ (1ª marcha), 1012,4 a 1025,4 g.kW⁻¹.h⁻¹ (2ª marcha) e de 948,7 a 948,2 g.kW⁻¹.h⁻¹ (3ª marcha), a potência foi de 1,3 a 1,5 kW, 1,5 a 1,7 kW e de 1,7 a 1,9 kW, respectivamente, na 1ª, 2ª e 3ª marcha e a velocidade de deslocamento foi de 1,2 a 1,1 km.h⁻¹ (1ª marcha), 1,3 a 1,3 km.h⁻¹ (2ª marcha) e de 1,5 a 1,4 km.h⁻¹ (3ª marcha). No solo mobilizado os valores médios de patinagem foram de 11,9 a 16,9%, 11,2 a 15,5% e de 16,6 a 14,0%, respectivamente, na 1ª, 2ª e 3ª marcha, os valores médios de consumo horário de combustível foram de 4,3 L.h⁻¹ (1ª marcha), 4,9 L.h⁻¹ (2ª marcha) e de 5,4 L.h⁻¹ (3ª marcha), o consumo específico de

combustível foi de 1055 a 1198,8 g.kW⁻¹.h⁻¹ (1ª marcha), 1020,1 a 1161,3 g.kW⁻¹.h⁻¹ (2ª marcha) e de 993,8 a 1125,3 g.kW⁻¹.h⁻¹ (3ª marcha), a potência foi de 1,6 a 2,0 kW, 2,2 a 2,3 kW e de 2,3 a 2,6 kW respectivamente, na 1ª, 2ª e 3ª marcha e a velocidade de deslocamento foi de 1,2 a 1,0 km.h⁻¹ (1ª marcha), 1,3 a 1,1 km.h⁻¹ (2ª marcha) e de 1,4 a 1,1 km.h⁻¹ (3ª marcha). O solo mobilizado apresentou os maiores valores para a patinagem, consumo horário de combustível, força de tração e potência disponível na barra quando comparado com o solo firme e a pista de asfalto. O nível de ruído medido com o microtrator parado próximo ao ouvido do operador foi elevado quando se utiliza rotações maiores, diminuindo com o aumento do raio de afastamento.

Palavras-chave: Agricultura familiar. Patinagem. Consumo de combustível.

ABSTRACT

In family farming the use of tractors micro as a power source is a way to optimize the work in the field. The objective of this study was to evaluate the energy efficiency of a two wheel microtractor subject to the gears (1st, 2nd and 3rd) with a range of loads (0, 200 and 400 kg) for three soil surfaces (asphalt, firm soil and mobilized) and evaluate the noise level emitted by microtractor standstill and in movement different position and distance. In evaluating the efficiency used to a microtractor Yanmar instrumented with inductive, flow meters and the load cell sensors. The stability and the loads imposed on the microtractor tested were made by a train of a bar sprayer connected to a microtractor. To measure the noise level was used a noise personal dosimeter and a decibelimeters. The variables analyzed were: wheel slippage, specific and hourly fuel consumption, drawbar pull, drawbar power, distance velocity and noise level. The analysis of data was performed by descriptive analyses using the software Excel. The results showed that in the asphalt means values of wheel slippage were 2.4 to 4.9%, 1.9 to 3.9% and 1.5 to 3.0%, respectively, in the 1st, 2nd and 3rd gear, the medium hourly fuel consumption were 2.6, 2.8 and 3.1 L.h⁻¹, respectively, in the gear 1st, 2nd and 3rd, specific fuel consumption was 1150.4 to 1374.0 g.kW.h⁻¹ (1st gear), 1057.7 to 1261.7 g.kW.h⁻¹ (2nd gear) and 948.2 a 1108.3 g.kW.h⁻¹ (3rd gear), the power was 0.9 to 6.1 kW, 1.1 to 1.3 kW and 1.3 to 1.5 kW, in the gear 1st, 2nd and 3rd, respectively, the distance velocity was 1.3 to 1.2 km.h⁻¹ (1st gear), 1.5 a 1.3 km.h⁻¹ (2nd gear) and 1.7 a 1.6 km.h⁻¹ (3rd gear). The firm soil showed index wheel slippage 5.9 to 9.9%, 5.0 to 8.6% and 4.3 to 7.9%, respectively, in the 1st, 2nd and 3rd gear, the medium hourly fuel consumption were 3.3 L.h⁻¹ (1st gear), 3.4 L.h⁻¹ (2nd gear) and 3.5 L.h⁻¹ (3rd gear), specific fuel consumption was 1092.3 to 1130,8 g.kW.h⁻¹ (1st gear, 1012.4 to 1025.4 g.kW.h⁻¹ (2nd gear) and 948.7 a 948.2 g.kW.h⁻¹ (3rd gear), the power was 1.3 to 1.5 kW, 1.5 to 1.7 kW and 1.7 to 1.9 kW, respectively, in the gear 1st, 2nd and 3rd and distance velocity was 1.2 to 1.1 km.h⁻¹ (1st gear), 1.3 to 1.3 km.h⁻¹ (2nd gear) and 1.5 a 1.4 km.h⁻¹ (3rd gear). In mobilized soil the values medium wheel slippage were 11.9 to 16.9%, 11.2 to 15.5% and 16.6 to 14.0%, respectively, in the 1st, 2nd and 3rd gear, the hourly fuel consumption was 4.3, 4.9 and 5.4 L.h⁻¹, in the 1st, 2nd and 3rd gear , respectively, the specific fuel consumption was 1055 to 1198.8, 1020.1 to 1163.3 and 993.0 to 1125.3 g.kW.h⁻¹, respectively, in the 1st, 2nd and 3rd gear , the power in the drawbar was 1.6 to 2.0 kW, 2.2 to 2.3 kW and 2.3 to 2.6 kW, respectively, in the 1st, 2nd and 3rd gear and the distance velocity was 1.2 a 1.0 km.h⁻¹, 1.3 a 1.1 km.h⁻¹ and 1.4 a 1.1 km.h⁻¹, in the 1st, 2nd

and 3rd gear, respectively. The mobilized soil showed the highest values for wheel slippage, hourly fuel consumption, drawbar pull and drawbar power when compared with firm soil and asphalt. The noise level measured with the microtractor standstill near the operator's ear was higher when using higher speed, decreasing with increasing at the distance.

Keywords: Family farming. Slippage. Fuel consumption.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Produção e vendas internas no atacado de cultivadores motorizados entre os anos de 1960 a 2009.....	18
Figura 2 -	Vendas internas de cultivadores motorizados por Regiões – 2009/2010.....	18
Figura 3 -	Pista de asfalto, solo firme e solo mobilizado.....	25
Figura 4 -	Penetrógrafo eletrônico.....	26
Figura 5 -	Resistência mecânica à penetração (kPa) <i>versus</i> profundidade (cm) para o solo mobilizado.....	27
Figura 6 -	Microtrator utilizado nos ensaios.....	27
Figura 7 -	Comboio utilizado nos ensaios.....	28
Figura 8 -	Princípio de funcionamento de um sensor indutivo.....	29
Figura 9 -	Ilustração do pulso emitido.....	29
Figura 10 -	Esquema de blocos do circuito.....	30
Figura 11 -	Princípio de funcionamento do medidor de combustível.....	30
Figura 12 -	Esquema da Ponte de Wheastone.....	31
Figura 13 -	Esquema utilizado neste experimento.....	31
Figura 14 -	Posição dos sensores indutivos: roda motriz á esquerda (a), roda motriz á direita (b)	32
Figura 15 -	Sistema de alimentação instalado no microtrator.....	33
Figura 16 -	Montagem da célula de carga no microtrator.....	35
Figura 17 -	Curva de calibração da célula de carga.....	35
Figura 18 -	Contador de pulso (a), regulador de tensão (b) e coletor de dados (c).....	37
Figura 19 -	QuantumX MX804A.....	38
Figura 20 -	Parte traseira do Quantum X com os canais.....	38
Figura 21 -	Esquema de ligação do strain gages full bridge.....	39
Figura 22 -	Registro das leituras no momento dos ensaios.....	39
Figura 23 -	Interface do Catman.....	40
Figura 24 -	Dosímetro pessoal de ruído (a) e Tacômetro digital (b) utilizado para a medição do nível de ruído.....	41
Figura 25 -	Momentos das leituras.....	42
Figura 26 -	Posição das medições no microtrator.....	43

Figura 27 - Patinagem dos rodados (%) em função da força de tração (kN) para a pista de asfalto.....	44
Figura 28 - Patinagem dos rodados (%) em função da força de tração (kN) para o solo firme.....	45
Figura 29 - Patinagem dos rodados (%) em função da força de tração (kN) para o solo mobilizado.....	45
Figura 30 - Consumo horário de combustível (L.h ⁻¹) em função da força de tração (kN) para a pista de asfalto.....	46
Figura 31 - Consumo horário de combustível (L.h ⁻¹) em função da força de tração (kN) para o solo firme.....	47
Figura 32 - Consumo horário de combustível (L.h ⁻¹) em função da força de tração (kN) para o solo mobilizado.....	48
Figura 33 - Consumo específico de combustível (gkW.h ⁻¹) em função da força de tração (kN) para a pista de asfalto.....	49
Figura 34 - Consumo específico de combustível (gkW.h ⁻¹) em função da força de tração (kN) para o solo firme.....	49
Figura 35 - Consumo específico de combustível (gkW.h ⁻¹) em função da força de tração (kN) para o solo mobilizado.....	50
Figura 36 - Potência disponível (kW) em função da força de tração (kN) para a pista de asfalto.....	51
Figura 37 - Potência disponível (kW) em função da força de tração (kgf) para o solo firme.....	51
Figura 38 - Potência disponível (kW) em função da força de tração (kgf) para o solo mobilizado.....	52
Figura 39 - Velocidade de deslocamento (km.h ⁻¹) em função da força de tração (kN) para a pista de asfalto.....	52
Figura 40 - Velocidade de deslocamento (km.h ⁻¹) em função da força de tração (kN) para o solo firme.....	53
Figura 41 - Velocidade de deslocamento (km.h ⁻¹) em função da força de tração (kN) para o solo mobilizado.....	53
Figura 42 - Resultado da análise de regressão linear e equação de ajuste dos níveis de ruído do microtrator a diferentes rotações.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Uso da força de tração animal e/ou mecânica utilizada pelos estabelecimentos.....	16
Tabela 2 - Características físicas do solo da área do experimento.....	24
Tabela 3 - Resumo da estatística descritiva dos níveis de ruído (dB(A)) emitidos pelo microtrator próximo ao ouvido do operador nas rotações de 600, 800 e 1200 rpm.....	54
Tabela 4 - Nível de ruído observado e o tempo máximo de exposição diário do operador em cada uma das rotações avaliadas.....	55
Tabela 5 - Síntese da análise de variância dos valores médios do nível de ruído (dB(A)) em função das superfícies do solo e marchas de trabalho.....	56
Tabela 6 - Resumo da estatística descritiva dos níveis de ruído (dB(A)) emitidos pelo microtrator em diferentes posições e raios de afastamentos na rotação de 600 rpm.....	57
Tabela 7 - Resumo da estatística descritiva dos níveis de ruído (dB(A)) emitidos pelo microtrator em diferentes posições e raios de afastamentos na rotação de 800 rpm.....	58
Tabela 8 - Resumo da estatística descritiva dos níveis de ruído (dB(A)) emitidos pelo microtrator em diferentes posições e raios de afastamentos na rotação de 1.200 rpm.....	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	Mecanização no Estado do Ceará	16
2.2	Microtrator agrícola	16
2.3	Eficiência energética em tratores	19
2.3.1	Patinagem das rodas motrizes	19
2.3.2	Consumo de combustível	20
2.3.3	Força de tração	21
2.4	Instrumentação eletrônica em máquinas agrícolas	21
2.5	Ruído	22
3	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1	Localização da área	24
3.1.1	Caracterização física do solo da área experimental	24
3.1.2	Pistas de ensaios	24
3.1.3	Determinação da resistência do solo à penetração	26
3.1.4	Microtrator utilizado nos ensaios	27
<i>3.1.4.1</i>	<i>Comboio utilizado nos ensaios</i>	28
3.1.5	Sensores utilizados na instrumentação do microtrator	29
<i>3.1.5.1</i>	<i>Sensor indutivo</i>	29
<i>3.1.5.2</i>	<i>Medidor de combustível</i>	30
<i>3.1.5.3</i>	<i>Strain gages</i>	31
3.1.6	Parâmetros avaliados	32
<i>3.1.6.1</i>	<i>Determinação da patinagem nos rodados</i>	32
<i>3.1.6.2</i>	<i>Consumo horário de combustível</i>	33
<i>3.1.6.3</i>	<i>Consumo específico de combustível</i>	34
<i>3.1.6.4</i>	<i>Força de tração média</i>	34
<i>3.1.6.5</i>	<i>Velocidade de deslocamento</i>	36
<i>3.1.6.6</i>	<i>Potência disponível na barra de tração</i>	36
3.1.7	Sistema de aquisição dos dados	37
<i>3.1.7.1</i>	<i>Sistema de contagem de pulsos</i>	37
<i>3.1.7.2</i>	<i>Sistema de aquisição da força</i>	38
3.1.8	Análise dos resultados	40
3.2	Nível de ruído emitido pelo microtrator	41

3.2.1	Níveis de ruído no ouvido do operador.....	41
3.2.1.1	<i>Nível de ruído com o trator parado.....</i>	41
3.2.1.2	<i>Níveis de ruído no ouvido do operador com microtrator em movimento.....</i>	42
3.2.2	Níveis de ruído em diferentes posições e raios de afastamentos.....	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1	Eficiência energética.....	44
4.1.1	Patinagem dos rodados	44
4.1.2	Consumo de horário combustível.....	46
4.1.3	Consumo específico de combustível.....	48
4.1.4	Potência disponível na barra.....	50
4.1.5	Velocidade de deslocamento.....	52
4.2	Nível de ruído.....	54
4.2.1	Níveis de ruído medido no ouvido do operador com o microtrator parado....	54
4.2.2	Níveis de ruído com o microtrator em movimento.....	56
4.2.3	Níveis de ruído em diferentes posições e raios de afastamentos.....	57
5	CONCLUSÃO.....	59
	REFERÊNCIAS.....	60
	APÊNDICES.....	67
	ANEXOS.....	69

1 INTRODUÇÃO

O uso da tração animal na agricultura foi substituído pela força mecanizada a partir do momento que o animal começou a competir com o homem por alimento. A necessidade de uma maior produção e produtividade fez com que o pequeno produtor buscasse outras formas de tração, assim, começou a surgir no campo os microtratores.

Os microtratores possuem baixa potência e são empregados nas pequenas propriedades devido ao seu preço de aquisição, consumo de combustível e custo de manutenção relativamente baixos e, dependendo do tamanho da propriedade poderá suprir as necessidades do produtor rural.

Atualmente, existem vários implementos que podem ser utilizados nos microtratores, os quais podem ser utilizados desde o preparo do solo até a colheita dependendo das necessidades do produtor rural. Normalmente, o microtrator vem com uma enxada rotativa posterior às duas rodas motrizes, podendo ser substituída por arados, carretas, pulverizadores, perfurador de solo e outros implementos.

Na aquisição de um trator o produtor baseia-se: no tamanho da área a ser cultivada, tempo de utilização anual, facilidade de pagamento, assistência técnica, existência de programas governamentais de incentivo, potência, conforto, facilidade de manobra, manutenção, além do preço. O conhecimento da eficiência energética do microtrator poderia ser mais um item a ser considerado em sua seleção. Há uma necessidade de realizar ensaios em microtratores ou cultivadores motorizados, de modo a obter parâmetros e posteriormente adaptá-los às condições de solo da nossa região e fornecer informações ao produtor na hora da escolha da máquina.

Os tratores agrícolas têm seu desempenho avaliado, entre outros, pela patinagem dos rodados, consumo de combustível e força de tração. A patinagem é um dos problemas que afeta o desempenho nos tratores contribuindo para a diminuição da força de tração e o aumento no consumo de combustível. Outro fator que afeta o desempenho do trator é o nível de ruído, ao qual o operador está exposto.

Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar a eficiência energética de um microtrator de duas rodas submetido às marchas (1ª, 2ª e 3ª) com variação de cargas (0, 200 e 400 kg) para três superfícies do solo (pista de asfalto, solo firme com cobertura vegetal e solo mobilizado) e o nível de ruído emitido pelo microtrator parado e em movimento a diferentes posições e raios de afastamentos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Mecanização no Estado do Ceará

O Estado do Ceará contou com um total de 381.014 estabelecimentos agropecuários em 2006, os quais possuíam 8.265.402 hectares, resultando em uma área média igual a 46,33 ha por estabelecimentos de acordo com o censo demográfico (2006).

Segundo o Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), no ano de 2007, a maioria dos estabelecimentos rurais está inserida na faixa de 10 a 500 hectares, dado que tanto em número de estabelecimentos como em área, eles representam a maioria: 68,70% e 68,45%, respectivamente.

O Ceará ocupa a terceira posição no uso da força de tração mecânica do Nordeste. Consta-se que 12,3% dos estabelecimentos da região utilizam a tração mecânica, contra 18,9% no País; 11,4% dos estabelecimentos utilizam alguma forma de tração isoladamente ou conjugada com a tração animal, frente a 8,9% para o Nordeste (Tabela 1).

Tabela 1 – Uso da força de tração animal e/ou mecânica utilizada pelos estabelecimentos

Localidades	Total de estabelecimentos (a)	Uso da força de tração animal e/ou mecânica utilizada pelos estabelecimentos				Estabelecimentos sem qualquer tipo de força de tração (a - b)
		Tipo				
		Total (b)	Animal	Mecânica	Animal e mecânica	
Brasil	5.175.485	2.843.013	1.273.319	978.277	591.421	2.332.472
Nordeste	2.454.006	1.190.033	668.251	302.458	219.324	1.263.973
Ceará	381.014	166.610	77.245	46.660	41.705	214.404
Estrutura percentual						
Brasil	100,00	54,9	24,6	18,9	11,4	45,1
Nordeste	100,00	48,5	27,2	12,3	8,9	51,5
Ceará	100,00	43,7	20,2	12,2	10,1	56,2

Fonte: Censo agropecuário (2006).

2.2 Microtrator agrícola

Os microtratores de duas rodas são chamados de cultivadores motorizados, ou mulas mecânicas com direção por meio de rabiças, devido a sua semelhança com os implementos de tração animal, onde o agricultor caminha atrás do equipamento. (MACHADO; REIS; MACHADO, 2010). Tem a conformação geral bem diferente dos

tratores de quatro rodas onde o peso do trator se apóia nas rodas motrizes. (SCHLOSSER, 2001).

Normalmente, o microtrator vem com uma enxada rotativa posterior às rodas motrizes, podendo ser substituída por arados, carretas, pulverizadores, perfurador de solo e outros implementos. São tratores de baixa potência, atingindo até cerca de 14 cv no motor. São empregados em pequenas propriedades, devido ao seu preço de aquisição relativamente baixo, onde não se justificam máquinas maiores. (SILVEIRA, 1987).

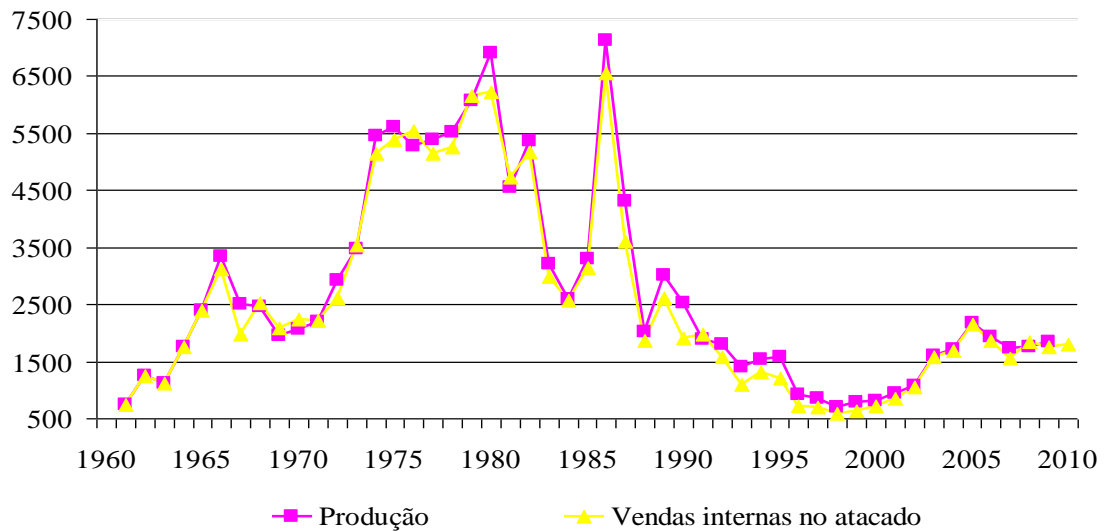
O microtrator é um veículo de menor porte, mais ágil e com capacidade para minimizar o problema da escassez de mão-de-obra. (RODRIGUES *et al.*, 2006). Além disso, em muitos locais, os microtratores podem ser empregados para dar suporte aos diferentes sistemas de produção, principalmente em área com espaço restrito, como jardins, estufas, galpões, aviários, fábricas e etc. (NAGASAKI; NONAKA; KAWASHIMA, 1999). São normalmente usados em países em desenvolvimento para preparação do solo seco ou encharcado, particularmente, utilizado em pequenas propriedades. (DEWANGAN; TEWARI, 2008; DEWANGAN; TEWARI, 2009; MATTHEW, 2010).

Os microtratores geralmente são dotados de motores de combustão interna, que transformam a energia potencial calorífica dos combustíveis ou carburantes em energia mecânica. (RODRIGUES *et al.*, 2006). A eficiência da transformação da energia química em energia mecânica desse tipo de motor varia entre 25 e 35%, sendo considerado um conversor de baixa eficiência energética. (LILJEDAHL; TURNQUIST; SMITH, 1989).

Segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2011) a fabricação de microtratores conhecidos como cultivadores motorizados, no Brasil, iniciou-se em 1961 com 751 unidades. A partir da década de 70 a produção aumentou substancialmente, atingindo em 1986 um valor máximo histórico de 7 mil unidades tanto em produção como em vendas internas, desde então, teve um decréscimo até o início de 2001. Em 2002 o Brasil retomou sua produção chegando em 2010 com uma produção de 1.922 unidades, e o mercado interno absorvendo 1.807 unidades. As variações na produção e vendas internas no atacado podem ser vistas na Figura 1, na qual se percebe a grande variação ocorrida entre os anos de 1960 a 2010.

A modernização da infraestrutura produtiva das unidades familiares, promovida pelo programa do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), foi responsável por 80,7% do total de vendas de motocultivadores e tratores de 11cv a 78cv efetuadas durante o ano de 2009.

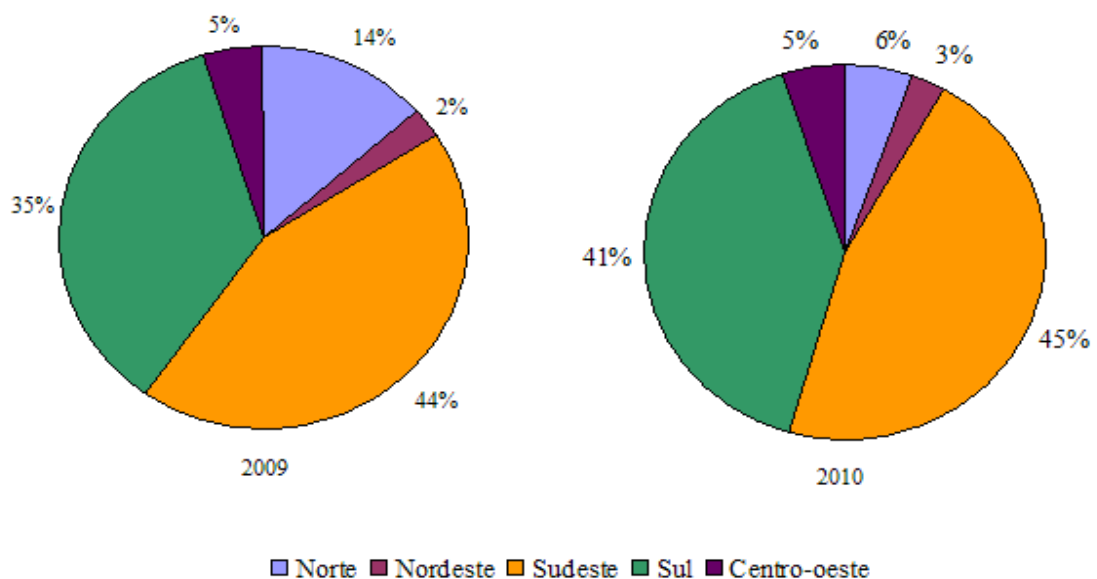
Figura 1 - Produção e vendas internas no atacado de cultivadores motorizados entre os anos de 1960 a 2010



Fonte: ANFAVEA (2011).

Ainda segundo a ANFAVEA, a região nordeste ocupou o quinto lugar na venda interna de cultivadores motorizados nos anos de 2009/2010 com 89 unidades, ficando o Ceará com 25,8% das vendas, ou seja, o estado vendeu apenas 23 unidades dessas máquinas. Outro ponto importante observado no gráfico é o fato das regiões sudeste e sul apresentarem um número significativo de vendas internas dessas máquinas, isso mostra que as mesmas não são apenas utilizadas nas regiões menos desenvolvidas (Figura 2).

Figura 2 - Vendas internas de cultivadores motorizados por Regiões – 2009/2010



Fonte: Adaptado da ANFAVEA (2011).

2.3 Eficiência energética em tratores

No mercado existem diversos modelos de tratores. No momento da compra, a escolha do agricultor baseia-se na potência, conforto, facilidade de manobra e manutenção do trator, além do preço. (SILVEIRA; SIERRA, 2010). O conhecimento da eficiência energética do trator poderia ser mais um item a ser considerado em sua seleção. (SILVEIRA; SIERRA; CANAVATE, 2008).

Os tratores agrícolas têm seu desempenho avaliado pela patinagem das rodas motrizes, consumo de combustível e potência na TDP. (MIALHE, 1996). Segundo Garcia *et al.* (2005) é importante conhecer a capacidade da máquina a fim de selecionar a potência e os equipamentos que desempenharão as operações agrícolas em tempo hábil, evitando os custos adicionais com máquinas superdimensionadas, comum nas propriedades agrícolas.

2.3.1 Patinagem das rodas motrizes

A patinagem das rodas motrizes nos tratores pode ser obtida através da diferença entre as suas rotações com e sem carga no trator, representando os percursos do trator tracionando um implemento e aquele nas mesmas condições sem o implemento. (MIALHE, 1996).

Nos tratores agrícolas a patinagem ocorre devido a diversos fatores, entre eles, o esforço de tração necessário para deslocar determinado implemento e o tipo de superfície que está em contato com a banda de rodagem do pneu. (HERZOG *et al.*, 2002).

A patinagem é um dos problemas que afeta o desempenho nos tratores contribuindo para a diminuição da força de tração e o aumento no consumo de combustível. (GABRIEL FILHO *et al.*, 2002).

Para que ocorra tração é necessário que exista patinagem, entretanto, se esta ultrapassar determinados limites, pode ocorrer perda da aderência e redução da tração dos rodados. (LANÇAS; UPADHYAIA, 1997).

Nos tratores 4x2 TDA para se obter a máxima eficiência de tração a patinagem deve ficar entre 8 a 10% para solos sem mobilização, 11 a 13% em solos revolvidos e de 14 a 16% em solos arenosos. (ASABE, 2006).

Conforme Jenane, Bashford e Monroe (1996), dependendo da superfície do solo, o menor consumo de combustível é obtido quando a patinagem está entre 10 e 30%. Schlosser, Linares e Marquez (2004) verificaram que, na condição de solo mobilizado, as

menores patinagens ocorreram nas condições dos tratamentos com menor peso nas rodas dianteiras e maiores raios estáticos destes pneus.

Schlosser (1996) utilizou para determinação da patinagem das rodas motrizes, sensores nas rodas traseiras e dianteiras onde esses sensores captavam os pulsos gerados obtendo a rotação das rodas e conseguindo assim determinar a velocidade teórica e conseqüentemente o patinamento.

Antuniassi, Figueiredo e Gadanha Júnior (2001) utilizaram um sistema semelhante para medir a rotação das rodas do trator, através de um sensor magnético fixado a uma estrutura metálica.

2.3.2 Consumo de combustível

A mensuração da quantidade de combustível consumida constitui-se um dos mais importantes aspectos da avaliação do rendimento de um motor, ou seja, do seu desempenho como máquina térmica conversora de energia. (MIALHE, 1996).

O consumo de combustível varia em função de vários fatores, entre eles: adequação e condição do conjunto trator-implemento, profundidade da operação, tipo e condição de solo, tempo de manobras e do número de operações agrícolas adotadas no processo de produção. (CORRÊA *et al.*, 1999; NAGAOKA *et al.*, 2002). O consumo específico de combustível é um dos indicadores mais consistente para a avaliação do desempenho de um trator. (CORDEIRO, 2000).

Os custos de combustível e lubrificantes representam, no mínimo, 16%, chegando a atingir 45% dos custos totais das máquinas agrícolas, dependendo do tipo de combustível e do número de horas trabalhadas. (SIEMENS; BOWERS, 1999).

Grisso, Kocher e Vaughan (2004) desenvolveram uma fórmula que permite a previsão do consumo de combustível de um trator ($L.h^{-1}$) para qualquer velocidade de deslocamento em qualquer carga.

Hanson *et al.* (2003) determinaram diferentes valores de consumo de combustível para o mesmo tipo de trabalho, em marchas distintas, orientando os usuários a reduzirem o consumo. Segundo Golverk (1992), os motores de combustão a diesel consomem menos combustível a cargas constantes, em comparação com cargas variáveis.

2.3.3 Força de tração

A tração é uma força proveniente da interação entre um dispositivo de autopropulsão, tal como a roda, e o meio no qual age esse dispositivo. (MIALHE, 1980).

O desempenho da força de tração dos tratores depende inicialmente da potência do motor, distribuição de peso nas rodas de tração, tipo de engate e condição de solo. (SANTOS, 2010). Além dos fatores citados que afetam as condições de tração e, portanto seu rendimento tem-se: a pressão interna do pneu e a presença de restos de culturas ou cobertura vegetal no solo. (FERREIRA *et al.*, 2000).

As condições de superfície do solo influenciam de maneira notável sobre a força de tração, por isso, os solos cheios de torrões, lamacentos ou macios, oferecem uma resistência maior às rodas do que em um terreno firme. (SILVA; KAY, 1996). Dentre as condições do solo que afetam a eficiência de tração de um trator agrícola pode-se mencionar a sua textura, o teor de água e o tipo de cobertura existente sobre esse solo. (YANAI *et al.*, 1999; GABRIEL FILHO *et al.*, 2004).

Segundo Mahl (2006), a palhada na superfície do solo dificulta a aderência dos rodados do trator ao solo, podendo aumentar a patinagem dos mesmos, causando por consequência aumento significativo da demanda de força de tração e potência requerida na barra.

Na transmissão de potência do motor dos tratores para a barra de tração, ocorrem perdas de energia que, dependendo das condições de operação do trator, podem atingir níveis bastante comprometedores de perda de potência apresentando condições inadequadas para a tração. (GABRIEL FILHO *et al.*, 2010).

2.4 Instrumentação eletrônica em máquinas agrícolas

A instrumentação de máquinas agrícolas para a realização de ensaios de campo tem a finalidade de gerar informações que possibilitem dimensionar e racionalizar os conjuntos mecanizados. (SILVA; BENEZ, 1997; SILVA *et al.*, 2001). A instrumentação eletrônica permite uma grande capacidade de trabalho em função da facilidade de programação e operação para realização das medições. (MANTOVANI; LEPLATOIS; INMASSU, 1999).

A aquisição de dados é uma atividade essencial em todo tipo de tecnologia e ciência e é efetuada mediante um conjunto de sensores e um coletor de dados para leitura e

armazenamento de dados. (MANTOVANI; LEPLATOIS; INMASSU, 1999). O objetivo de um sistema de aquisição de dados é apresentar, ao observador, os valores das variáveis, ou parâmetros, que estão sendo medidos. (GARCIA *et al.*, 2003). Os sensores permitem que uma máquina possa interagir com o ambiente de forma flexível, com um nível maior de percepção do meio. (FERNANDES *et al.*, 2011).

Silva e Benez (1997) construíram um sistema de aquisição de dados para medir, exibir e gravar os dados necessários à avaliação do desempenho energético de máquinas e equipamentos agrícolas em trabalhos de campo. Schlosser (2001) avaliou um sistema de aquisição de dados cujo objetivo foi estudar o fenômeno de vibrações decorrentes da interferência entre eixos em um trator com tração dianteira auxiliar (TDA).

2.5 Ruído

O ruído é um complexo de sons que causam sensação de desconforto e está presente de forma contínua na vida diária dos seres humanos. (KROEMER; GRANDJEAN, 2005).

A presença de ruído ao longo da jornada de trabalho pode lesionar o sistema auditivo dos trabalhadores e causar perda na audição quando os níveis são excessivos. (TELES, 2009). Além dos problemas relacionados à audição, os níveis elevados de pressão sonora podem trazer distúrbios como irritabilidade, cansaço e transtornos do sono. (SILVA, 2002).

O tempo de exposição, o nível de som, a frequência, a intensidade do ruído e a susceptibilidade do indivíduo têm relação direta com a severidade dos agravos a saúde. (SILVEIRA *et al.*, 2007). Dewangan, Prasanna-Kumar e Tewari (2005) afirmam que a exposição do tratorista a ruídos, vibrações, calor e esforço físico o torna mais susceptível a acidentes e a problemas de saúde.

Os ruídos intensos tendem a prejudicar tarefas que exigem concentração mental e certas tarefas que exigem atenção ou velocidade e precisão dos movimentos; e os resultados tendem a piorar após duas horas de exposição ao ruído. (ALMEIDA; ILGNER; RUSSO, 2001).

Atualmente, existem várias normativas que estabelecem os padrões aceitáveis para níveis de pressão sonora. Uma das principais normas internacionais é a ISO 5131 (*International Standard Organization - ISO 1982*). No Brasil, a Associação Brasileira de

Normas Técnicas (ABNT) possui algumas normativas sobre níveis de ruído em máquinas agrícolas, sendo as principais a NBR-9999 (ABNT, 1987a) e a NBR 1052 (ABNT, 1987b).

Segundo ABNT – Norma NBR 1052, quando uma pessoa é submetida a níveis altos de ruído, existe a reação de todo o organismo a esse estímulo podendo ter reflexos em aspectos fisiológicas, bioquímicas e cardiovasculares, podem também ser refletidos no comportamento psicológico do indivíduo.

A Norma Regulamentadora (NR 15), sobre atividades e operações insalubres, instituída pela Portaria 3.214/78 do Ministério do Trabalho e Emprego (MTbE), estabelece que o nível máximo de ruído permitido para oito horas de exposição diária é de 85 dB(A). (BRASIL, 2011). Acima desse limite, o ruído, além de perturbar as atividades humanas, pode causar sérios danos à saúde. (SILVA *et al.*, 2004).

Souza, Fernandes e Vitória (2004) avaliaram o nível de ruído produzido por uma colhedora trilhadora de feijão e concluíram que os níveis de ruído emitidos nos casos analisados, foram superiores ao limite de 85 dB(A), para oito horas de exposição diária, estabelecido pela NR-15, evidenciando a gravidade do problema no meio rural.

Fernandes (1991) analisou as fontes de ruídos em tratores agrícolas, e concluiu ser o motor, e principalmente o sistema de exaustão dos gases a sua principal fonte. Kahil e Gamero (1997) constataram que os níveis de ruído emitidos por microtratores, medidos ao nível do ouvido do operador, estavam acima do permitido pela legislação para uma jornada de trabalho de oito horas.

Delmond e Reis (2006) avaliaram os níveis de ruído emitidos por tratores em diferentes operações agrícolas, e concluíram que, dentre os fatores ambientais que são prejudiciais ao trabalhador rural, o ruído pode ser considerado o pior deles.

Mazetto (2008) avaliou os desempenhos operacionais, energéticos e ergonômicos de colhedoras de soja no sistema plantio direto e concluiu que quanto à exposição ao ruído, as colhedoras com cabine apresentam menores níveis de pressões sonoras aos operadores do que as colhedoras sem cabine.

Para Mialhe (1996), a definitiva solução para o problema do nível de ruído emitido por tratores, não consiste somente no isolamento acústico, mas de uma mudança na postura por parte dos fabricantes, passando a investir em pesquisar as fontes geradoras de ruído visando a minimizá-las.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento, o desenvolvimento e a montagem do circuito eletrônico foram conduzidos no Laboratório de Eletrônica e Máquinas Agrícolas (LEMA) e numa área experimental pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola (DENA), da Universidade Federal de Ceará, localizado no Campus do Pici, Fortaleza/CE.

3.1 Localização da área

A área experimental está situada a aproximadamente 19 m de altitude, 03°43'02" latitude Sul e 38°32'35" longitude Oeste, sendo o clima da região enquadrado segundo classificação de Koppen como Aw', com médias anuais de temperatura de 28°C e precipitação de 900 mm.

3.1.1 Caracterização física do solo da área experimental

O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo. (EMBRAPA, 2006). Para a determinação das propriedades físicas do solo foram coletadas amostras indeformadas, aleatoriamente na profundidade de 0-10 cm com o auxílio de um amostrador do tipo Uhland, em seguidas, as amostras foram levadas para o Laboratório de Análise do Solo para determinar a densidade das partículas, densidade do solo, umidade do solo e granulometria conforme metodologia da EMBRAPA (1997). Na Tabela 2 têm-se os resultados das características físicas do solo da área onde foram realizados os ensaios.

Tabela 2 – Características físicas do solo da área do experimento. Fortaleza- Ceará, 2011

Profundidade	Densidade do solo (g/cm ³)	Densidade das partículas (g/cm ³)	Umidade do solo (g/100g)	Classe textural
0- 5	1,39	2,65	5,53	Areia Franca
5-10	1,40	2,65	5,31	Areia Franca

Fonte: Laboratório de Análises de Água e Solo (UFC).

3.1.2 Pistas de ensaios

Os ensaios foram realizados em pista de asfalto com 180 metros de comprimento e 2 metros de largura, totalizando 360 m² de área, e em pistas de campo com 30 metros de comprimento e 72 metros de largura totalizando 2.160 m² para cada área (Figura 3).

Figura 3 – Pista de asfalto (a), Solo firme com cobertura vegetal (b) e Solo mobilizado (c)



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autora.

3.1.3 Determinação da resistência do solo à penetração

Para a determinação da resistência do solo à penetração, foi utilizado um penetrógrafo eletrônico modelo PNT 2000 da DGL Automação®, com ponteira cônica de aço inoxidável, fixada na extremidade inferior da haste de penetração, com área basal de 130 mm^2 onde foi inserida ao solo até a profundidade de 15 cm (Figura 4).

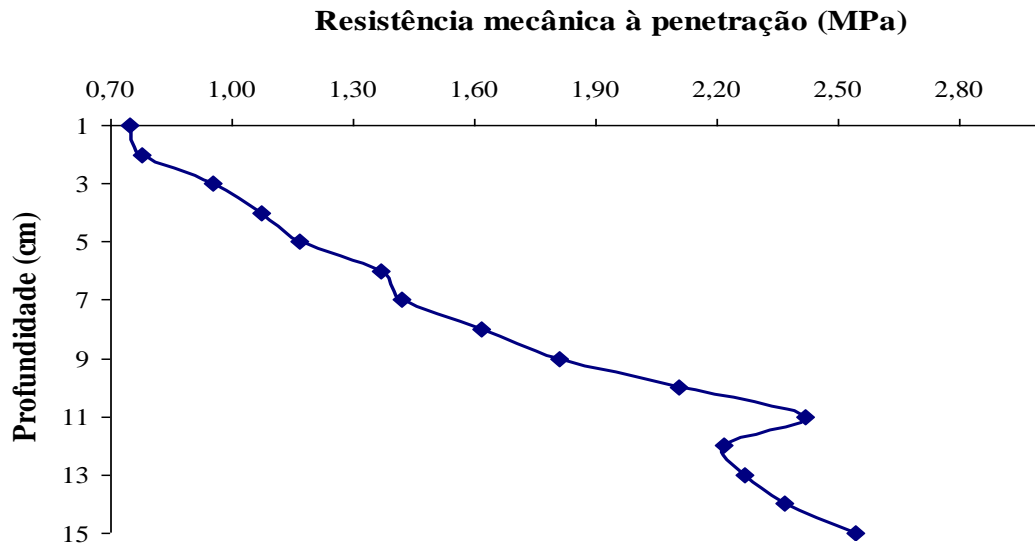
Figura 4 - Penetrógrafo eletrônico



Fonte: Autora.

A resistência do solo à penetração foi realizada de forma aleatória onde foram feitas dez amostragens na área experimental antes da realização dos ensaios. Posteriormente, procedeu-se a obtenção dos valores médios da resistência mecânica à penetração (MPa) na profundidade de 0 a 15 cm conforme a Figura 5.

Figura 5 – Resistência mecânica à penetração (MPa) *versus* profundidade (cm)



Fonte: Adaptado pela autora.

3.1.4 Microtrator utilizado nos ensaios

Para os ensaios foi utilizado um microtrator de duas rodas conhecido como cultivador motorizado ou trator de rabiça, marca Yanmar Agritech, modelo TC14S, 2 x 2, potência de 10,3 kW a 2.400 rpm, massa total de 498 kg, equipados com pneus 6-12 nas rodas motrizes com pressão de 14psi. A Figura 6 mostra o microtrator que foi utilizado nos ensaios.

Figura 6 – Microtrator utilizado nos ensaios



Fonte: Autora.

O microtrator foi instrumentado com sensores de rotação instalados nas duas rodas motrizes; medidores de combustível instalado no circuito de alimentação e retorno de combustível e sensor de força instalado no sistema de engate, sendo que, as informações geradas por este sensor foram armazenadas em um sistema de aquisição de dados, os demais sensores foram conectados a um sistema eletrônico para contagem de pulsos desenvolvido no Laboratório de Eletrônica e Máquinas Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola (LEMA) utilizando um microcontrolador da família da microchip 18F452.

3.1.4.1 Comboio utilizado nos ensaios

Para avaliar a eficiência energética do microtrator instrumentado foi utilizado um sistema de comboio composto por outro microtrator da marca Yanmar Agritech, modelo TC14S com as mesmas características do microtrator ensaiado e um pulverizador de barra da marca Yanmar Agritech com capacidade de 400 litros. O pulverizador de barras foi utilizado para dar estabilidade de frenagem ao microtrator e oferecer diversas cargas para o microtrator de testes no momento dos ensaios em campo. As cargas impostas foram de 0 kg (comboio utilizado sem a adição de água ao pulverizador), 200 kg (comboio utilizado com adição de 200 L de água ao pulverizador) e 400 kg (comboio utilizado com adição de 400 L de água ao pulverizador). A Figura 7 mostra o comboio que foi utilizado para realização dos ensaios.

Figura 7 – Comboio utilizado para os ensaios



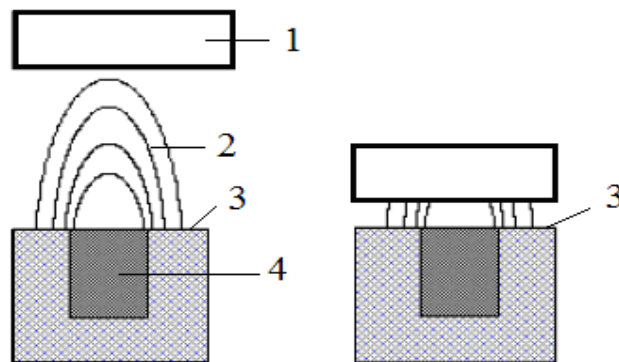
Fonte: Autora.

3.1.5 Sensores utilizados na instrumentação do microtrator

3.1.5.1 Sensor indutivo

O sensor indutivo é um dispositivo eletrônico capaz de detectar a aproximação de peças metálicas sem que haja contato físico entre o sensor e o metal. Tem como princípio de funcionamento a geração de um campo eletromagnético de alta frequência, gerado por uma bobina ressonante na face sensora (Figura 8).

Figura 8 – Princípio de funcionamento de um sensor indutivo

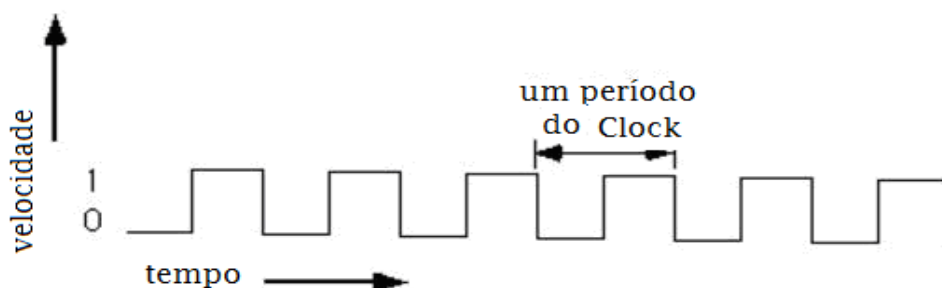


1- acionador metálico, 2 - campo eletromagnético, 3 - face sensora, 4- bobina

Fonte: Autora.

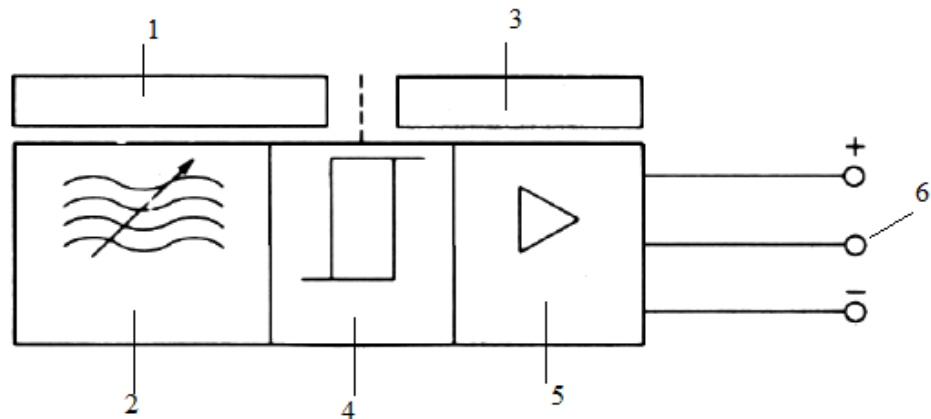
Uma bobina faz parte de um circuito oscilador que gera um sinal e quando é acionada com a proximidade de um metal, a energia do campo é absorvida pelo metal, diminuindo a amplitude do sinal gerado no oscilador (Figura 9). Esta variação é convertida em uma variação contínua que passa a atuar no estágio de saída para leitura (Figura 10).

Figura 9 – Ilustração do pulso emitido



Fonte: Autora.

Figura 10 - Esquema de blocos do circuito



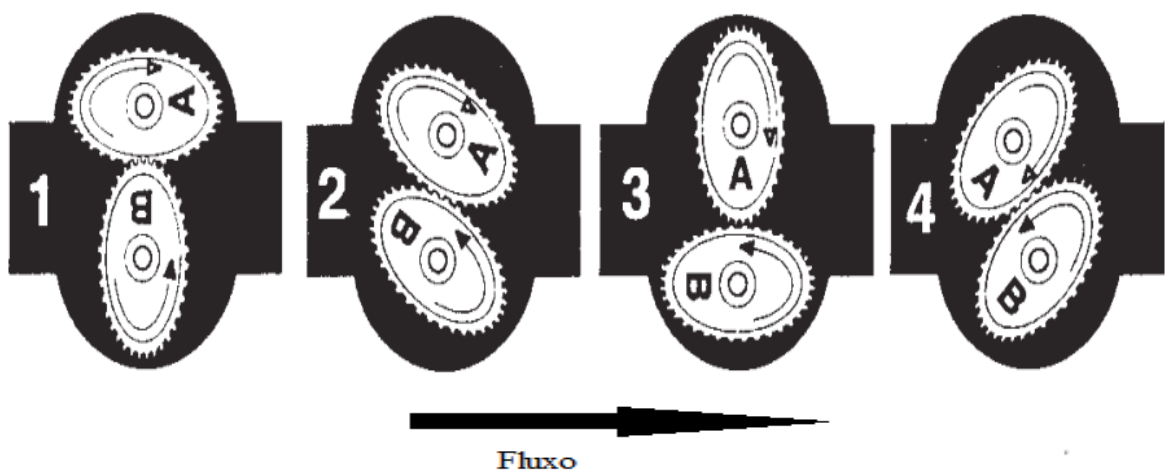
1 - operação, 2 - oscilador, 3 - comando, 4 - regulagem, 5 - estágio de saída, 6 - sinal de saída

Fonte: Autora.

3.1.5.2 Medidor de combustível

O medidor de combustível é equipado com duas engrenagens de forma oval que gira quando o fluido passa através de uma câmara de medição fixa. A rotação das engrenagens desloca um volume fixo de líquido (Figura 11). O sensor mede a rotação da engrenagem, que é proporcional ao volume de líquido e vazão. O medidor é projetado para minimizar o deslizamento entre as engrenagens e o corpo da câmara de medição. (OVAL CORPORATION, 2010).

Figura 11 - Princípio de funcionamento do medidor de combustível



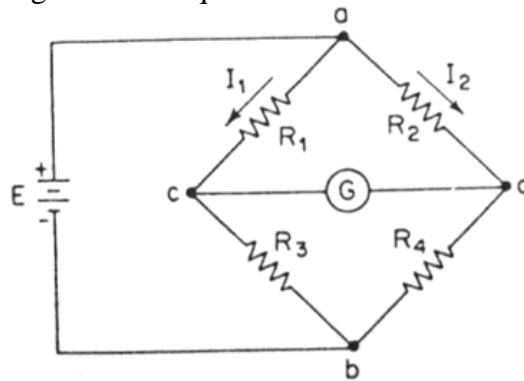
Fonte: Oval Corporation (2010).

3.1.5.3 Strain gages

A ponte de *Wheastone* é um equipamento formado por circuitos resistivo (Figura 12), muito utilizado para se medir resistências elétricas com precisão. A ponte é dita equilibrada quando a diferença de potencial (ddp) através das pontas c e d são nulas, não há corrente atravessando o galvanômetro. Deste modo, a ponte fica em equilíbrio quando: $I_1R_1 = I_2R_2$, têm-se a fórmula geral (Equação 1).

$$R_1 \times R_4 = R_2 \times R_3 \quad (1)$$

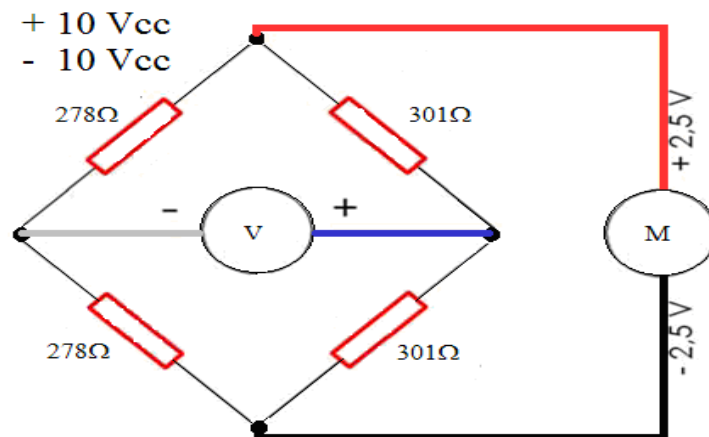
Figura 12 – Esquema da Ponte de Wheastone



Fonte: Autora.

Para o experimento foi utilizado um *strain gages* em ponte completa conforme é demonstrado na Figura 13.

Figura 13 – Esquema utilizado neste experimento



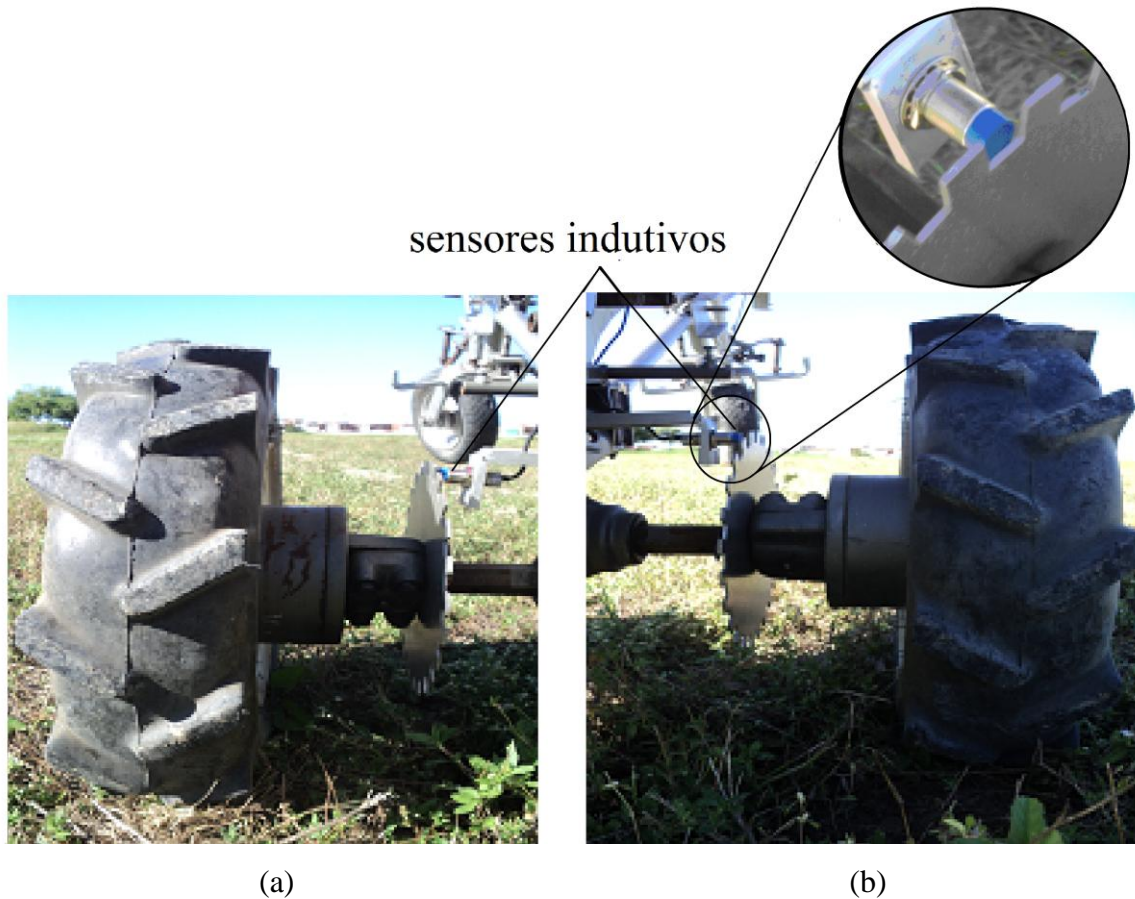
Fonte: Autora.

3.1.6 Parâmetros avaliados

3.1.6.1 Determinação da patinação nos rodados

Para determinação da patinação foram utilizados dispositivos constituídos por roda dentada (24 dentes) e sensores indutivos, modelo LM18 3008PA, acoplados as duas rodas motrizes (Figura 14), os quais realizaram a conversão de movimentos rotativos em pulsos elétricos, gerando 24 pulsos por volta dos rodados.

Figura 14 - Posição dos sensores indutivos: roda motriz á esquerda (a), roda motriz á direita (b)



Fonte: Autora.

Com os sinais recebidos dos geradores de pulsos instalados nas rodas motrizes e no eixo da polia do motor foi possível determinar a patinação através da equação 2.

$$Pat = \left(\frac{n_{pc} - n_{ps}}{n_{pc}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Em que:

Pat = patinagem (%);

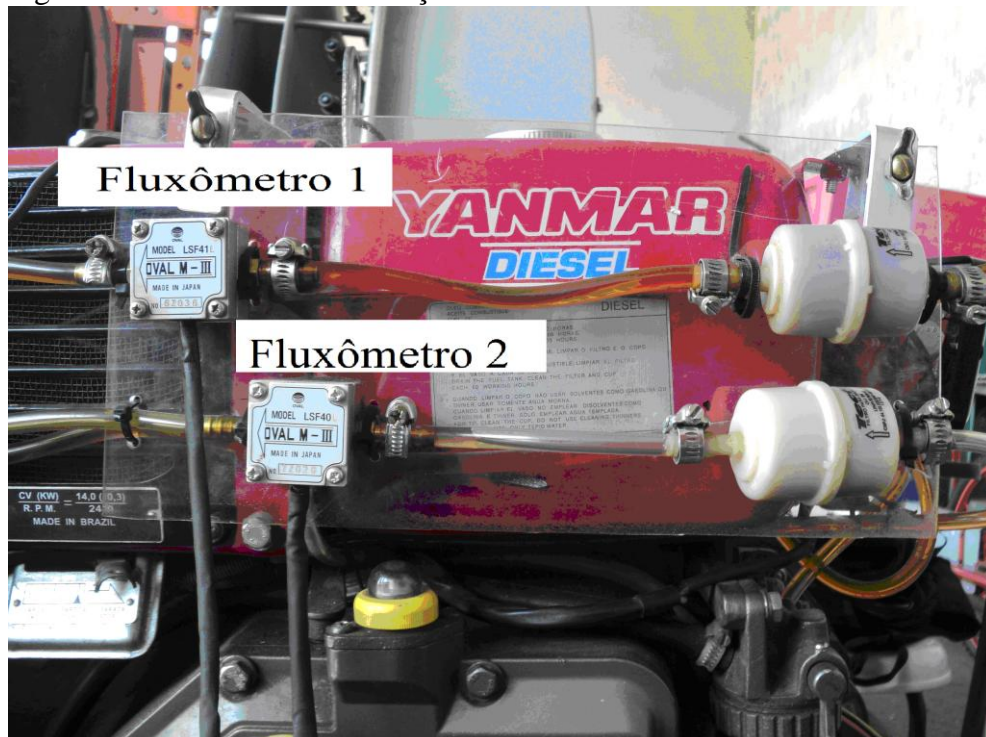
nps = número de pulsos da roda sem carga (microtrator instrumentado sem o comboio);

npc = número de pulsos da roda com carga (microtrator instrumentado acoplado ao comboio).

3.1.6.2 Consumo horário de combustível

O consumo horário de combustível foi determinado utilizando dois fluxômetros da marca “Flowmate” oval, modelo M-III, onde um foi instalado próximo ao filtro de combustível do microtrator (Fluxômetro 1) e outro no retorno do bico para o tanque (Fluxômetro 2), com uma precisão de 0,01 mL. A cada mL de combustível que era consumido pelo microtrator ao passar pelo mecanismo registrava uma unidade de pulso (1 ml/pulso). O sistema de alimentação do microtrator pode ser observado conforme figura 15.

Figura 15 - Sistema de alimentação instalado no microtrator



Fonte: Autora.

Os pulsos gerados pelos fluxômetros foram convertidos em volume, considerando a vazão de 1ml/pulso. O cálculo do consumo horário de combustível foi realizado através da equação 3.

$$Ch = \frac{(np1 - np2)}{tp} \times 3,6 \quad (3)$$

Em que:

C_h = consumo horário de combustível ($L.h^{-1}$);

np_1 = número de pulsos medido na saída do tanque;

np_2 = número de pulsos medido no retorno do bico para tanque;

t = tempo de percurso (s);

3,6 = fator de correção.

3.1.6.3 Consumo específico de combustível

O consumo específico de combustível foi determinado através da equação 4.

$$C_{esp} = \frac{Ch \times d}{P_b} \quad (4)$$

Em que:

C_{esp} = consumo específico de combustível ($g.kW.h^{-1}$);

C_h = consumo horário do combustível ($L.h^{-1}$);

d = densidade do combustível ($500 g.L^{-1}$);

P_b = potência na barra (kW).

3.1.6.4 Força de tração média

Para mensuração da força de tração foi utilizado uma célula de carga marca MK Controle e Automação, modelo CSR com capacidade de 100 kN, precisão de $\pm 1\%$, sensibilidade nominal de 2mV/V e tensão de excitação de 10 V onde foi tracionada entre o microtrator instrumentado e o sistema de comboios (Figura 16). Antes das leituras a célula foi devidamente calibrada em laboratório.

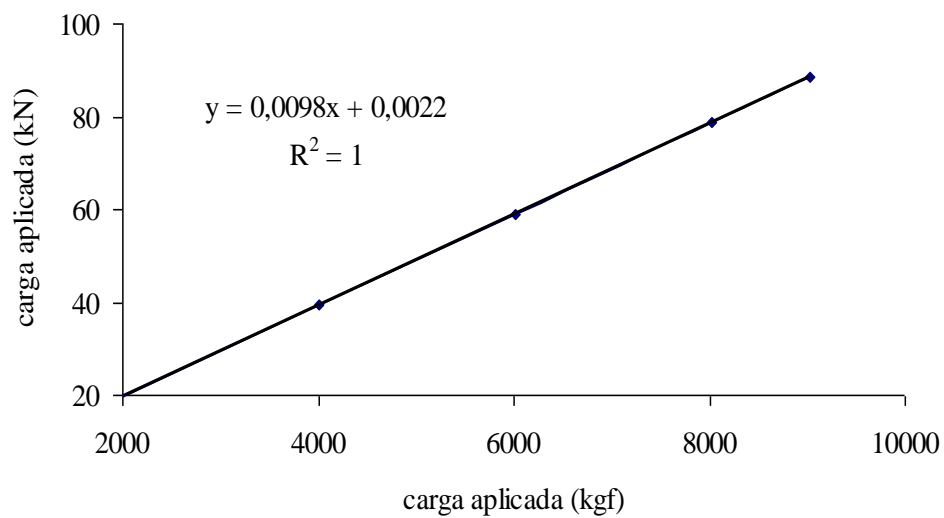
Figura 16 - Montagem da célula de carga no microtrator



Fonte: Autora.

A curva de calibração da célula de carga pode ser observada na Figura 17.

Figura 17 – Curva de calibração da célula de carga



Fonte: Autora.

Os sinais gerados pela célula de carga foram armazenados no sistema de aquisição de dados. Com os valores obtidos foi possível determinar a força de tração média utilizando a equação 5.

$$F_{tm} = \frac{\sum F_i}{tp} \quad (5)$$

Em que:

F_{t_m} = força de tração média (kN);

F_i = força de tração instantânea (kN.s⁻¹);

t_p = tempo de percurso (s).

3.1.6.5 Velocidade de deslocamento

A velocidade de deslocamento foi determinada cronometrando-se o tempo necessário para percorrer cada parcela de 30 metros de comprimento e calculada de acordo com a Equação 6. Em cada extremidade da parcela foi colocada uma baliza para permitir a cronometragem no momento exato em que o microtrator iniciasse e terminasse o percurso.

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

Em que:

V_m = velocidade média (km.h⁻¹);

s = espaço percorrido (m);

t = tempo decorrido (s);

3,6= fator de conversão.

3.1.6.6 Potência disponível na barra de tração

A potência disponível na barra de tração foi calculada em função da força de tração e da velocidade de deslocamento, conforme a Equação 7:

$$P_b = \frac{F \times V}{3,6} \quad (7)$$

Em que:

P_b = potência na barra (kW);

F_m = força de tração média (kN);

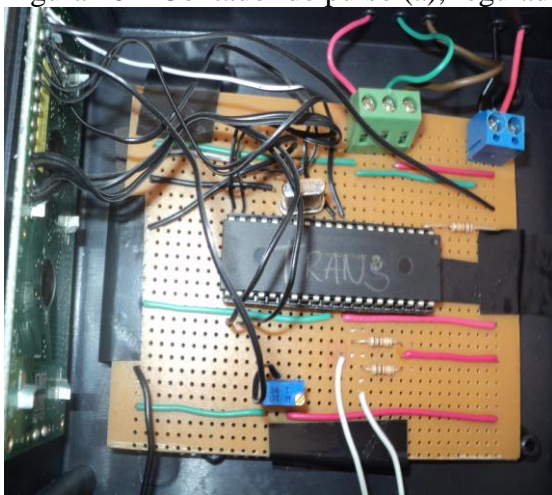
V = velocidade de deslocamento (km.h⁻¹).

3.1.7 Sistema de aquisição dos dados

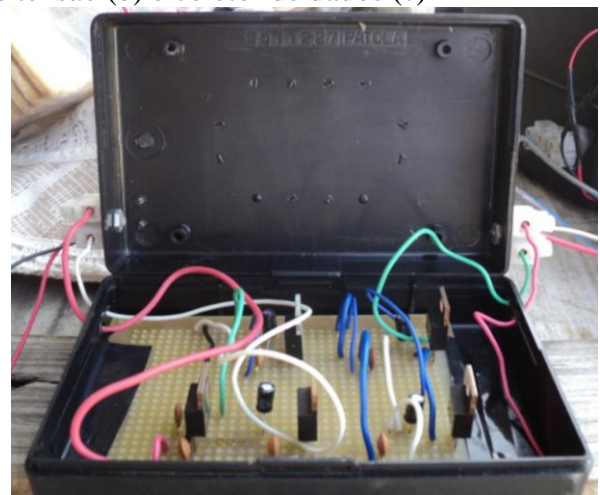
3.1.7.1 Sistema de contagem de pulsos

Para a aquisição dos dados de patinagem dos rodados, consumo horário de combustível, velocidade de deslocamento e tempo de percurso foi desenvolvido um sistema eletrônico utilizando o microcontrolador PIC18F452 da família microchip para a obtenção das leituras oriundas dos sensores indutivos e fluxômetros e outro para cronometrar o tempo (Figura 18a e 18c). Um circuito elétrico alimentado pela bateria do microtrator foi construído para levar a tensão da bateria ao sensor e posteriormente ao sistema de contagem de pulsos (Figura 18b).

Figura 18 – Contador de pulso (a), regulador de tensão (b) e coletor de dados (c)



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autora.

3.1.7.2 Sistema de aquisição dos dados de força

Para a coleta dos dados oriundos da célula de carga foi utilizado um sistema de aquisição de dados da HBM modelo QuantumX MX804A com capacidade para monitorar e registrar informações a uma frequência de 19.200Hz (Figura 19). Depois que esses dados foram adquiridos pelo QuantumX MX840A, eles foram tratados pelo software de aquisição de dados, o Catman. (HBM, 2010).

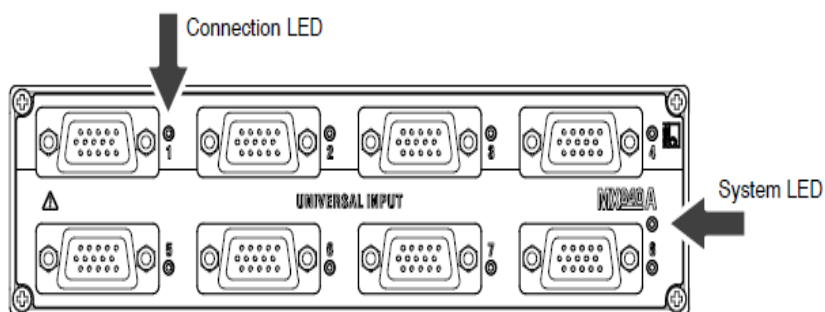
Figura 19 – QuantumX MX804A



Fonte: HBM (2010).

A célula de carga foi conectada ao sistema QuantumX através de ligações com sockets de 15 pinos para a conexão. A ligação foi feita na parte traseira do equipamento (Figura 20) sendo utilizado o canal 2 para a realização das leituras.

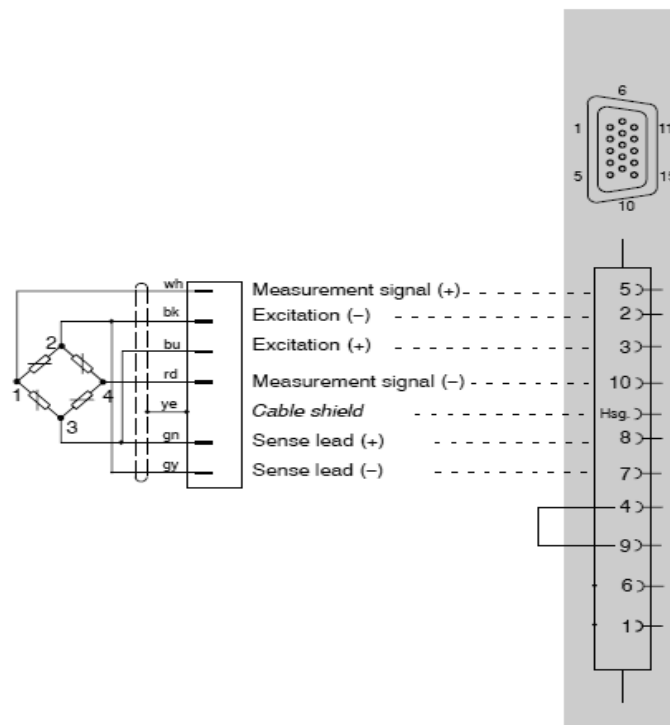
Figura 20 - Parte traseira do Quantum X com os canais



Fonte: HBM (2010).

A célula de carga foi ligada a um conector DB15 conforme o esquema de ligação para *strain gages* disponível no manual da HBM (Figura 21).

Figura 21 – Esquema de ligação do *strain gages full bridge*



Fonte: HBM (2010).

No início dos ensaios as leituras do sinal dos sensores indutivos e fluxômetros eram registradas pelo sistema de contagem de pulsos que foi montado e mostradas no display do sistema, em seguidas essas leituras eram anotadas manualmente (Figura 22). Esse procedimento foi repetido toda vez que se iniciava as leituras nas parcelas.

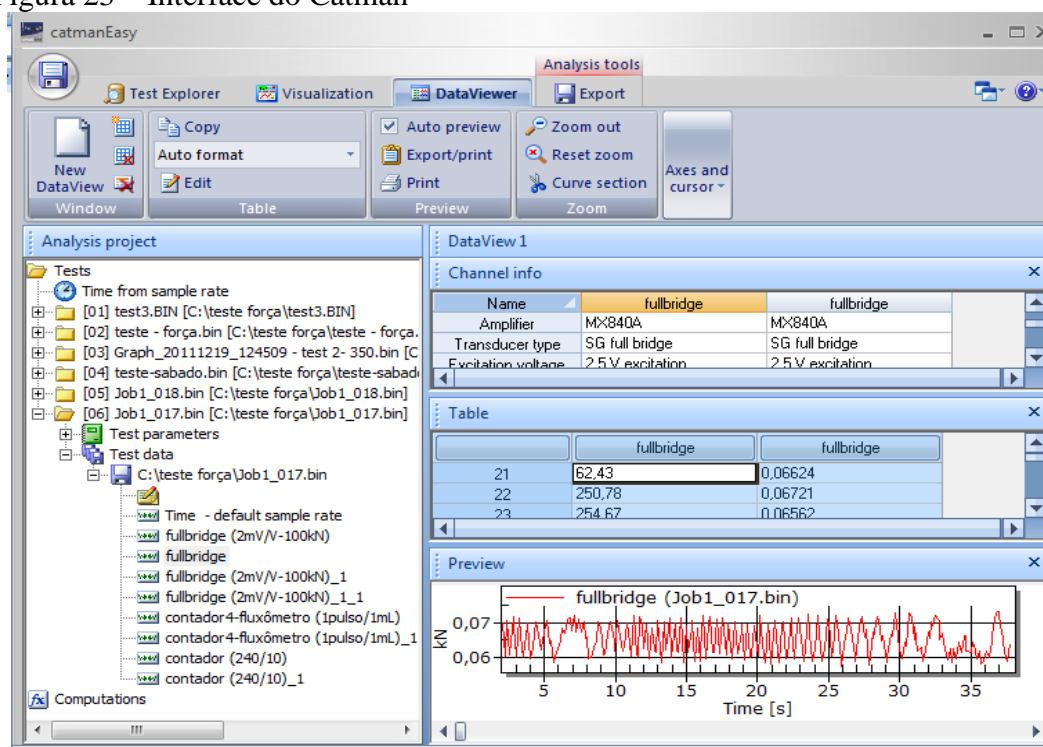
Figura 22 – Registro das leituras no momento dos ensaios



Fonte: Autora.

Os dados da célula de carga eram registrados e armazenados automaticamente no sistema de aquisição de dados durante os ensaios, em seguida, esses dados eram transferidos para um computador portátil através do Catman para serem analisados (Figura 23).

Figura 23 – Interface do Catman



Fonte: HBM (2010).

3.1.8 Análise dos resultados

A análise dos resultados de patinagem dos rodados, consumo horário de combustível, força de tração e potência disponível pelo microtrator foi realizada através de uma análise descritiva utilizando o programa computacional Excel, versão 2010. Para essa avaliação foram utilizadas as marchas (1^a, 2^a e 3^a) por serem as marchas de força mais usadas, em condições de trabalho de campo, e como carga foi utilizado um comboio de um pulverizador acoplado ao microtrator. A carga variou de 0, 200 a 400 kg.

3.2 Nível de ruído emitido pelo microtrator

3.2.1 Nível de ruído medido no ouvido do operador

Para a medição do nível de ruído no ouvido do operador foi utilizado um dosímetro pessoal de ruído da marca Instrutherm, modelo DOS-500 com certificado de calibração válido e nível de equalização ajustado para a escala A (Figura 24a). Para colocar o microtrator na rotação desejada do motor foi utilizado um tacômetro digital marca Minipa modelo MDT – 2245A (Figura 24b).

Figura 24 - Dosímetro pessoal de ruído (a) e Tacômetro digital (b)



(a)

(b)

Fonte: Autora.

Para essa avaliação foram utilizadas duas situações: a primeira com o microtrator parado numa área campal submetido às rotações de 600, 800 e 1.200 rpm e a segunda com o microtrator em movimento submetidos a três marchas de trabalho (1ª, 2ª e 3ª) a uma rotação de 1.200 rpm em dois tipos de solo (firme e mobilizado). Para realizar as medições, colocou-se o microfone próximo ao ouvido do operador de acordo com a norma NBR 5353 (ABNT, 1999).

3.2.1.1 Nível de ruído com o microtrator parado

A medição do nível de ruído foi realizada a partir da estabilização da rotação do motor, em seguida efetuava-se a leitura. O procedimento foi repetido por

cinco vezes para cada rotação estabelecida considerando o intervalo de medidas, o tempo suficiente para alcançar a rotação desejada e a espera pela estabilização. O dosímetro encontrava-se no bolso da calça do operador, com seu microfone na altura do ouvido do operador (Figura 25). As avaliações foram realizadas conforme metodologia descrita na NBR-9999 (ABNT, 1987a) em que a temperatura ambiente do ensaio deve estar entre -5 e 30°C e a velocidade do vento deve ser inferior a $5,0 \text{ m.s}^{-1}$.

Figura 25 – Momentos das leituras



Fonte: Autora.

Para a análise dos dados considerou-se os níveis de rotação testados como sendo um fator quantitativo, tendo cada um deles cinco repetições. Para se ter conhecimento do efeito da rotação do motor sobre o ruído medido foi necessária a realização de uma regressão linear e a respectiva análise de variância adotando o nível de significância de 5%.

3.2.1.2 Nível de ruído no ouvido do operador com microtrator em movimento

Para avaliar o nível de ruído com o microtrator em movimento as medições foram coletadas num percurso de 30 m na 1^a, 2^a e 3^a marcha de trabalho sob solo de superfície firme e mobilizado.

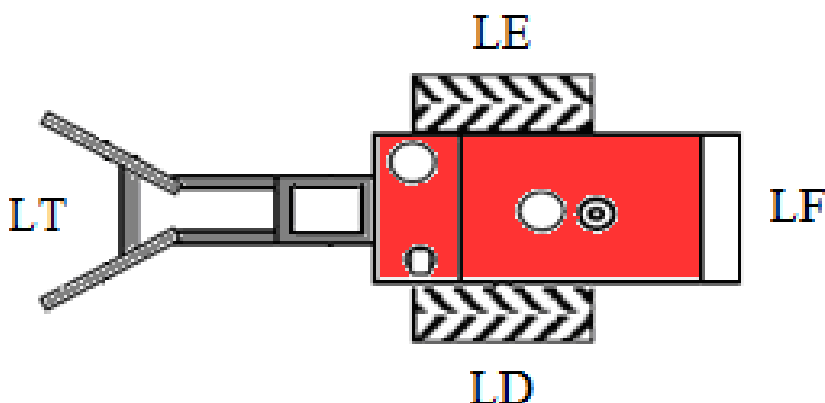
Utilizou-se o esquema fatorial de dois fatores no delineamento inteiramente casualizado (DIC) para a análise dos dados, sendo dois tipos de superfície (solo firme e solo mobilizado) e três marchas de trabalho (1ª, 2ª e 3ª) com três repetições. Quando os dados foram significativos a 5 % de probabilidade no teste de F, aplicou-se o teste Tukey para a comparação das médias.

3.2.2 Nível de ruído em diferentes posições e raios de afastamentos

As avaliações foram realizadas conforme metodologia descrita na NBR-9999 (ABNT, 1987a). Para a medição do nível de ruído foi utilizado um decibelímetro marca Minipa, modelo MSL-1325, nos circuitos de resposta lenta e de equalização “A”, e expresso em dB(A) em diferentes posições e raios de afastamentos.

Para a medição externa o microtrator foi posicionado numa área campal livre de poluições sonoras que pudessem interferir nas medições (Figura 26). As medições da pressão sonora foram realizadas à altura do ouvido do operador, posicionado no assento do microtrator, operando o motor em três rotações: 600, 800 e 1.200 rpm; em quatro posições em relação ao microtrator: lado direito (LD), lado frontal (LF), lado esquerdo (LE) e lado traseiro (LT) e em quatro raios de afastamentos a partir do ouvido do operador: 1, 2, 5 e 10 m. A análise dos dados foi realizada através de uma estatística utilizando o programa Excel, 2010.

Figura 26 – Posição das medições no microtrator



Fonte: Autora.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

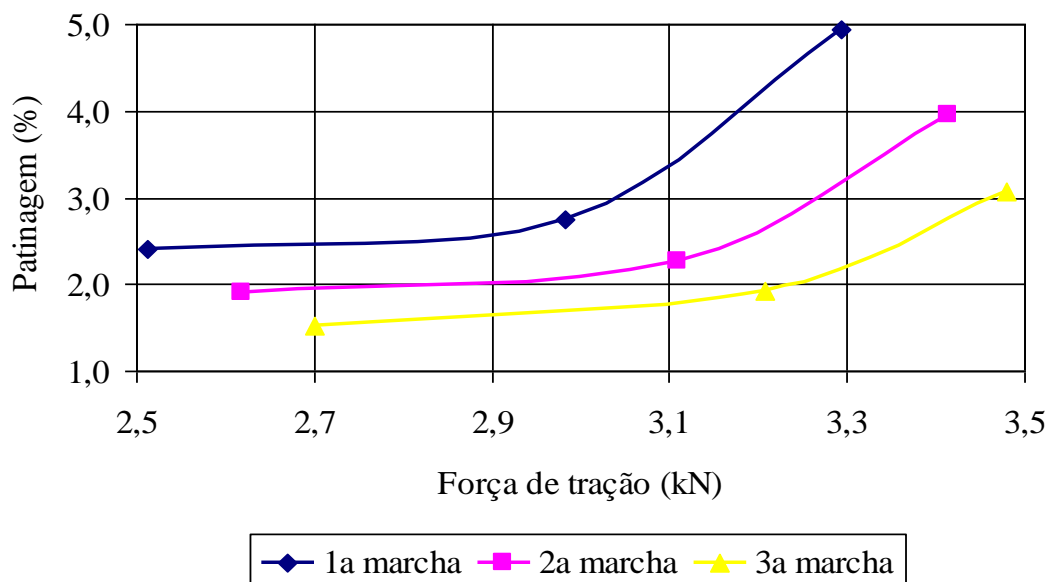
4.1 Eficiência Energética

4.1.1 Patinagem dos rodados

Nas Figuras 27, 28 e 29 encontram-se os gráficos com os valores médios da patinagem dos rodados em função da força de tração na 1ª, 2ª e 3ª marcha com variação das cargas (0, 200 e 400 kg).

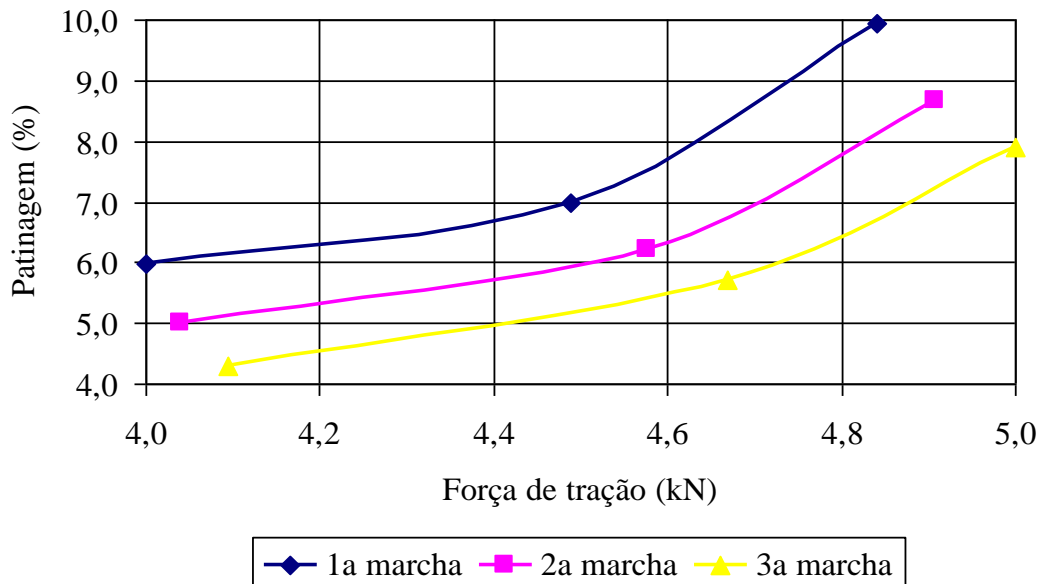
Na pista de asfalto (Figura 27), os valores médios de patinagem foram de 2,4 a 4,9% (1ª marcha), 1,9 a 3,9% (2ª marcha) e de 1,5 a 3,0% (3ª marcha). Os valores médios para a força de tração foram de 2,5 a 3,2 kN, 2,6 a 3,4 kN e de 2,7 a 3,4 kN, respectivamente, na 1ª, 2ª e 3ª marcha. A mudança de marcha proporcionou em menores valores de patinagem e maiores valores de força de tração.

Figura 27 – Patinagem (%) em função da força de tração (kN) para a pista de asfalto



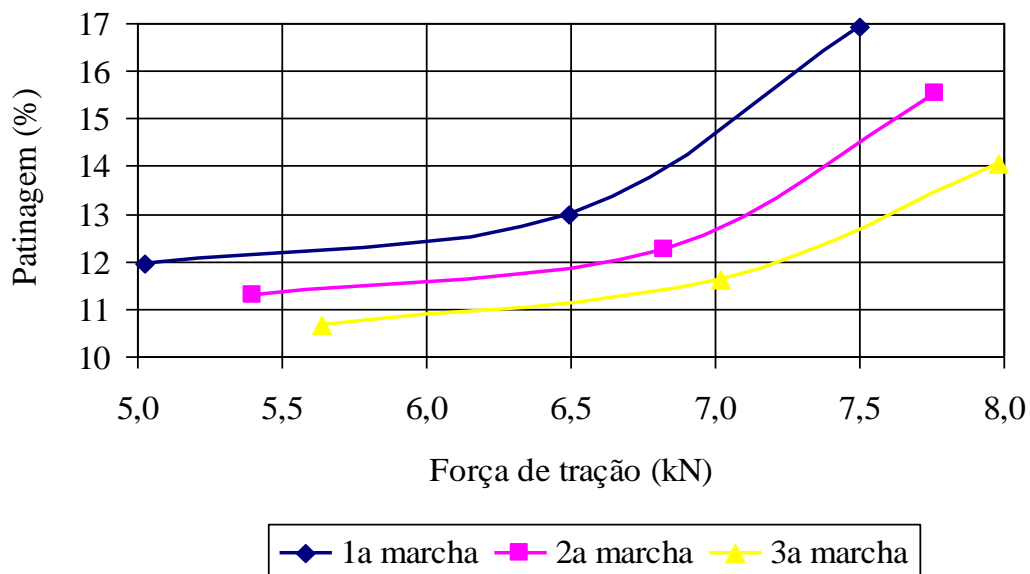
Para o solo firme (Figura 28) houve um aumento no índice de patinagem em relação à pista de asfalto. A patinagem variou de 5,9 a 9,9% (1ª marcha), 5,0 a 8,6% (2ª marcha) e de 4,3 a 7,9% (3ª marcha). A força de tração média foi de 4,0 a 4,8 kN, 4,0 a 4,9 kN e de 4,0 a 5,0 kN, respectivamente, na 1ª, 2ª e 3ª marcha.

Figura 28 – Patinagem dos rodados (%) em função da força de tração (kgf) para o solo firme com cobertura vegetal



No solo mobilizado (Figura 29), os valores médios de patinagem foram de 11,9 a 16,9% (1ª marcha), 11,2 a 15,5% (2ª marcha) e de 10,6 a 14,0% (3ª marcha). A força de tração média variou de 5,0 a 7,5 kN, 5,4 a 7,7 kN e 5,6 a 7,9 kN, respectivamente, na 1ª, 2ª e 3ª marcha.

Figura 29 – Patinagem dos rodados (%) em função da força de tração (kN) para o solo mobilizado



O solo mobilizado apresentou os maiores níveis de patinagem quando comparado ao solo firme com cobertura vegetal e a pista de asfalto. Esses resultados

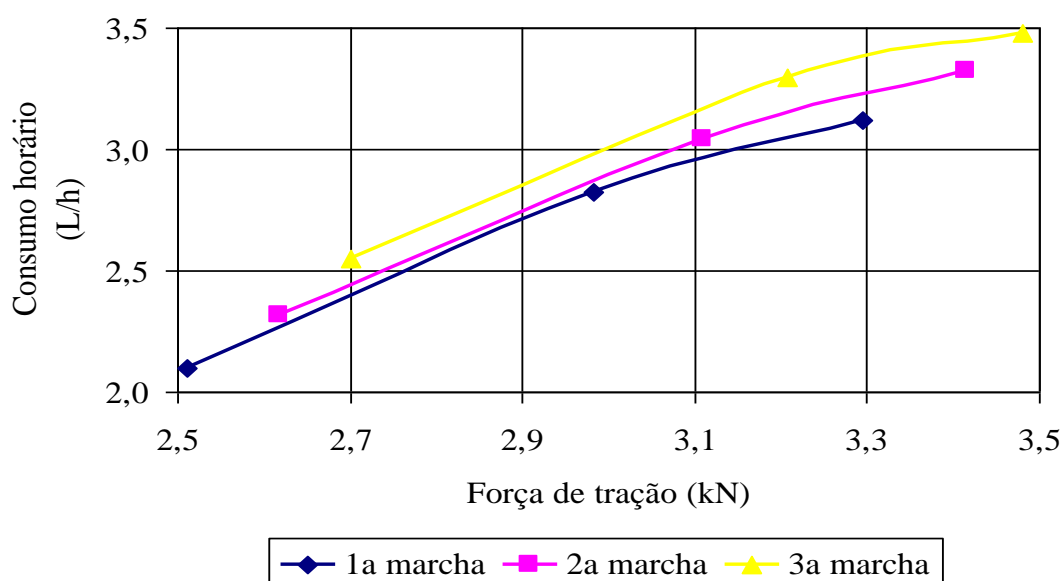
mostram que as condições da superfície do solo podem alterar significativamente o esforço tratório, pois a tração está diretamente relacionada à patinação do trator. Diferentes condições da superfície do solo causam diferentes condições de patinação dos rodados do trator. (MIALHE, 1996; LANÇAS; UPADHYAYA, 1997; HERZOG *et al.*, 2002).

4.1.2 Consumo horário de combustível

Nas Figuras 30, 31 e 32 encontram-se os gráficos com os valores médios do consumo horário de combustível em função da força de tração na 1ª, 2ª e 3ª marcha com variação das cargas (0, 200 e 400 kg). O consumo de combustível tem relação direta com o aumento da força de tração, ou seja, à medida que aumenta a demanda energética, o consumo de combustível aumenta significativamente.

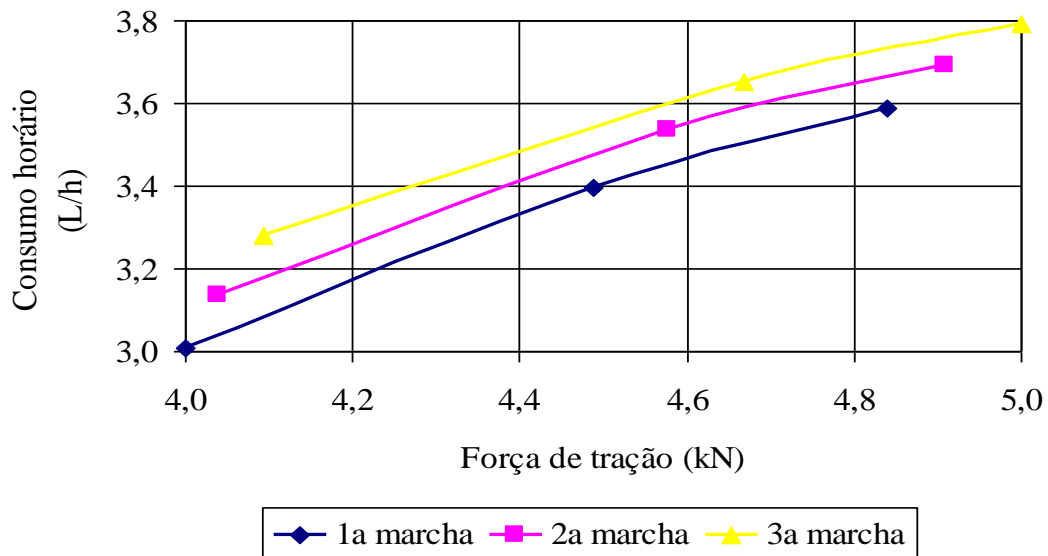
Na pista de asfalto (Figura 30), os valores médios do consumo horário de combustível foram de 2,1 a 3,1 L.h⁻¹ (1ª marcha), 2,3 a 3,3 L.h⁻¹ (2ª marcha) e 2,5 a 3,4 L.h⁻¹ (3ª marcha). Os valores médios para a força de tração foram de 2,5 a 3,2 kN, 2,6 a 3,4 kN e de 2,7 a 3,4 kN, respectivamente, na 1ª, 2ª e 3ª marcha. Os valores médios de consumo horário de combustível foram de 2,6 L.h⁻¹ (1ª marcha), 2,8 L.h⁻¹ (2ª marcha) e de 3,1 L.h⁻¹ (3ª marcha).

Figura 30 – Consumo horário de combustível (L.h⁻¹) em função da força de tração (kN) para a pista de asfalto



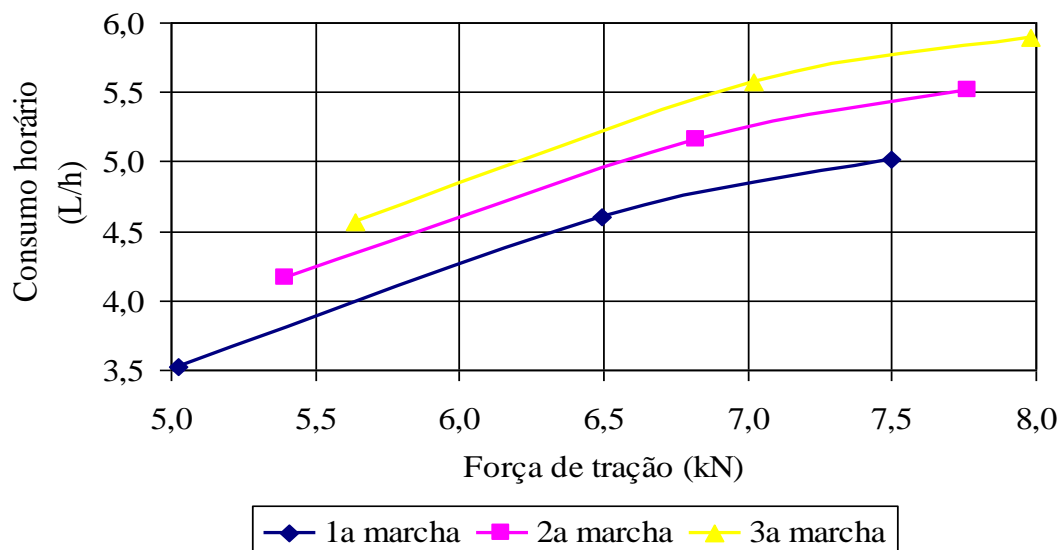
No solo firme com cobertura vegetal (Figura 31), os valores médios do consumo horário de combustível foram de 3,0 a 3,5 L.h⁻¹ (1ª marcha), 3,1 a 3,6 L.h⁻¹ (2ª marcha) e de 3,2 a 3,7 L.h⁻¹ (3ª marcha). A força de tração média foi de 4,0 a 4,8 kN, 4,0 a 4,9 kN e de 4,0 a 5,0 kN, respectivamente, na 1ª, 2ª e 3ª marcha. Os valores médios de consumo horário de combustível foram de 3,3 L.h⁻¹ (1ª marcha), 3,4 L.h⁻¹ (2ª marcha) e de 3,5 L.h⁻¹ (3ª marcha).

Figura 31 – Consumo horário de combustível (L.h⁻¹) em função da força de tração (kN) para o solo firme com cobertura vegetal



No solo mobilizado (Figura 32), os valores médios de consumo horário de combustível foram de 3,5 a 5,0 L.h⁻¹ (1ª marcha), 4,1 a 5,5 L.h⁻¹ (2ª marcha) e de 4,5 a 5,8 L.h⁻¹ (3ª marcha). A força de tração média variou de 5,0 a 7,5 kN, 5,3 a 7,7 kN e 5,6 a 7,9 kN, respectivamente, na 1ª, 2ª e 3ª marcha. Os valores médios de consumo horário de combustível foram de 4,3 L.h⁻¹ (1ª marcha), 4,9 L.h⁻¹ (2ª marcha) e de 5,4 L.h⁻¹ (3ª marcha). A mobilização do solo fez com que o microtrator consumisse mais combustível para manter a rotação do motor nos níveis desejados mostrando que está condição superficial foi responsável pelo menor desempenho do microtrator.

Figura 32 – Consumo horário de combustível ($L \cdot h^{-1}$) em função da força de tração (kN) para o solo mobilizado



Russini (2009) relata que o aumento da força de tração ocasiona um aumento do consumo de combustível. Esse aumento no consumo de combustível ocorre devido à bomba injetora possuir um mecanismo denominado “governador” que aumenta a injeção do combustível para suprir as demandas quando ocorrem sobrecargas momentâneas.

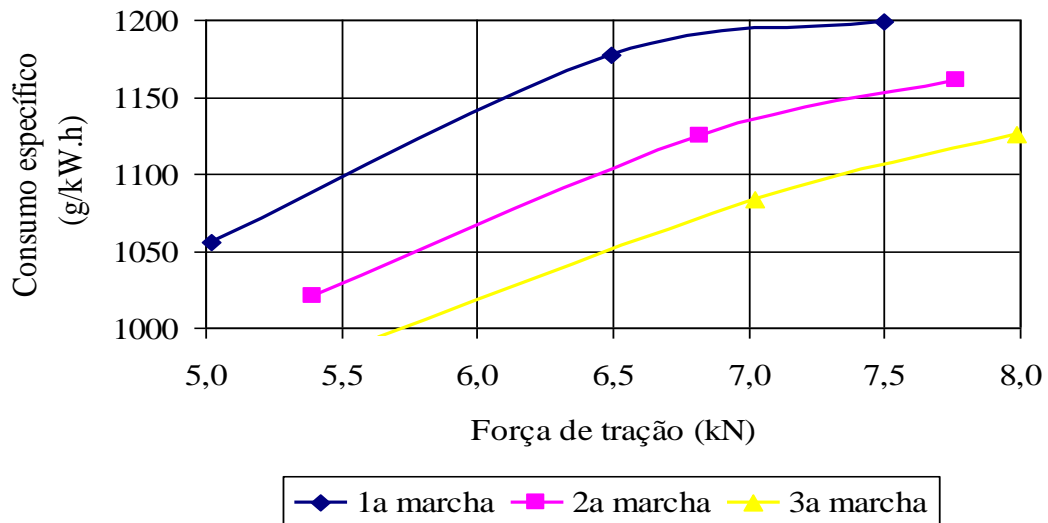
Salvador *et al.* (2009) verificaram que o consumo horário de combustível foi maior na pista com superfície mobilizada e semelhante entre as pistas com cobertura vegetal e superfície firme. Lopes *et al.* (2003) afirmam que o consumo de combustível de tratores agrícolas é influenciado pela lastragem do trator, pela carga imposta na barra de tração, pelo tipo de pneu e pela velocidade de deslocamento.

4.1.3 Consumo específico de combustível

Nas Figuras 33, 34 e 35 encontram-se os gráficos com os valores médios do consumo específico de combustível em função da força de tração na 1ª, 2ª e 3ª marcha com variação das cargas (0 200 e 400 kg).

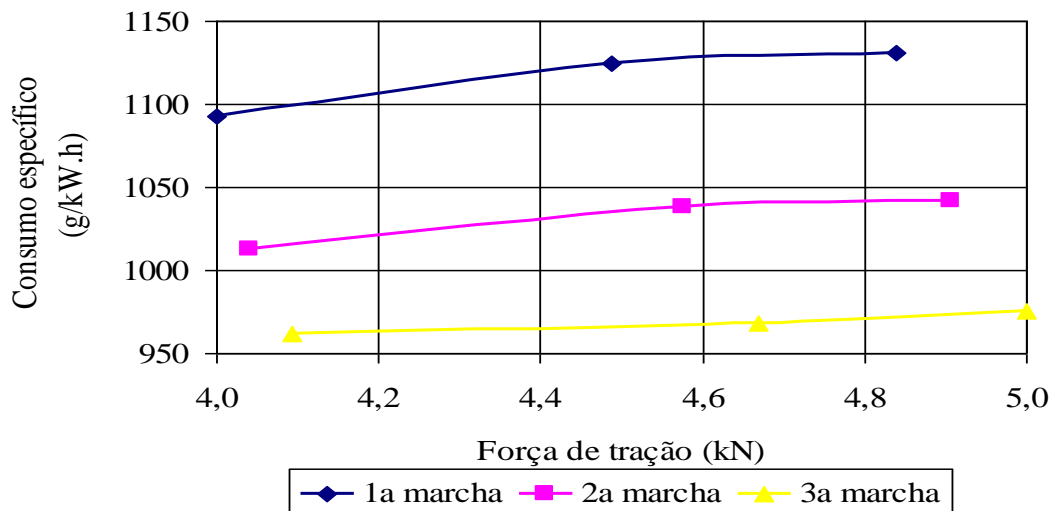
Na pista de asfalto (Figura 33), os valores médios de consumo específico de combustível foram de 1150,4 a 1374,0 $g \cdot kW^{-1} \cdot h^{-1}$ (1ª marcha), 1057,7 a 1261,7 $g \cdot kW^{-1} \cdot h^{-1}$ (2ª marcha) e de 948,2 a 1108,3 $g \cdot kW^{-1} \cdot h^{-1}$ (3ª marcha).

Figura 33 – Consumo específico de combustível ($\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$) em função da força de tração (kN) para a pista de asfalto



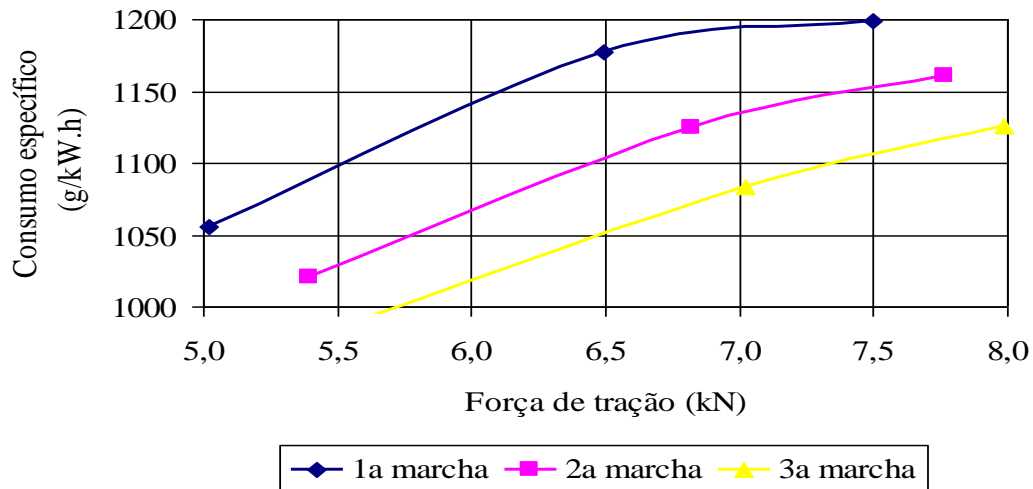
No solo firme com cobertura vegetal (Figura 34), os valores médios de consumo específico de combustível foram de 1092,3 a 1130,8 $\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$ (1ª marcha), 1012,4 a 1025,4 $\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$ (2ª marcha) e de 948,7 a 948,2 $\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$ (3ª marcha).

Figura 34 – Consumo específico de combustível ($\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$) em função da força de tração (kN) para o solo firme com cobertura vegetal



No solo mobilizado (Figura 35), os valores médios de consumo específico de combustível foram de 1055 a 1198,8 $\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$ (1ª marcha), 1020,1 a 1161,3 $\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$ (2ª marcha) e de 993,8 a 1125,3 $\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$ (3ª marcha).

Figura 35 – Consumo específico de combustível ($\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$) em função da força de tração (kN) para o solo mobilizado

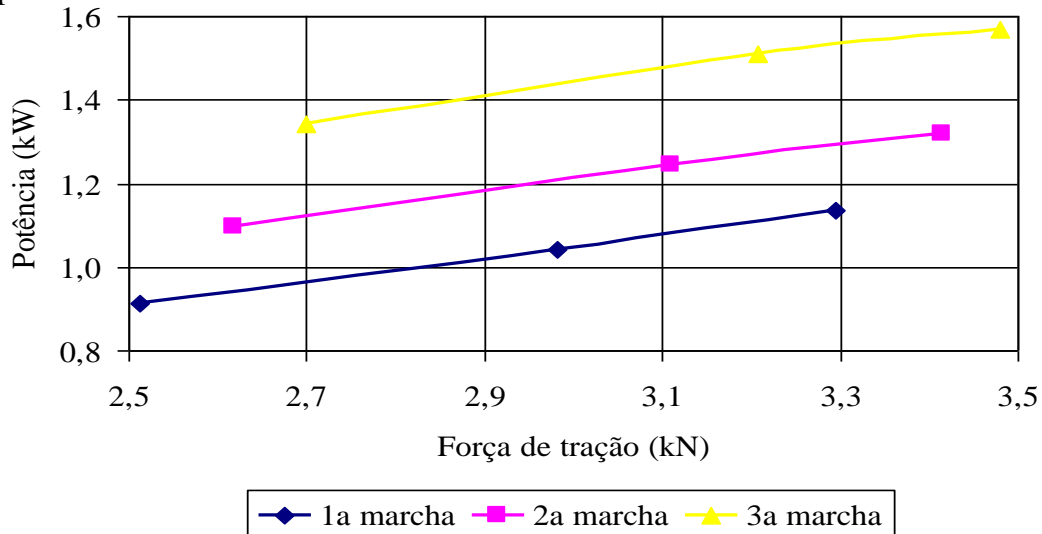


4.1.4 Potência disponível na barra

Nas Figuras 36, 37 e 38 encontram-se os gráficos com os valores médios da potência na barra em função da força de tração na 1ª, 2ª e 3ª marcha com variação das cargas (0, 200 e 400 kg). Em cada marcha de trabalho, à medida que se aumenta a solicitação de força na barra, ocorreu um aumento da potência e isso pode ser verificado para todas as superfícies avaliadas.

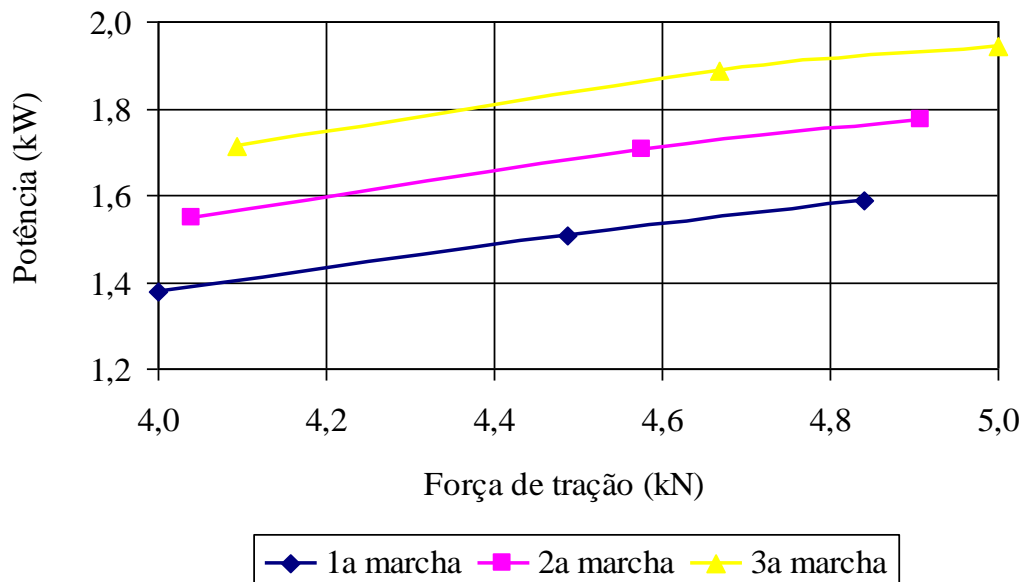
Na pista de asfalto (Figura 36), os valores médios de potência foram de 0,9 a 1,1 kW (1ª marcha), 1,1 a 1,3 kW (2ª marcha) e de 1,3 a 1,5 kW (3ª marcha). Os valores médios para a força de tração foram de 2,5 a 3,2 kN, 2,6 a 3,4 kN e de 2,7 a 3,4 kN, respectivamente, na 1ª, 2ª e 3ª marcha.

Figura 36 – Potência disponível (kW) em função da força de tração (kN) para a pista de asfalto



No solo firme com cobertura vegetal (Figura 37), os valores médios da potência foram de 1,3 a 1,5 kW (1ª marcha), 1,5 a 1,7 cv (2ª marcha) e de 1,7 a 1,9 kW (3ª marcha). A força de tração média foi de 4,0 a 4,8 kN, 4,0 a 4,9 kN e de 4,0 a 5,0 kN, respectivamente, na 1ª, 2ª e 3ª marcha.

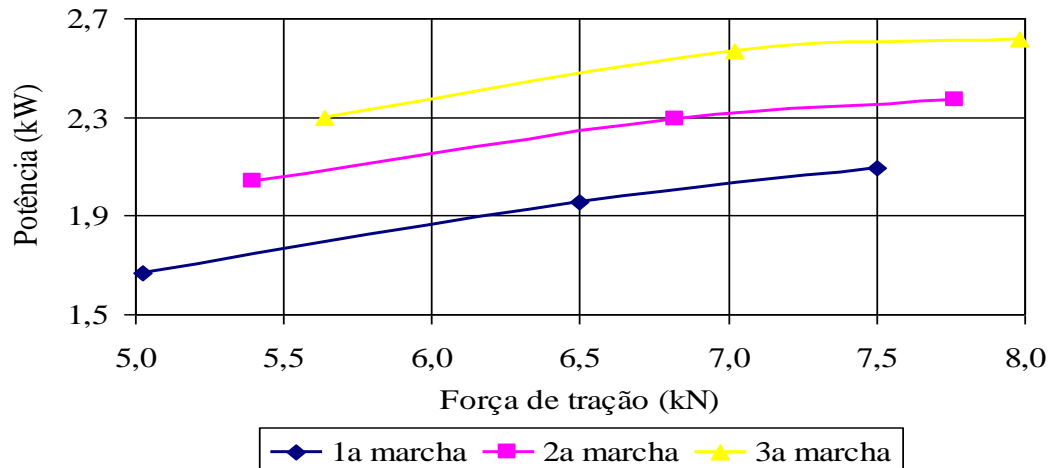
Figura 37 – Potência disponível (kW) em função da força de tração (kN) para o solo firme com cobertura vegetal



No solo mobilizado (Figura 38), os valores médios de potência foram de 1,6 a 2,0 kW (1ª marcha), 2,0 a 2,3 (2ª marcha) e de 2,3 a 2,6 kW (3ª marcha). A

força de tração média variou de 5,0 a 7,5 kN, 5,4 a 7,7 kN e 5,6 a 7,9 kN, respectivamente, na 1ª, 2ª e 3ª marcha.

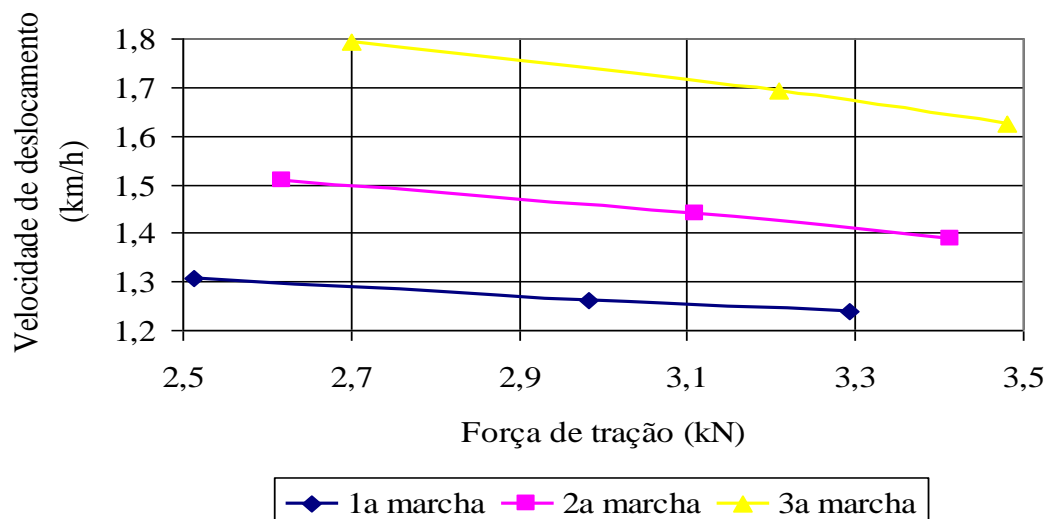
Figura 38 – Potência disponível (kW) em função da força de tração (kN) para o solo mobilizado



4.1.5 Velocidade de deslocamento

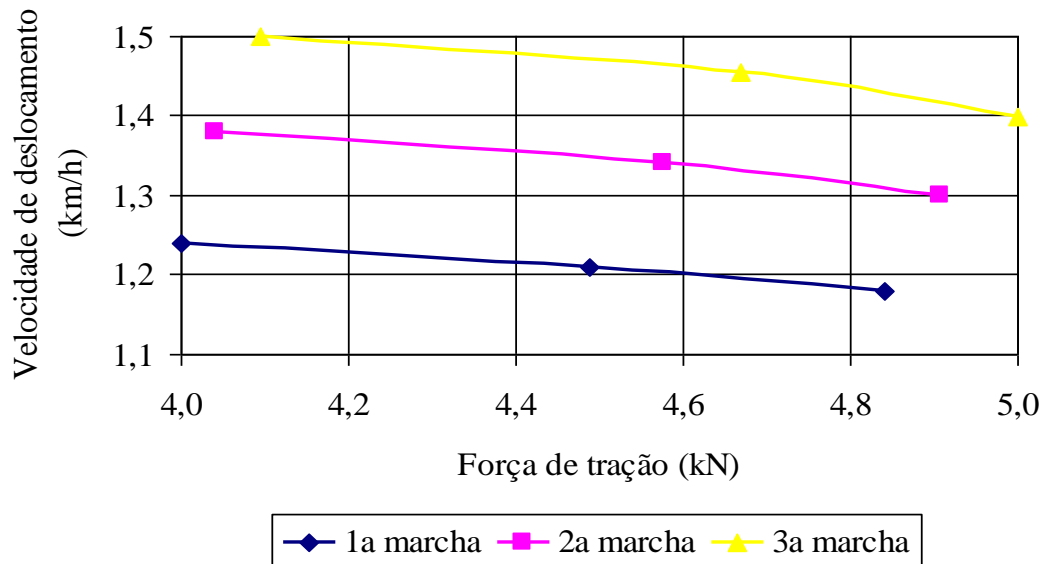
Nas Figuras 39, 40 e 41 encontram-se os gráficos com os valores médios da velocidade de deslocamento em função da força de tração na 1ª, 2ª e 3ª marcha com variação das cargas (0, 200 e 400 kg). Na pista de asfalto (Figura 39), os valores médios de velocidade de deslocamento foram de 1,3 a 1,2 km.h⁻¹ (1ª marcha), 1,5 a 1,3 km.h⁻¹ (2ª marcha) e de 1,7 a 1,6 km.h⁻¹ (3ª marcha).

Figura 39 – Velocidade de deslocamento (km.h⁻¹) em função da força de tração (kN) para a pista de asfalto



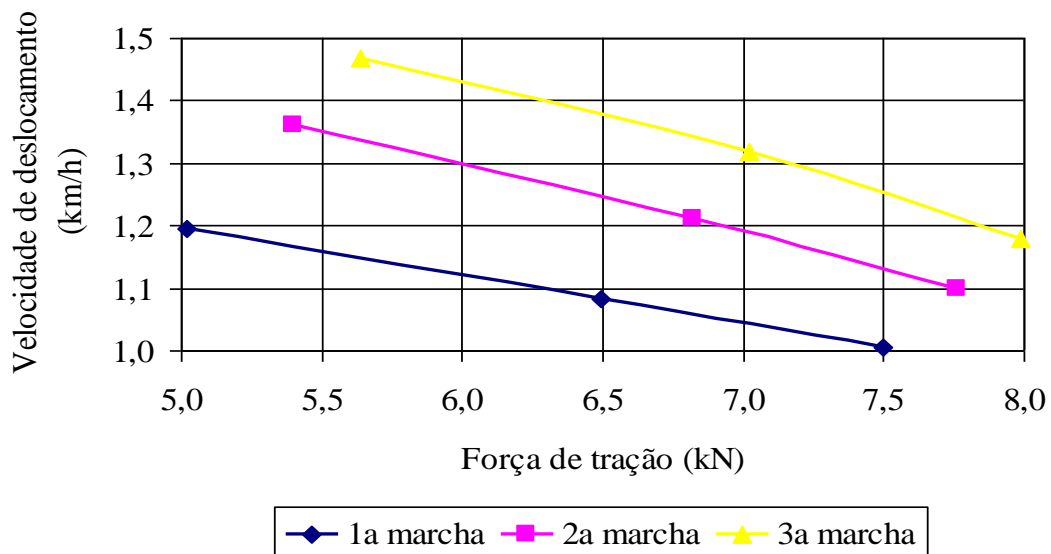
No solo firme com cobertura vegetal (Figura 40), os valores médios de velocidade de deslocamento foram de 1,2 a 1,1 km.h^{-1} (1ª marcha), 1,3 a 1,3 km.h^{-1} (2ª marcha) e de 1,5 a 1,4 km.h^{-1} (3ª marcha).

Figura 40 – Velocidade de deslocamento (km.h^{-1}) em função da força de tração (kN) para o solo firme com cobertura vegetal



No solo mobilizado (Figura 41), os valores médios de velocidade de deslocamento foram de 1,2 a 1,0 km.h^{-1} (1ª marcha), 1,3 a 1,1 km.h^{-1} (2ª marcha) e de 1,4 a 1,1 km.h^{-1} (3ª marcha).

Figura 41 – Velocidade de deslocamento (km.h^{-1}) em função da força de tração (kN) para o solo mobilizado



4.2 Nível de ruído

4.2.1 Nível de ruído medido no ouvido do operador com o microtrator parado

Os níveis de ruído emitidos pelo microtrator parado medidos próximos ao ouvido do operador para cada uma das rotações avaliadas são apresentados na Tabela 3 através da estatística descritiva dos dados. Observa-se um aumento no nível de ruído com um incremento da rotação.

Tabela 3 – Resumo da estatística descritiva dos níveis de ruído (dB(A)) emitidos pelo microtrator próximo ao ouvido do operador nas rotações de 600, 800 e 1200 rpm

Repetição	Rotação (rpm)		
	600	800	1200
1	80,5	85,3	89,1
2	81,4	84,1	89,8
3	81,2	84,2	89,2
4	82,6	86,4	88,1
5	81,3	84,3	88,3
Média (dB(A))	81,4	84,8	88,9
DP (dB(A))	0,76	0,99	0,70
CV(%)	0,93	1,16	0,78

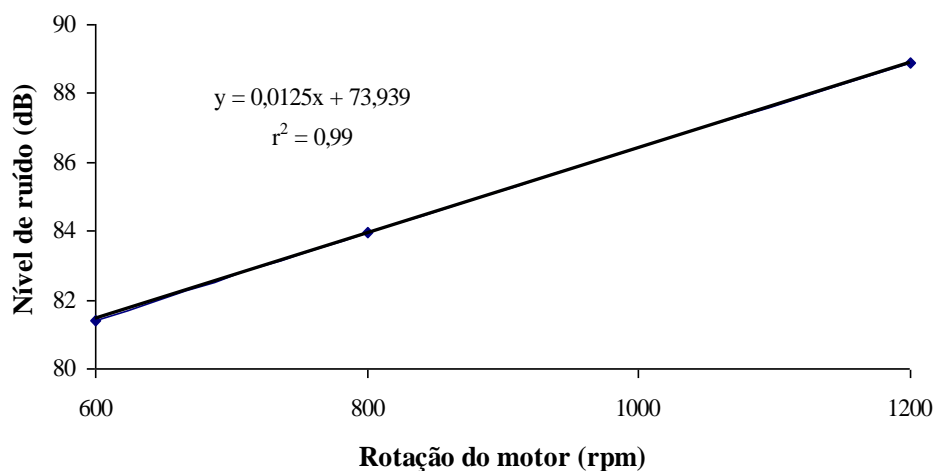
DP : desvio padrão

CV: coeficiente de variação.

O resultado gráfico da análise de regressão linear e equação do ajuste da reta são apresentados na Figura 42. A análise de variância da regressão demonstrou que houve efeito significativo na rotação do motor sobre o nível de ruído emitido ao operador. À medida que a rotação aumenta há um aumento no nível de ruído. O coeficiente de correlação entre os dados e a reta ajustada foi de 0,99.

Silveira, Tieppo e Gabriel Filho (2008), avaliaram os níveis de ruídos emitidos por um trator agrícola na operação de preparo mínimo em função do escalonamento de marchas e rotação do motor e constataram os níveis de ruídos aumentam em função da rotação do motor.

Figura 42 – Resultado da análise de regressão linear e equação de ajuste dos níveis de ruído do microtrator a diferentes rotações



A Tabela 4 indica o nível de ruído observado e o tempo máximo de exposição do operador em cada uma das rotações avaliadas, segundo a NR 15 (ANEXO A) que apresenta os valores de máxima exposição diária para ruídos contínuos ou flutuantes. Na tabela 4 é possível observar que o microtrator trabalhando na rotação de 1.200 rpm não oferece condições seguras à saúde do operador se utilizado por longos períodos de tempo, apenas na rotação de 600 e 800 rpm seria possível operar durante a jornada normal de oito horas de trabalho sem que houvesse prejuízo à audição.

Tabela 4 - Nível de ruído observado e o tempo máximo de exposição diário do operador em cada uma das rotações avaliadas

Rotação do motor (rpm)	Nível de Ruído observado (dB)	Tempo máximo de exposição (h)
600	-	-
800	84,8	8
1.200	88,9	5

A presença de ruído ao longo da jornada de trabalho pode lesionar o sistema auditivo do trabalhador e causar gradativamente a perda da audição. (TELES, 2009). Além da perda da audição o aumento dos níveis de pressão sonora pode trazer distúrbios, como: irritação, cansaço e transtornos do sono. (SILVA, 2002). Ainda assim pode ocorrer um aumento do tempo de resposta a estímulos e perda da atenção ocasionando um aumento no número de acidentes no ambiente de

trabalho e diminuição da produtividade. (MEDEIROS, 1999; NORONHA; TRAVAGLIA FILHO; GARAVELLI, 2005).

4.2.2 Nível de ruído com o microtrator em movimento

Verifica-se que não ocorreu efeito significativo da interação entre superfície do solo (firme e mobilizado) e marchas de trabalho para o nível de ruído (Tabela 5). De acordo com a norma da ABNT (1987a) as duas superfícies do solo apresentaram índices elevados de pressão sonora, sendo que, o solo mobilizado apresentou o maior nível de ruído. Analisando o fator marcha os maiores índices de ruído foi obtidos com as maiores velocidades.

Tabela 5 – Síntese da análise de variância dos valores médios do nível de ruído (dB(A)) em função das superfícies do solo e marchas de trabalho

Fatores	Nível de Ruído (dB(A))
Superfície do solo (S)	
Firme	89,5
Mobilizado	91,2
Marcha (M)	
M1	87,3 b
M2	91,4 a
M3	92,1 a
Teste F	
S	3,78 ns
M	17,11 **
S x M	0,60 ns
CV (%)	1,12

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, e média desacompanhada de letra implica interação entre os fatores ns - não significativo ($p > 0,05$),

* significativo ($p < 0,05$),

** significativo ($p < 0,01$),

CV - Coeficiente de variação.

Tosin *et al.* (2009) realizaram um experimento com dois tratores para as condições de pistas (asfalto, concreto e solo firme) com quatro pressões de inflação dos pneus dos tratores e três marchas de operação. Os mesmos observaram que o nível de pressão sonora gerada pelo trator não foi influenciado pelo tipo de solo, pressão de inflação dos pneus agrícolas e velocidade média.

Arcoverde *et al.* (2011) realizaram um experimento em duas pistas de ensaio (solo preparado e solo coberto por plantas daninhas) e cinco velocidades de deslocamento (0,83, 1,39, 2,42, 2,97 e 3,61 m.s⁻¹) e observaram que as marchas de menores velocidades apresentaram níveis de ruído maiores quando o trator trafegou sobre solo coberto.

Baesso *et al.* (2008) observaram que o nível de ruído próximo ao ouvido do operador na jornada de trabalho é um dos fatores que devem ser avaliados com o uso intenso de máquinas. Os autores ainda ressaltaram que pessoas expostas a 82, 85, 88 ou 92 dB(A), em uma jornada diária de trabalho, perdem 2, 5, 10 ou 20% da audição, respectivamente.

4.2.3 Nível de ruído em diferentes posições e raios de afastamentos

Nas Tabelas 6, 7 e 8 estão as médias dos níveis de ruído externos com o microtrator parado nas rotações de 600, 800 e 1.200 rpm emitidos a 1, 2, 5 e 10 m de distância. Observa-se que o nível de ruído aumenta com um incremento da rotação do motor e diminui à medida que o raio de afastamento aumenta. Isso pôde ser observado para as três rotações avaliadas. Os níveis de pressão sonora emitidos entre os raios de afastamentos são distintos.

Tabela 6 – Resumo da estatística descritiva dos níveis de ruído (dB(A)) emitidos pelo microtrator em diferentes posições e raios de afastamentos na rotação de 600 rpm

Posição	Raio de Afastamento (m)			
	1	2	5	10
LD	81,2	76,5	70,9	64,6
LE	81,9	78,9	71,3	68,3
LF	79,4	75,2	74,2	68,4
LT	79,1	73,1	69,8	61,9
Média (dB(A))	80,4	75,9	71,6	65,8
DP (dB(A))	1,36	2,43	1,88	3,14
CV (%)	1,70	3,20	2,62	4,78

DP: desvio padrão,

CV: coeficiente de variação.

Tabela 7 – Resumo da estatística descritiva dos níveis de ruído (dB(A)) emitidos pelo microtrator em diferentes posições e raios de afastamentos na rotação de 800 rpm

Posição	Raios de Afastamento (m)			
	1	2	5	10
LD	82,3	80,9	77,6	69,2
LE	82,9	81,4	78,2	73,3
LF	81,7	79,8	75,9	68,4
LT	81,3	78,2	67,8	64,6
Média (dB(A))	82,05	80,1	74,9	68,8
DP (dB(A))	0,70	1,42	4,82	3,57
CV (%)	0,85	1,77	6,43	5,18

DP: desvio padrão,

CV: coeficiente de variação.

Tabela 8 – Resumo da estatística descritiva dos níveis de ruído (dB(A)) emitidos pelo microtrator em diferentes posições e raios de afastamentos na rotação de 1200 rpm

Posição	Raios de Afastamentos (m)			
	1	2	5	10
LD	85,4	81,3	77,8	71,3
LE	87,8	82,5	78,2	79,2
LF	87,2	82,1	74,4	69,8
LT	85,6	81,9	73,8	66,4
Média (dB(A))	86,8	82,0	76,1	71,68
DP (dB(A))	1,25	0,50	2,27	5,42
CV (%)	1,44	0,61	2,99	7,56

DP: desvio padrão,

CV: coeficiente de variação.

O maior nível de ruído foi obtido na rotação de 1.200 rpm a 1 m de distância (86,8 dB(A)), os demais valores encontram-se abaixo de 85 dB(A) e estão de acordo com o que é estabelecido pela norma NB 95 (ABNT, 1987b). Observa-se também que o nível de pressão sonora foi maior no lado esquerdo e frontal do microtrator em todas as rotações justificado pelo fato de ser o local onde se encontra o escapamento e sistema de transmissão composto por correias e polia do motor.

Ruas *et al.* (2011) analisaram o efeito da rotação sobre as posições de medição e observaram que as maiores intensidades de ruídos ocorreu quando se aumentou a rotação. Os mesmos autores observaram que ocorre emissão de menor pressão sonora na parte de trás e que o som se propaga com maior intensidade para frente e lado esquerdo do microtrator.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos a partir da avaliação dos parâmetros analisados neste trabalho permitem concluir que:

O solo mobilizado comparado ao solo firme e a pista de asfalto apresentou os maiores índices de patinagem, consumo horário de combustível e potência disponível sendo responsável pelo menor desempenho do microtrator.

Os maiores valores de patinagem foram obtidos com o microtrator na 1ª marcha com variação de carga de 400 kg. No solo mobilizado a patinagem foi de 17,8%, no solo firme (10%) e na pista de asfalto (4,9%).

O nível de pressão sonora medido com o microtrator parado próximo ao ouvido do operador foi elevado quando se utiliza rotações maiores, diminuindo com o aumento do raio de afastamento.

Os níveis de ruído próximos ao operador em condições de campo foram de 89,5 e 91,2 dB(A), respectivamente, para o solo firme e mobilizado, valores superiores aos estabelecidos pela norma para uma exposição máxima de 8 horas diárias sem o uso do protetor auricular.

Recomenda-se o uso de protetores auriculares para os operadores de máquinas e auxiliares de campo quando estiver trabalhando com microtratores até um raio de afastamento de 1 m quando se utiliza rotações maiores.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9999**: Medição do nível de ruído, no posto de operação de tratores e máquinas agrícolas. Rio de Janeiro, 1987a. 21 p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 1052 (NB 95)**: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987b. 4 p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM-ISO 5353**: Máquinas rodoviárias, tratores e máquinas agrícolas e florestais: ponto de referência do assento. Rio de Janeiro, 1999. 5 p.
- ALMEIDA, D. S.; ILGNER, N. O.; RUSSO, S. **Determinação e Análise dos Níveis Sonoros nos Habitáculos de Colhedoras Agrícolas**. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, 2001.
- ANFAVEA – Associação Nacional dos fabricantes de veículos Automotores. 2011. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/Index.html>> Acesso em: 25 fev. 2011.
- ANTUNIASSI, U. R.; FIGUEIREDO, Z. N.; GADANHA JUNIOR, C. D. Avaliação de sensores de velocidade em função do tipo de superfície e direção de deslocamento do trator. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 21, n. 1, p. 74-81, 2001.
- ARCOVERDE, S. N. S.; CORTEZ, J. W.; PITANGA JÚNIOR, C. O.; NAGAHAMA, H. J. Nível de ruído emitido por conjuntos mecanizados em função da velocidade e da condição do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 3, p. 514-520, 2011.
- ASABE. American Society of Agricultural and Biological Engineers. ASAE EP496.3 Agricultural Machinery Management. In: ASABE Standards 2006. St. Joseph, 2006, p.385-390.
- BAESSO, M. M.; TEIXEIRA, M. M.; RODRIGUES JUNIOR, F. A.; MAGNO JUNIOR, R. G.; FERNANDES, H. C. Avaliação do nível de ruído assistência de ar. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 4, p. 400-407, 2008.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Atividade e operações insalubres. **NR 15**. Disponível em: <http://www.mtb.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2011.
- CORDEIRO Marcelo Andrade de Lemos. **Desempenho de um trator agrícola em função do pneu, da lastragem e da velocidade de deslocamento**. 2000. 153 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

CORREA, I. M.; YANAI, K.; MAZIERO, J. V. G.; LANÇAS, K. P. Determinação da circunferência de rolamento de pneus agrícolas utilizando dois métodos: manual e eletrônico. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 179-184, 1999.

DELMOND, J. G., REIS, E. F. dos. Avaliação de níveis de ruído emitidos por tratores em diferentes operações agrícolas. **In: IV Seminário de Iniciação Científica. UEG.** p. 7-12. 2006. Disponível em: <http://www.prp.ueg.br/06v1/ctd/pesq/inic_cien/eventos/sic2006/arquivos/agrarias/avaliacao_niveis.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2012.

DEWANGAN, K. N.; PRASANNA-KUMAR, G. V.; TEWARI, V. K. Noise characteristics of tractors and health effect on farmers. **Applied Acoustics**, London, v. 66, n. 9, p. 1049-1062, 2005.

DEWANGAN, K. N.; TEWARI, V. K. Characteristics of vibration transmission in the hand–arm system and subjective response during field operation of a hand tractor. **Biosystems Engineering**, n. 4, v. 100, p. 535-546, 2008.

DEWANGAN, K. N.; TEWARI, V. K. Characteristics of hand-transmitted vibration of a hand tractor used in three operational modes. **International Journal of Industrial Ergonomics**, n. 39, p. 239–245, 2009.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPq, 1997. 212 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.e d. rev. atual. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FERNANDES, João Candido. **Avaliação dos Níveis de Ruído em tratores agrícolas e seus efeitos sobre o operador**. 1991. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1991.

FERNANDES, H. C.; LOPES, S. E.; TEIXEIRA, M. M.; MINETTE, L. J.; RINALDI, P. C. N. Desenvolvimento de dispositivo eletrônico para marcação automática do ponto de traçamento da madeira por uma garra traçadora. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 19 n. 6, p. 536-540, 2011.

FERREIRA, M. F.; NEUJAHN, E. B.; SCHLOSSER, J. F.; SCHNEIDER, V. Relação cinemática em um trator 4 x2 com tração dianteira auxiliar equipado com pneus radiais na eficiência de tração. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 983-986, 2000.

GABRIEL FILHO, A. SILVA, S. L.; MODOLO, A. J.; DYKSTRA, M. Desempenho operacional de trator em solo com três tipos de cobertura vegetal. **In:**

CONGRESSO BRASILEIRO ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002. Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. p. 1-4.

GABRIEL FILHO, A.; Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p.781-789, 2004.

GABRIEL FILHO, A.; LANÇAS, K. P.; LEITE, F. ACOSTA, J. J. B.; JESUÍNO, P. R. Desempenho de 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.

GARCIA, R. F.; QUEIROZ, D. M. de; MIYAGAKI, O. H.; PINTO, F. A. C. Programa computacional para aquisição de dados para avaliação de máquinas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p.375-381, 2003.

GARCIA, R. F.; QUEIROZ, D. M.; FERNANDES, H. C.; PETERNELLI, L. A. Desempenho operacional de conjunto trator–recolhedora de feijão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 199-206, 2005. CD-Rom.

GOLVERK, A. A. Mathematical calculation of the performance map of internal combustion engine. SAE paper 920683. Warrendale, SAE, 1992. 5 p.

GRISSE, R. D.; KOCHER, M. F.; VAUGHAN, D. H. Predicting tractor fuel consumption. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 20, n. 5 p.553-561, 2004.

HANSON P. A. M.; LINDGREN, M.; NORDIN M.; PETERSSON, M. A methodology for measuring the effects of transient loads on the fuel efficiency of agricultural tractors. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 19, n.3, p. 251-257, 2003.

HBM – Hottinger Baldwin Messtechnik . 2010. Disponível em: <http://www.hbm.com>. Acesso em: 25 jan. 2012.

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.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário Brasileiro. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=al&tema=censoagro>>. Acesso em: 20 fev. 2011.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. 2009. Disponível em: <<http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo5/>>. Acesso em: 25 mar. 2011.

ISO - INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **Norma ISO 5131:** acoustics - tractors and machinery for agriculture and forestry - measurement of noise at the operator's position. St. Joseph, 1982. 8 p.

JENANE, C., BASHFORD, L. L., MONROE, G. Reduction of fuel consumption through improved tractive performance. **Journal of Agricultural Engineering Research**. Edição 64, p. 131 – 138, 1996.

KAHIL, M. A.; GAMERO, C. A. Níveis de ruído: Avaliação ergonômica de alguns tratores e equipamentos agrícolas. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 12, n. 3, p. 46-53, 1997.

KROEMER, K. H. E.; GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia:** adaptando o trabalho ao homem. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LANÇAS, K. P., UPADHYAYA, S. K. Pneus radiais para tratores. Guia para a seleção correta da pressão de inflação. **Energia na Agricultura**, Botucatu, 1997. 33 p. Boletim Técnico nº 1.

LILJEDAHL, J. B. P. K.; TURNQUIST, D. W.; SMITH. **Tractors and their Power units**, Fourth Edition, An AVI Book, 1989. 463p.

LOPES, A.; LANÇAS, K. P.; FURLANI, C. E. A.; NAGAOKA, A. K.; CASTRO NETO, P.; GROTTA, 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. 375-379, 2003.

MACHADO, A. L. T.; REIS, Â. V. dos.; MACHADO, R. L. M. **Tratores para agricultura familiar:** Guia de referência. Ed. Universitária. UFPEL, 2010, 126 p.

MAHL, Denise. **Desempenho de semeadora em função de mecanismo de corte, velocidade e solos, no sistema plantio direto do milho.** 2006, 143 p. Tese (Doutorado), Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

MANTOVANI, E. C.; LEPLATOIS, M.; INMASSU, Y. Automação do processo de avaliação do desempenho de tratores e implementos em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 7, p. 1241-1246, 1999.

MATTHEW, E. Two-wheel tractors: Road safety issues in Laos and Cambodia. **Safety Science**, n. 48, v. 5, p. 537–543, 2010.

MAZETTO, Flávio Rielli. **Avaliação dos desempenhos operacional e energético e da ergonomia de colhedoras de soja (*Glycine max (L.) Merril*) no sistema de plantio direto.** 2008. 104 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2008.

MDA – Ministério de Desenvolvimento Agrário. **Terra da gente**, n. 6, Julho, 2009. Disponível

em:<<http://www.sistemas.mda.gov.br/portal/index/download/index/codAnexo/22081>
> Acesso em: 25 mar. 2011.

MEDEIROS, L. B. **Ruído, efeitos extra-auditivo no corpo humano**. Centro de especialização em fonoaudiologia clínica, CEFAC. Porto Alegre, 1999.

MIALHE, L. G. **Máquinas Motoras na Agricultura**. Piracicaba, SP: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1980. 360 p.

MIALHE, L. G. Máquinas Agrícolas – **Ensaio e Certificação**. Piracicaba: Fundação de estudos agrários Luiz de Queiroz, 1996, 723 p.

NAGASAKI, Y.; NONAKA, M.; KAWASHIMA, H. Development of electric motor-driven monorail systems for agrochemical application in sloping greenhouses. St. Joseph: **ASAE**, 1999. 9p. Paper No. 994169.

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.

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.

NORONHA, E. H.; TRAVAGLIA FILHO, U. J.; GARAVELLI, S. L. Quantificação dos níveis de ruídos num estande de tiros da PM do Distrito Federal. **Humanitates**, Brasília, DF, v. 1, n. 3, 2005. Disponível em:<<http://www.humanitates.ucb.br/3/ruído.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2012.

OVAL CORPORATION. K& K DO BRASIL. **Manual do produto e instalação**. São Paulo, 2010.

RODRIGUES, D. E.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; MODOLO, A. J.; RODRIGUES, G. J. Desempenho de um microtrator utilizando-se motores com diferentes alternativas energéticas. **Acta Science Technology**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 55-63, 2006.

RUAS, R. A. A.; MACHADO, L. G.; CAIXETA, L. F.; DEZORDI, L. R.; RUAS, S. R. C. Determinação do raio de afastamento seguro de acordo com a pressão sonora produzida por um micro-trator. **Global Science and Technology**, v. 4, n. 1, p.124-130, 2011.

RUSSINI, Alexandre. **Projeto, construção e teste de instrumentação eletrônica para avaliação do desempenho de tratores agrícolas**. 2009. 142 p. Dissertação em Mecanização Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2009.

SANTOS, Paula Machado dos. **Modelagem do desempenho em tração de conjuntos mecanizados visando ao dimensionamento do trator**. 2010. 154 p. Tese em Mecanização Agrícola. Universidade Federal de Santa Maria (UFMS,RS), 2010.

SCHLOSSER, José Fernando. **Influncia del avance cinemático de las ruedas delanteras motoras en la eficiencia en tracción de los tractores agrícolas**. Madrid: España, 1996. 234p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Ingeniería Rural, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, 1996.

SCHLOSSER, José Fernando. Tratores agrícolas. **Máquinas**. Edição especial. p. 3-10. 2001.

SCHLOSSER, J. F. LINARES, P.; MARQUEZ, L. Influence of the kinematics advance on the traction efficiency of the front wheel assist tractor. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1801-1805, 2004.

SIEMENS, J. C; BOWERS. W. W. Machinery management: how to select machinery to fit the real needs of farm managers. Farm Business Management (FMB) series, East Moline: John Deere Publishing, 1999. 5p.

SILVA, A. P. da.; KAY, B. D. The sensitivity of shoot growth of corn to the least limiting water range of soils. **Plant and Soil**, v. 184, n. 2, p. 323-329, 1996.

SILVA, S. L.; BENEZ, S. H. Construção de um sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e equipamentos agrícolas em ensaios de campo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 12, n. 3, p. 10-18, 1997.

SILVA, S. L.; RICIERI, R. P.; PEREIRA, J. O.; BENEZ, S. H. Sistemas de aquisição de dados para ensaios de campo: comparação da força de tração média obtida com micrologger 21x e milivoltímetro na operação de escarificação. In: IV CONGRESSO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, Chillán. **Anales...** Chillán: 2001.

SILVA, Luiz Felipe. **Estudo sobre a exposição combinada entre ruído e vibração de corpo inteiro e os efeitos na audição dos trabalhadores**. 2002. 182 p. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SILVA, R. P.; FONTANA, G.; LOPES, A.; FURLANI, C. E. A. Avaliação do nível de ruído em colhedoras combinadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 381-387, 2004.

SILVEIRA, Gastão Moraes da. **Os cuidados com o trator**. Rio de Janeiro: Editora Globo, 1987. 245 p.

SILVEIRA J. C. M.; FERNANDES, H. C.; RINALDI, P. C. N.; MODO, A. J. Níveis de ruído em função do raio de afastamento emitido por diferentes

equipamentos em uma oficina agrícola. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 15, n. 1, p. 66-74, 2007.

SILVEIRA, G. M. da; SIERRA, J. G.; ORTIZ-CAÑAVATE, J. Classificação dos tratores agrícolas de pneus em função de sua eficiência energética. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 2, p. 208-214, 2008.

SILVEIRA, J. C. M.; TIEPPO, R. C.; GABRIEL FILHO, A. nível de ruído emitido por um conjunto motomecanizado na operação de preparo mínimo do solo. **Global Science and Technology**, v. 1, n. 8, p. 60- 70, 2008.

SILVEIRA, G. M. da.; SIERRA, J. G. Eficiência energética de tratores agrícolas fabricados no Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 418–424, 2010.

SOUZA, L. H.; FERNANDES, H.C.; VITÓRIA, E. L. Avaliação dos níveis de ruído emitidos por diferentes conjuntos mecanizados. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 28, n. 105/106, p. 21-30, 2004.

TELES, Carina José Caíres Filgueira. **Avaliação do grau de conhecimento dos médicos dentistas em relação à aplicação da ergonomia na medicina dentária**. 2009. 148p. Monografia – Medicina dentária, Universidade Fernando Pessoa: Porto, 2009.

TOSIN, R. C.; LANÇAS, K. P.; ARAUJO, J. A. B. Avaliação do ruído no posto de trabalho em dois tratores agrícolas. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 24, n. 4, p. 108-118, 2009.

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. 1427-1434, 1999.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Estatística descritiva de velocidade (km.h^{-1}), patinagem (%), consumo horário de combustível (L.h^{-1}), consumo específico de combustível (g/kW.h), força de tração (kN) e potência (kW) para a pista de asfalto

Marcha	Velocidade	Patinagem	Consumo horário	Consumo específico	Força	Potência
	(km/h)	(%)	(L/h)	(g/kW.h)	(kN)	(kW)
1ª	1,31	2,40	2,10	1150,44	2,51	0,91
1a(200kg)	1,26	2,75	2,82	1352,88	2,98	1,04
1a(400kg)	1,24	4,94	3,12	1374,05	3,29	1,13
2ª	1,51	1,91	2,32	1057,77	2,62	1,10
2a(200kg)	1,44	2,26	3,04	1221,46	3,11	1,24
2a(400kg)	1,39	3,95	3,32	1261,73	3,41	1,32
3ª	1,79	1,53	2,55	948,29	2,70	1,34
3a(200kg)	1,69	1,93	3,29	1091,70	3,21	1,51
3a(400kg)	1,62	3,08	3,48	1108,37	3,48	1,57
Média	1,47	2,75	2,89	1174,08	3,04	1,24
DP	0,19	1,03	0,45	132,52	0,33	0,20
CV (%)	12,59	37,51	15,64	11,29	11,02	16,45

APÊNDICE B – Estatística descritiva de velocidade (km.h^{-1}), patinagem (%), consumo horário de combustível (L.h^{-1}), consumo específico de combustível (g/kW.h), força de tração (kN) e potência (kW) para o solo firme com cobertura vegetal

Marcha	Velocidade	Patinagem	Consumo horário	Consumo específico	Força	Potência
	(km/h)	(%)	(L/h)	g/kW.h	(kN)	(kW)
1ª	1,24	5,97	3,01	1092,34	4,01	1,38
1a(200kg)	1,21	7,01	3,394	1124,98	4,48	1,51
1a(400kg)	1,18	9,94	3,588	1130,83	4,84	1,59
2ª	1,38	5,02	3,136	1012,48	4,04	1,55
2a(200kg)	1,34	6,22	3,536	1037,99	4,57	1,70
2a(400kg)	1,3	8,67	3,692	1041,56	4,90	1,77
3ª	1,5	4,31	3,28	961,41	4,09	1,71
3a(200kg)	1,46	5,71	3,652	967,85	4,66	1,89
3a(400kg)	1,4	7,92	3,793	975,34	5,01	1,94
Média	1,33	6,75	3,45	1038,31	4,51	1,67
DP	0,10	1,71	0,25	61,92	0,36	0,17
CV (%)	7,81	25,33	7,27	5,96	8,06	10,34

APÊNDICE C – Estatística descritiva de velocidade (km.h^{-1}), patinagem (%), consumo horário de combustível (L.h^{-1}), consumo específico de combustível (g/kW.h), força de tração (kN) e potência (kW) para o solo mobilizado

Marcha	Velocidade	Patinagem	Consumo horário	Consumo específico	Força	Potência
	(km/h)	(%)	(L/h)	(g/kW.h)	(kN)	(kW)
1a	1,20	11,95	3,52	1055,77	5,02	1,67
1a(200kg)	1,08	13,00	4,60	1177,31	6,49	1,95
1a(400kg)	1,01	16,93	5,02	1198,81	7,50	2,09
2a	1,36	11,29	4,16	1020,17	5,40	2,04
2a(200kg)	1,21	12,25	5,16	1124,26	6,82	2,29
2a(400kg)	1,10	15,53	5,51	1161,30	7,76	2,37
3a	1,47	10,66	4,57	993,89	5,64	2,30
3a(200kg)	1,32	11,62	5,57	1083,46	7,02	2,57
3a(400kg)	1,18	14,05	5,89	1125,34	7,98	2,62
Média	1,21	13,03	4,89	1104,48	6,63	2,21
DP	0,14	1,97	0,71	67,01	1,01	0,29
CV (%)	11,39	15,11	14,52	6,07	15,24	12,97

ANEXOS

ANEXO A - Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente

NÍVEL DE RUÍDO DB (A)	MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Fonte: NR-15