

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM
EQUIPAMENTO PARA ENSAIO DINÂMICO DE RODADO
AGRÍCOLA INDIVIDUAL**

ALBERTO KAZUSHI NAGAOKA
Engenheiro Agrícola

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para a obtenção do título de Doutor em Agronomia – Programa de Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP

Fevereiro - 2001

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM
EQUIPAMENTO PARA ENSAIO DINÂMICO DE RODADO
AGRÍCOLA INDIVIDUAL**

ALBERTO KAZUSHI NAGAOKA

Orientador: Prof. Dr. Kléber Pereira Lanaças

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para a obtenção do título de Doutor em Agronomia – Programa de Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP

Fevereiro - 2001

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E
TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO
SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - FCA
UNESP - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Nagaoka, Alberto Kazushi
N147d Desenvolvimento e avaliação do desempenho de um
equipamento para ensaio dinâmico de rodado agrícola in-
dividual / Alberto Kazushi Nagaoka. -- Botucatu, 2001
xviii, 206 f. : il. color. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2001
Orientador: Kléber Pereira Lanças
Bibliografia: f. 137-148

1. Pneu - Ensaio dinâmico individual 2. Pneu - De-
sempenho 3. Pneu - Equipamento 4. Rodado agrícola -
Ensaio I. Título

Palavras-chave: Pneu agrícola; Ensaio dinâmico individual; Ro-
dado agrícola; Desempenho de pneu; Equipamento
de ensaio de pneu

À DEUS

Aos meus pais e irmãos

À minha esposa: Marilda

Aos meus amigos

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA-UNESP), campus de Botucatu e a Coordenadoria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Energia na Agricultura, pela vaga concedida, apoio e atenção durante o curso de Doutorado, em especial aos Professores Doutores: Sérgio Hugo Benez (Vice-Coordenador do Curso), Carlos Antônio Gamero (Vice-Diretor da FCA) e Odivaldo José Seraphim (Chefe do Departamento de Engenharia Rural), pelos conselhos e sugestões.

Ao Professor Doutor Kléber Pereira Lanças, do Departamento de Engenharia Rural da FCA-UNESP, pela orientação segura, atenção, dedicação, compreensão, sinceridade, amizade em todas as fases do curso, pelo espaço do Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrícolas-NEMPA, laboratórios e pelos funcionários e estagiários cedidos.

Ao Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV/UEDESC), Campus de Lages - SC, em especial aos Profs. Ademir José Mondadori (Diretor Geral), Antônio Pereira de Souza (Diretor Assistente de Pesquisa e Extensão), Claudete Schrage Nuenberg (Diretora Assistente de Ensino), Antonio Waldemir Leopoldino da Silva (Pró-Reitor de Ensino) e Luis Sangoi (procurador) pelo incentivo e apoio para cursar o Doutorado.

Ao Departamento de Engenharia Rural do CAV/UEDESC em nome do seu Chefe Prof. Valter Antonio Becegato e a todos os colegas deste Departamento pela oportunidade e aprovação do meu afastamento para a realização do Curso de Doutorado.

Ao PICDT/CAPES, pelo fornecimento da Bolsa de Doutorado, a qual permitiu a manutenção e finalização deste trabalho.

À FAPESP, pelo suporte financeiro concedido para a aquisição de material e montagem do equipamento de pesquisa.

Às empresas Trelleborg, Goodyear e Massey Ferguson, pelo fornecimento de pneus e caixa de câmbio para construção e ensaio do equipamento.

Aos Professores Doutores: Ulisses Rocha Antuniassi, Marco Antônio Biaggioni, e Adriano Wagner Ballarin, pelas sugestões, apoio técnico e laboratórios cedidos.

Aos Professores: Eros Gomide de Alvarenga (UFLA), Fábio Samir Castro Simão (UFLA), Dr. Peter John Martyn (UFV), Dr. Haroldo Carlos Fernandes (UFV) e Afonso Peche Filho (Pesquisador/CMAA), pela consideração e incentivo na minha carreira profissional.

Aos colegas contemporâneos: Afonso Lopes, Suedêmio de Lima Santos, Célia Regina Grego, Zulema Netto Figueiredo, Casimiro Dias Gadanha Júnior, Carlos Antônio dos Santos, Maria Aparecida Kahil, Renato Lara de Assis, Renildo Luiz Mion, Hener Coelho, Antonio Renan B. da Silva, Edson Tanaka, Marco Gandolfo, pelo incentivo, convivência, apoio técnico, e em especial Pedro Castro Neto (UFLA) pela consideração, ajuda, amizade, críticas e sugestões.

Aos alunos do curso de graduação, Saulo Philipe Guerra, Edilene Marlei Costa, Flávio Rielli Mazzeto, Luiz Gabriel Ferraz, Luiz Henrique Furlan, Gustavo de Godoy, pela convivência, incentivo e pelos trabalhos executados no campo, no laboratório e na oficina, e em especial ao aluno de Engenharia Mecânica - UNESP/Bauru, Kléber José Guerreiro Lanças, pela filmagem e fotografias do experimento.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Rural, Benedito Fernando Camargo, Silvio Sabatini Scolastici, Maury Torres da Silva, Ailton de Lima Lucas, Gilberto Winkler, Maria do Carmo Fernandes D'Áuria, Rosângela Cristina Moreci, Rita de Cássia Miranda Araújo, pela atenção, amizade e serviços prestados.

Ao torneiro mecânico Benedito Fernando Cardoso, às empresas USI-TESE e Usinagem Vidotto, pelos serviços prestados na construção do equipamento.

Aos Funcionários da Unesp de Botucatu: Claudir B. Siqueira, Jair Contessot Júnior pelo apoio na construção e instrumentação do equipamento, e em especial Antônio Ribeiro da Cunha pelo apoio técnico na programação do Micrologger.

Ao supervisor das Fazendas de Ensino, Pesquisa e Extensão Prof. Dr. Afonso M. de Carvalho, aos Téc. Agrícolas Marcos J. Gonçalves e Mário O. Munhoz e Acássio Tavares pelo auxílio técnico e agilidade no atendimento.

Às secretárias da Seção de Pós-Graduação da Faculdade de Agronomia da UNESP, em Botucatu, Marilena do Carmo Santos, Marlene Rezende de Freitas e Jaqueline de Moura Gonçalves, pela atenção e atendimento preciso.

Às funcionárias da Biblioteca Prof. Paulo Carvalho de Mattos, Maria Inês Andrade e Cruz, Hellen Sayuri Sato e Célia Regina Inoue, pelas correções bibliográficas.

Aos estagiários Rodrigo Stringheta de Souza e Rodrigo Correia Barbosa pela ajuda.

Enfim, a todas as pessoas e instituições que, de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
1 RESUMO.....	01
2 SUMMARY.....	03
3 INTRODUÇÃO	05
4 REVISÃO DE LITERATURA..	07
4.1 Máquinas agrícolas.....	07
4.2 Compactação do solo.....	08
4.3 Resistência do solo à penetração.....	12
4.4 Pneus agrícolas.....	15
4.5 Patinagem.....	21
4.6 Raio e circunferência de rolamento.....	23
4.7 Resistência ao rolamento.....	23
4.8 Tração.....	26
4.8.1 Coeficiente de tração.....	27
4.8.2 Eficiência tratória.....	27
4.9 Consumo horário de combustível.....	28
4.10 Torque.....	30
4.11 Lastragem e pressão de inflação.....	31
4.12 Equipamentos para ensaio de pneus.....	33
4.13 Projeto e instrumentação de máquinas.....	36
5. MATERIAL E MÉTODOS	43
5.1 Material.....	43
5.1.1 Projeto de construção do equipamento.....	43
5.1.2 Área experimental.....	43
5.1.3 Trator utilizado para acionamento do equipamento.....	45

5.1.4 Pneus.....	46
5.1.5 Combustível.....	49
5.1.6 Sistema de aquisição de dados ("Micrologger").....	50
5.1.7 Painéis.....	51
5.1.8 Célula de carga.....	52
5.1.9 Torciômetro (transdutor de torque).....	53
5.1.10 Tacômetro (sensor ótico de rotação).....	55
5.1.11 Geradores de pulsos.....	55
5.1.12 Sensor de velocidade por radar.....	55
5.1.13 Sensor de temperatura.....	56
5.1.14 Fluxômetro.....	57
5.1.15 Balança eletrônica.....	57
5.1.16 Penetrômetro hidráulico-eletrônico.....	58
5.1.17 Materiais utilizados na construção do equipamento.....	59
5.2 Métodos.....	59
5.2.1 Dimensionamento dos órgãos e elementos de máquinas.....	59
5.2.1.1 Relação de transmissão (RT).....	60
5.2.2 Adequação ergonômica.....	61
5.2.3 Sistema de aquisição de dados ("Micrologger").....	62
5.2.4 Calibração dos sensores em laboratório.....	62
5.2.4.1 Célula de carga (Newton).....	62
5.2.4.2 Torciômetro (torque).....	63
5.2.4.3 Tacômetro (rpm).....	63
5.2.4.4 Geradores de pulsos (rpm).....	63
5.2.4.5 Radar (km/h).....	63

5.2.4.6 Sensor de temperatura.....	64
5.2.4.7 Fluxômetro (consumo de combustível).....	64
5.2.5 Carga sobre o rodado motriz.....	65
5.2.6 Avaliações do desempenho do pneu.....	65
5.2.6.1 Tração líquida.....	65
5.2.6.2 Torque na roda.....	65
5.2.6.3 Patinagem.....	66
5.2.6.4 Raio de rolamento.....	66
5.2.6.5 Resistência ao rolamento.....	67
5.2.6.6 Coeficiente de tração.....	67
5.2.6.7 Eficiência tratória.....	68
5.2.7 Ensaio piloto.....	68
5.2.8 Ensaios realizados no campo para avaliação do equipamento.....	69
5.2.9 Experimento realizado na pista de ensaio do NEMPA.....	69
5.2.10 Análise estatística.....	70
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
6.1 Projeto e construção do equipamento.....	72
6.1.1 Chassi.....	73
6.1.2 Adequação ergonômica.....	77
6.1.3 Desenho técnico do projeto.....	79
6.2 Construção do equipamento.....	83
6.3 Detalhes da instrumentação do equipamento.....	85
6.4 Detalhes do equipamento.....	87
6.5 Calibração dos sensores.....	92
6.5.1 Calibração da célula de carga.....	93

6.5.2 Calibração do torciômetro.....	94
6.5.3 Calibração do tacômetro.....	95
6.5.4 Calibração do gerador de pulsos.....	97
6.5.5 Calibração do radar.....	99
6.5.6 Calibração do termopar.....	101
6.5.7 Calibração do fluxômetro (consumo).....	102
6.6 Ensaio piloto.....	103
6.6.1 Programa utilizado no "Micrologger" e forma de transferência no computador.....	108
6.6.2 Análise dos dados coletados no ensaio piloto.....	109
6.7 Ensaio realizados com o equipamento no campo.....	112
6.7.1 Ensaio realizados no campo.....	112
6.7.2 Experimento.....	118
6.7.2.1 Desempenho dinâmico do pneu.....	120
6.7.2.2 Avaliação da resistência do solo à penetração.....	126
7 CONCLUSÕES.....	135
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	137
APÊNDICES	149

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1 Penetrômetro normalizado pela AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (1999b).....	13
2 Classificação de pneus de tração para tratores agrícolas, segundo Associação Brasileira de Pneus e Aros (1994).....	16
3 Parâmetro do elemento de tração.....	24
4 Dimensões para avaliação ergonômica.....	41
5 Características técnicas do trator utilizado.....	45
6 Características técnicas dos pneus utilizados na calibração e avaliação do equipamento.....	47
7 Características técnicas dos pneus utilizados no experimento com o equipamento.....	49
8 Características técnicas do "Micrologger" (Fonte: Catálogo do fabricante).....	50
9 Principais características da célula de carga (Fonte: Catálogo do fabricante4).....	52
10 Principais características do torciômetro.....	54
11 Principais características do gerador de pulsos.....	55
12 Principais características do radar (Fonte: Catálogo do fabricante).....	56
13 Principais características do sensor de temperatura.....	56
14 Principais características do fluxômetro.....	57
15 Principais características da balança eletrônica.....	57
16 Principais materiais utilizados na construção do equipamento.....	59
17 Diagrama de velocidades do equipamento para diâmetro do pneu de 2 m e 540 rpm na TDP.....	73
18 Diagrama de velocidades do equipamento para diâmetro do pneu de 2 m e 1000 rpm na TDP.....	73
19 Especificações do rolamento calculado para as rodas dentadas e mancais das vigas..	75

20	Fatores de conversão para cada variável em função da frequência de aquisição.....	107
21	Influência do comprimento da parcela na aquisição de dados.....	109
22	Influência da frequência de aquisição nos dados.....	110
23	Perda de sustentação (N) do sistema hidráulico de levantamento do equipamento.....	111
24	Escalonamento de velocidades do equipamento para duas rotações da TDP com pneu BPAF2 em pista asfáltica.....	111
25	Patinagens resultantes das principais combinações de velocidades do trator e do equipamento utilizando pneu BPAF-2 em solo compactado.....	117
26	Resultado da análise de variância (quadrado médio) referente a força (FL), torque (Tt), rotação (nt), velocidade do radar (vr), consumo horário de combustível (CH) e consumo específico (CE), em dois tipos de pneus (Pn): radial e diagonal, submetidos a quatro cargas (C): 10.000 N, 13.000 N, 16.000 N e 19.000 N.....	120
27	Média dos valores de força (FL), torque (Tt), rotação (nt), velocidade (vr), consumo horário (CH) e consumo específico (CE) da utilização de dois tipos de pneus (Pn): radial e diagonal, submetidos a diferentes níveis de cargas (C): 10.000 N, 13.000 N, 16.000 N e 19.000 N.....	121
28	Interação entre os fatores carga no pneu e tipo de pneu para as variáveis força líquida(FL), torque (Tt) e velocidade do radar (vr)l.....	122
29	Resultado da análise de variância (quadrado médio) referente ao raio de rolamento (Rr), torque na roda (Tr), patinagem (p), resistência ao rolamento (RR), coeficiente de tração líquida (CTL), coeficiente de tração bruta (CTB) e eficiência tratória (ET), em dois tipos de pneus (Pn): radial e diagonal, submetidos a quatro cargas (C): 10.000 N, 13.000 N, 16.000 N e 19.000 N.....	123
30	Resultado da análise de variância (quadrado médio) referente ao raio de rolamento (Rr), torque na roda (Tr), patinagem(p), resistência ao rolamento (RR), coeficiente de tração líquida (CTL), coeficiente de tração bruta (CTB) e eficiência tratória (ET), em dois tipos de pneus, submetidos a quatro cargas.....	124

31	Interação entre os fatores pneu e carga no pneu para as variáveis torque na roda(Tr), patinagem (p), resistência ao rolamento (RR), coeficiente de tração líquida (CTL) e coeficiente de tração bruta (CTB).....	125
32	Resultado da análise de variância (quadrado médio) referente ao índice de cone antes do tráfego dos pneus (carga =0 kgf) em três áreas, nas profundidades de 0 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm, 20 cm a 30 cm, 30 cm a 40 cm.....	126
33	Resultado da análise de variância (quadrado médio) referente ao índice de cone com dois tipos de pneus (radial e diagonal), submetidos a cinco cargas: 0 N, 10.000 N, 13.000 N, 16.000 N e 19.000 N, nas profundidades de 0 cm a 10 cm, 10cm a 20 cm, 20cm a 30 cm e 30 cm a 40 cm.....	127
34	Média dos valores de índice de cone nas profundidades de 0 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm, 20cm a 30 cm e 30 cm a 40 cm, de pneus submetidos a cinco níveis de cargas(C): 10.000 N, 13.000 N, 16.000 N e 19.000 N.....	128
35	Resultado do desdobramento da análise de variância (quadrado médio) referente ao índice de cone em cinco camadas (de 0 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm, 20cm a 30 cm e 30 cm a 40 cm) com dois tipos de pneus.....	130
36	Média dos valores de índice de cone nas profundidades resultantes da interação entre camadas do solo (0 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm, 20cm a 30 cm e 30 cm a 40 cm) e tipo de pneu (radial e diagonal).....	131
37	Resultado do desdobramento da análise de variância (quadrado médio) referente ao índice de cone em cinco camadas (0 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm, 20cm a 30 cm e 30 cm a 40 cm) para cinco cargas no pneu (0 N, 10.000 N, 13.000 N, 16.000 N e 19.000 N).....	131
38	Médias dos valores de índice de cone resultante da interação entre camadas do solo (0 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm, 20cm a 30 cm e 30 cm a 40 cm) e carga aplicada no pneu (0 N, 10.000 N, 13.000 N, 16.000 N e 19.000 N).....	132

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Gráfico da pressão versus profundidade obtido num ensaio de resistência à penetração do solo, utilizando o penetrógrafo SC-60.....	13
2 Partes constituintes do pneu. Fonte: Um Pneu (1991).....	16
3 Forças agindo em um rodado rebocado (Fonte: Koolen e Kuipers citados por Gadanha Júnior (1993)).....	25
4 As fases de um projeto de engenharia mecânica, segundo Shigley, (1984).....	38
5 Localização de comandos (dimensões do assento em milímetros) Fonte Norma ISO 4253.....	42
6 Localização de comandos (planta). Fonte Norma ISO 4253.....	42
7 Vista aérea da pista utilizada para ensaio do equipamento.....	44
8 Vista parcial da pista utilizado para ensaio do equipamento.....	44
9 Trator utilizado na calibração e ensaio do equipamento.....	46
10 Vista frontal (a esquerda) e vista lateral (a direita) do pneu BPAF1 (dianteiro) e BPAF2 (traseiro) utilizados nos ensaios do equipamento.....	47
11 Vista frontal do pneu radial (a) e do pneu diagonal (b), utilizados no experimento....	48
12 Vista lateral do pneu radial (a) e do pneu diagonal (b), utilizados no experimento....	48
13 Sistema de aquisição de dados ("Micrologger") utilizado no equipamento.....	50
14 Painel 1 (em cima) e painel 2 (em baixo) utilizado nas calibrações dos sensores.....	51
15 Prensa hidráulica utilizada na calibração da célula de carga do equipamento.....	53
16 Penetrômetro hidráulico-eletrônico utilizado no experimento para avaliar a compactação do solo.....	58
17 Diagrama da área experimental com as parcelas da resistência do solo à penetração antes do tráfego e após o tráfego dos pneus.....	71
18 Localização dos componentes estruturais do equipamento.....	74
19 Detalhe A com vista do perfil da viga e mancal da viga.....	75

20	Vista em lateral do sistema de engate do equipamento no trator.....	76
21	Localização, número de dentes das engrenagens e correntes de transmissão na entrada da caixa de marchas.....	76
22	Vista geral da localização do assento e comandos (dimensões do assento em milímetros).....	77
23	Vista lateral da localização do assento e comandos (dimensões do assento em milímetros).....	78
24	Vista superior do equipamento com pneu para ensaio.....	80
25	Vista em corte AB da Figura anterior e detalhe do sistema de levantamento do equipamento.....	81
26	Vista superior com detalhes da instrumentação do equipamento.....	82
27	Vista lateral (a) e frontal (b) da construção dos quadros interno e externo do equipamento.....	83
28	Vista traseira da montagem dos quadros internos e externos (a) e vista dianteira superior (b) do equipamento com os pontos de acoplamento.....	83
29	Vista geral do equipamento com as rodas de levantamento em fase de construção....	84
30	Vista do equipamento durante e após a colocação de pneu	84
31	Equipamento acoplado ao trator após a pintura.....	85
32	Localização da célula de carga de 50 kN entre os quadros interno e externo.....	85
33	Localização do tacômetro e do torciômetro no sistema de transmissão do equipamento.....	86
34	Instalação do medidor de temperatura e consumo de combustível no sistema de alimentação do trator.....	86
35	Instalação do gerador de pulsos na roda do equipamento.....	86
36	Instalação do radar no equipamento.....	87
37	Checagem da instrumentação do equipamento.....	87

38	Detalhes da transmissão intermediária por corôa e pinhão entre a TDP e a caixa de marchas.....	88
39	Detalhes da transmissão intermediária por corôa e pinhão entre o torciômetro e caixa de marchas.....	88
40	Mancais de rolamento sobre as vigas laterais do equipamento para movimentação do quadro interno em relação ao externo.....	89
41	Vista superior do Microlloger, assento do operador e alavanca de mudança de marchas.....	89
42	Levantamento em nível para transporte, testes da transmissão e/ou sensores e posicionamento para pesagem na balança.....	90
43	Posição abaixado com parte do peso no hidráulico do trator, no pneu individual e nas rodas de suspensão traseira, utilizada no controle da carga vertical durante o ensaio.....	90
44	Posição da carga vertical máxima no rodado individual, com uma parte do peso apoiada no sistema hidráulico do trator e o restante no pneu.....	91
45	Levantamento dianteiro pelo sistema hidráulico do trator para eventual checagem do sistema de levantamento.....	91
46	Levantamento das rodas de suspensão traseira pelo sistema hidráulico para eventual verificação do sistema de levantamento do equipamento.....	92
47	Calibração da célula de carga para obtenção do fator de conversão do "Micrologger".....	93
48	Calibração do torciômetro para obtenção do fator de conversão do "Micrologger"....	94
49	Sistema utilizado na calibração do torciômetro.....	95
50	Calibração do tacômetro digital em 10 voltas da TDP.....	95
51	Calibração do tacômetro com auxílio de uma furadeira elétrica.....	96
52	Calibração do gerador de pulsos das rodas do equipamento, roda traseira e dianteira do trator em superfície rígida.....	97

53	Calibração do gerador de pulsos das rodas do equipamento, roda traseira e dianteira do trator em solo.....	98
54	Calibração do radar em superfície rígida para obter o fator de conversão do "Microloger".....	99
55	Calibração do radar em solo para obter o fator de conversão do "Microloger".....	100
56	Calibração do sensor de temperatura.....	101
57	Calibração do sensor de temperatura utilizando água como fonte de calor.....	101
58	Calibração do fluxômetro para obter o fator de conversão do "Microloger".....	102
59	Calibração do fluxômetro utilizando uma proveta.....	103
60	Equipamento fazendo testes preliminares em superfície rígida e solo firme.....	103
61	Colocação de lastros no rodado motriz para ensaio do equipamento.....	104
62	Nivelamento e instalação da balança para medição da carga vertical no rodado.....	104
63	Pesagem da carga vertical no rodado do equipamento.....	104
64	Seleção da velocidade do equipamento para ensaios preliminares na pista de ensaio.	105
65	Ensaio piloto em superfície rígida com pneu BPAF-1.....	105
66	Ensaio piloto em superfície rígida com pneu BPAF-2.....	105
67	Equipamento realizando ensaio piloto em solo descoberto com pneu BPAF-1.....	106
68	Ensaio piloto em solo descoberto com pneu BPAF-2.....	106
69	Ensaio piloto em solo coberto com palha e pneu BPAF-2.....	107
70	Fluxograma simplificado do programa para o sistema de aquisição de dados.....	108
71	Comportamento dos dados ao longo da parcela de 50m.....	109
72	Comportamento do pneu BPAF-2 na pista de ensaio sobre solo descoberto.....	113
73	Comportamento do pneu BPAF-2 com e sem cobertura do solo.....	113
74	Rastro deixado pelo equipamento com patinagem alta (pneu BPAF- 2).....	114
75	Rastro deixado pelo equipamento com patinagem baixa (pneu BPAF- 2).....	114
76	Rastro deixado pelo equipamento em superfície coberta.....	114

77	Obtenção do raio de rolamento do pneu BPAF-2 para diversas patinagens com carga fixa de 24.000 N.....	115
78	Obtenção do Raio de rolamento do pneu BPAF-2 para cargas de 5.000 N e 24.000 N.....	115
79	Comportamento do pneu BPAF-1 com carga fixada no rodado de 15.000 N para: marcha M1 (A2x222), M2 (B1x312), com pressão de 103 kPa (15 psi) e M3 (C1x312) com pressão de 69 kPa (10 psi).....	116
80	Valores obtidos com o equipamento utilizando pneu BPAF2 com pressão fixa de 138 kPa (20 psi) sob dois níveis de cargas.....	117
81	Efeito dinâmico do pneu BPAF2, com pressão fixa de 138 kPa (20 psi) para dois níveis de cargas verticais.....	118
82	Pneu radial (a) e pneu diagonal (b) utilizados no experimento de campo.....	119
83	Vista lateral (a) e vista traseira (b) do equipamento durante o experimento na pista de ensaio do NEMPA.....	119
84	Resistência do solo à penetração quanto ao tráfego com pneu radial, diagonal e sem tráfego na profundidade de 0cm a 40 cm.....	129
85	Resistência do solo à penetração quanto à carga nos pneus na profundidade de 0 cm a 40 cm de profundidade.....	129
86	Comportamento das camadas do solo após o tráfego do pneu radial em função da carga aplicada.....	133
87	Comportamento das camadas do solo após o tráfego do pneu diagonal em função da carga aplicada.....	133

LISTA DE APÊNDICES

Apêndices	Página
1 Especificações técnicas.....	150
2 Manual de operação e manutenção do equipamento para ensaio dinâmico de rodado agrícola individual.....	152
3 Memorial de cálculo do projeto do equipamento.....	157
4 Programa utilizado no "Micrologger" e forma de transferência no computador.....	168
5 Análise de variância dos dados de campo para avaliação do equipamento.....	170
6 Quadro dos dados (médios) coletados na pista de ensaio.....	176
7 Análise de variância dos dados (médios) do experimento para avaliação de dois tipos de pneus: diagonal x radial.....	180
8 Análise de variância dos dados do experimento para avaliação da compactação do solo em função de dois tipos de pneus submetidos a quatro cargas (lastros) no pneu.....	197
9 Dados médios de índice de cone e incrementos obtidos no experimento.....	201

1 RESUMO

O principal objetivo deste trabalho foi desenvolver, instrumentar e avaliar o desempenho de um equipamento para ensaio de pneus agrícolas acoplado a um trator, acionado pela sua tomada de potência, com a finalidade de ensaiar dinâmico e individualmente pneus em condição de campo e avaliar o efeito da passagem do pneu no solo. O equipamento foi desenvolvido no Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrícolas (NEMPA), pertencente ao Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista (UNESP), situado no município de Botucatu.

Os dados obtidos nas calibrações e nos ensaios foram ajustados pelo método de regressão e os dados do experimento foram analisados considerando-se o delineamento experimental em blocos, no esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os pneus e nas subparcelas as cargas, com cinco repetições.

Os valores de índice de cone do solo foram analisados considerando-se o delineamento experimental em blocos, no esquema de parcelas subdivididas, e tendo na parcela os pneus, na subparcela as cargas e na subdividida as camadas, com cinco repetições.

Os resultados do experimento foram interpretados estatisticamente, por meio da análise de variância, adotando-se o nível de significância de 5% e pelo teste de comparação de médias de Tukey.

Foram realizados ensaios com variações de velocidades de 0 a 14 km/h, patinagens de 3% a 34%, diâmetros de pneus de 1250 mm a 1722 mm, larguras de pneus de 500 mm a 602 mm e cargas verticais de 5.000 N a 24.000 N. Para estes valores não foram observados danos ao equipamento.

O comprimento mais adequado da parcela para os ensaios de campo foi de 20m com frequência de aquisição de 1Hz.

O equipamento permitiu avaliar o desempenho dinâmico de pneus, em condições de solo agrícola, pista asfáltica e comparar diferentes tipos de pneus em função da pressão de inflação, patinagem, raio de rolamento e carga no rodado.

Por avaliar individualmente o pneu, e possuir um sistema de aquisição de dados eletronicamente, o equipamento proporcionou agilidade e praticidade nos ensaios.

Na avaliação comparativa do desempenho do pneu radial e diagonal, não foram observadas diferenças, estatisticamente significativas, para a maioria dos parâmetros avaliados.

O tipo de pneu influenciou significativamente a compactação do solo no seu rastro, mostrando que, na média dos valores obtidos, o índice de cone para o pneu diagonal (2.510 kPa) foi maior do que no pneu radial (2.380 kPa).

DEVELOPMENT AND PERFORMANCE EVALUATION OF AN AGRICULTURAL SINGLE WHEEL DYNAMIC TESTING EQUIPMENT. Botucatu, 2000, 206p. Tese (Doutorado em Agronomia/Programa de Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ALBERTO KAZUSHI NAGAOKA

Adviser: KLÉBER PEREIRA LANÇAS

2 SUMMARY

The main objective of this research was to develop, to instrument and to evaluate the performance of a Single Wheel Testing Equipment, linked to a tractor and motioned by the power take off (PTO) with the purpose of dynamically testing individual tires in field and laboratory conditions. The equipment was developed in Agricultural Machinery and Tire Testing Center (NEMPA), Rural Engineering Department of Agronomic Science College, São Paulo State University (UNESP), Botucatu County.

The obtained calibration and test data were adjusted using regression method and the experiment data were analyzed considering an experimental design in split plot blocks, with the tire in the parcels and the load tire in the subparcels, with five repetitions.

The cone index values were analyzed considering the same experimental design, with the tire in the parcels, the tire load in the subparcels, and the soil layers in the subsubparcels, with five repetitions.

The experiment results were statistically interpreted by means of variance analysis, adopting 5% of significance level and using Tukey average test comparison.

The tests were realized varying the forward speed from 0 to 14 km/h, the slip from 3% to 34 %, the tire diameter from 1,250 mm to 1,722 mm, the tire width from 500 mm to 602 mm, and the tire loads from 5,000 to 24,000 N. The device worked very well and it was not observed damages or failures for all tested situations.

The most adequate parcel length obtained on the field tests was 20 m, using the acquisition frequency of 1 Hz.

The equipment permitted to evaluate tire dynamic performance on agricultural field conditions, asphalt track and to compare different tire types as a function of inflation pressure, slip, rolling radius, and tire load.

The equipment evaluated individuality the tested tire and have an electronic data collect system, providing agility and practicality in the tests.

The comparative evaluation performance between the radial and bias tires does not showed statistical differences for the most important studied parameters.

The type of tire influenced the soil compaction on tire tracks, showing that the average cone index of the obtained data was greater for bias tires (2,510 kPa) than the radial tires (2,380 kPa).

Keywords: single wheel, dynamic test, tires

3 INTRODUÇÃO

O Brasil configura-se como o maior país da América Latina em extensão territorial e o quinto do mundo com área total de 8.547.403,5 km², tendo o maior Produto Interno Bruto (PIB) da América Latina e o nono do mundo (Almanaque abril, 1996). De acordo com informações da ANFAVEA (2000) a área cultivada no país é de 53,5 milhões de hectares e o índice de mecanização evoluiu da marca de 410 ha/trator no ano de 1960 para cerca de 115 ha/trator em 1998.

Em 1960, com o início da produção nacional de tratores, o Brasil produziu 37 tratores de rodas enquanto a frota era de 62.684 tratores. No ano de 1999 o país produziu 20.911 tratores sendo a frota estimada de 460.000 tratores de rodas.

A partir da Segunda Grande Guerra Mundial, houve grande avanço da engenharia, o que contribuiu para um incremento na potência dos tratores, e, com isso, os estudos intensificaram-se na busca de máquinas e sistemas mais eficientes de tração, como é o caso dos tratores com tração nas quatro rodas. Trabalhos realizados mostraram que o peso e a potência dos tratores tem aumentado ao longo do tempo, embora a relação entre os dois fatores tenha diminuído, resultando em prejuízos ao solo e ao desempenho do trator (Cordeiro, 1994).

O sistema de rodados pneumáticos de tratores agrícolas possui várias funções, como: permitir equilíbrio, deslocamento, direcionamento, vão livre, esforço tratório e amortecimento entre as irregularidades do solo e o trator. Este sistema é um dos principais

componentes do trator e da maioria das máquinas agrícolas, tendo uma relevante importância nos custos de fabricação e operacional, podendo chegar até a um terço do valor de um trator novo.

O rodado pneumático influencia o desempenho do trator, pelo seu tipo de construção, pela pressão de inflação, pela carga aplicada, pelo tipo de tração dos tratores e pelo desgaste. O tipo de solo, o teor de água, a cobertura e a declividade do solo em que é submetido influenciam o desempenho do trator, tanto na quantidade como na qualidade do serviço executado no campo.

Operar um trator com o pneu adequado para cada condição de trabalho resulta em melhor desempenho geral do trator, aumento da capacidade de trabalho, aumento da vida útil, melhor qualidade do serviço, menor custo e, ainda evita alterações indesejáveis na estrutura do solo.

No Brasil, os ensaios e pesquisas de desempenho de pneus de tratores agrícolas são realizados em condições de laboratório, pista e campo, utilizando-se o trator completo, sendo que a análise dos dados coletados é realizada pelos valores médios das rodas motrizes. Esta metodologia tem como desvantagens o custo elevado e a dificuldade de avaliar individualmente o comportamento de cada pneu. Os resultados dos ensaios encontram-se nas publicações da Divisão de Engenharia Agrícola (DEA) e do Centro Nacional de Engenharia Agrícola (CENEA) partir de 1972 e 1983 respectivamente.

A importância de se pesquisar dinâmica e individualmente o desempenho de pneus de tratores agrícolas em condições de campo e laboratório, com menor custo, motivou a realização do presente trabalho, cujo objetivo foi desenvolver, instrumentar e avaliar o desempenho de um equipamento para ensaio de pneus agrícolas, de forma a permitir analisar o comprimento da parcela, a frequência de aquisição e o registro dos dados. Como objetivo secundário foi avaliado o desempenho dinâmico de pneus de tração, em função da carga, tipo de pneu, patinagem, raio de rolamento, velocidade, pressão de inflação e verificar o efeito da passagem do pneu no solo.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Máquinas agrícolas

"A máquina é composta por um conjunto de órgãos que apresentam movimentos relativos, e com resistência suficiente para transmitir o efeito de forças externas ou transformar energia. Quando transmite o efeito de forças a máquina deve ser considerada movida e, quando transforma energia a mesma é considerada motora" (Gadanha Júnior, et al., 1991). Os mesmos autores definem o implemento como um conjunto de órgãos que não apresentam movimento relativo nem têm capacidade para transformar energia.

De acordo com Mialhe (1980), o trator agrícola é uma máquina, provida de meios que, além de lhe conferirem apoio sobre uma superfície horizontal e impenetrável, capacitam-no a tracionar, transportar e fornecer potência mecânica, para movimentar os órgãos ativos de máquinas e implementos agrícolas.

Quando trata-se de máquinas agrícolas, Balastreire (1990) e Gadanha Júnior (1991), sugerem que o sufixo "ora" seja preferido por ser um termo adequado para caracterização dessas máquinas. Como exemplo, Balastreire (1990) cita uma máquina que além de dosar e colocar as sementes no solo também executa essa mesma operação com os adubos ou fertilizantes, a máquina deveria ser então designada como semeadora-adubadora.

Segundo Cordeiro (1994), o peso e a potência dos tratores têm aumentado ao longo do tempo, embora a relação entre os dois fatores tenha diminuído. Tem-

se verificado que a grande maioria dos tratores fabricados no Brasil possui excesso de peso nas rodas motrizes para que exerçam a força de tração máxima na barra de tração, resultando em prejuízos ao solo e ao desempenho do trator.

4.2 Compactação do solo

A movimentação de veículos e máquinas agrícolas, geralmente bastante pesados, e o preparo intensivo do solo têm contribuído para a formação de camadas compactadas (Ferreira, 1993; Camargo e Alleoni, 1997; Torres et al. 1998; Castro Neto et al. 1999b). Essas camadas, além de provocarem erosão superficial do solo, refletem na produtividade agrícola, devendo, portanto, haver uma importante relação entre solo/máquina/planta. Ao pesquisador cabe a função de investigar os efeitos causados pelo uso da máquina, comparar e recomendar o uso correto para que os equipamentos tenham o máximo rendimento com mínimo prejuízo.

De acordo com Lanças (2000b), a compactação do solo não é uma propriedade do solo e sim o efeito da variação de algumas de suas propriedades, devido à ação de cargas externas, tais como o tráfego de máquinas e a ação de ferramentas agrícolas. Silva et al. (1998) afirmam que o teor de água do solo é um fator indispensável para que ocorra a compactação.

Marshall e Raney (1960) definem as zonas compactadas do solo como sendo o resultado da deterioração da sua estrutura, tendo como principal consequência a diminuição da porosidade nas camadas logo abaixo da profundidade de trabalho dos órgãos ativos das máquinas. Os autores classificam os solos com pouca matéria orgânica ou estrutura “fraca”, como sendo mais susceptíveis à compactação pelo tráfego e ação das máquinas e implementos.

De acordo com Chancellor (1977), o volume total do solo é composto por uma parte de grãos minerais e outra por poros localizados entre os grãos. O volume de poros é preenchido, normalmente, por uma parte de água e o restante com ar. Um solo agrícola é considerado compactado quando a porção do volume de poros em relação ao volume total ocupado pelo solo é inadequada para uma máxima produção da cultura ou não possibilita um manejo adequado desse solo.

Raney et al. citado por Lanças (1987), descreveram dois tipos de alterações nas camadas do solo: aquela de origem genética, que é resultante da ação lenta e contínua dos processos pedogenéticos, formando horizontes de impedimento à penetração de água e raízes, denominada adensamento, e aquela resultante de forças aplicadas ao solo, portanto de origem induzida, denominada compactação. Segundo os mesmos autores, na maioria dos casos agrícolas, ocorrem as duas formas de alterações físicas do solo simultaneamente.

Rosenberg, citado por Camargo e Alleoni, (1997), notou que uma leve compactação foi benéfica às culturas de milho, tomate, batata, beterraba e algodão, quando comparada ao solo extremamente solto e desagregado. Entretanto, em níveis mais elevados, a compactação promoveu efeitos prejudiciais às plantas, tais como germinação e brotação mais lentas, redução no estande, menor peso e altura por planta e menor produção por área.

Pesquisadores têm demonstrado claramente o efeito da compactação nas propriedades físicas do solo. Conforme mostrado por Dias Júnior (1996), a compactação aumenta a densidade do solo e a sua resistência mecânica, diminuindo a porosidade total, tamanho e continuidade dos poros, principalmente no volume dos macroporos, enquanto os microporos permanecem teoricamente inalterados.

Um dos principais efeitos prejudiciais da compactação é o aumento da perda de solo por erosão. Trabalho realizado por Souza, citado por Lanças (1991), mostra que a perda de solo em áreas com presença de camadas compactadas pode chegar até a 90 t/ha em um ano com períodos de fortes precipitações.

Ao realizarem um levantamento de solos no estado do Rio Grande do Sul, Souza et al. (1988), encontraram as camadas adensadas em profundidades que variaram entre 10 cm e 30 cm, sendo as principais diferenças destas em relação às outras camadas do perfil do solo, as maiores densidades e resistência à penetração. Os mesmos autores enfatizaram que as conseqüências mais imediatas do aparecimento dessas camadas são a redução da capacidade de infiltração da água das chuvas, maior resistência à penetração das raízes das plantas, excesso de umidade acima da camada nos períodos chuvosos e deficiência de água nos períodos secos.

Ferreira (1993) comenta que a compactação do solo, tanto na superfície como no subsolo, pode reduzir a produtividade e o lucro. Um dos aspectos

lamentáveis deste problema, segundo o autor, é que poucos agricultores estão conscientes dos efeitos da compactação e de como diagnosticá-la.

Gill et al. (1968), Mckyes (1989) e Sánchez et al. (1996) constataram que, além dos efeitos na planta, a compactação do solo apresenta ainda problemas relevantes em termos de conservação, provocando restrições à infiltração da água de chuva ou irrigação, o que pode gerar ou aumentar o escoamento superficial em solos declivosos e, conseqüentemente, a erosão superficial. Para solos poucos declivosos ou aqueles localizados nas partes mais baixas do relevo há a possibilidade de encharcamento, o que provoca danos às raízes e, conseqüentemente, às plantas. Em períodos secos, a limitação na capacidade de armazenamento de água pelo solo pode se tornar decisiva para a produtividade das culturas.

Fernandes (1996) realizou uma pesquisa com máquinas de exploração florestal com a finalidade de avaliar a compactação do solo causado pelo tráfego e determinar os dias potencialmente úteis para o trabalho. Utilizando-se um penetrógrafo manual para obter os dados de compactação do solo, o autor avaliou as diferenças entre a resistência à penetração pela fórmula:

$$Y = D - A$$

em que:

Y = Diferença entre as resistências (MPa)

D = Resistência à penetração depois do tráfego (MPa)

A = Resistência à penetração antes do tráfego (MPa)

Este autor verificou, ainda, que o maior incremento da resistência à penetração devido ao tráfego das máquinas pesquisadas ocorreu para a profundidade de 0 a 15cm.

Os métodos para se detectar a camada compactada do solo podem ser divididos, segundo Lanças (1996b), em três grupos principais:

- Métodos visuais, subjetivos ou grosseiros: sulcos de erosão, fendas nos rastros dos rodados, crostas superficiais, sistema radicular raso e espalhado, falhas localizadas de germinação, plantas com tamanhos menores que o padrão, emergência lenta, coloração deficiente, sintomas de carência de N e P e toxidez de Mn mesmo com adubação adequada e análise do perfil do solo pela abertura de trincheiras

avaliando-se a “dificuldade” de penetração de um estilete ou canivete ao longo do perfil para “sentir” a camada compactada;

- Métodos precisos: determinação da densidade do solo, percentagem de macroporos, taxa de difusão de oxigênio ou condutividade hidráulica saturada; e
- Métodos intermediários: resistência à penetração.

Ngunjiri e Siemens, citados por Al-Adawi e Reeder (1996) estudaram o efeito do tráfego de um trator com 8,5 toneladas em quatro tratamentos de compactação: sem tráfego, com tráfego nas entrelinhas, com tráfego nas linhas, e com tráfego em toda área. Os autores concluíram que a produção de milho na área com tráfego em toda área foi significativamente menor do que a produção nos demais tratamentos.

Camargo e Alleoni (1997) constataram que a diminuição do volume total de poros ocorre principalmente pelo uso incorreto de implementos quanto ao teor de água do solo, visto que a parte sólida do solo é rígida e praticamente indeformável. Os poros mais afetados são aqueles de maiores dimensões (maiores que 50 μm) através dos quais o movimento de ar e água são mais intensos e rápidos e, também, por onde o crescimento do sistema radicular ocorre sem restrições.

Ferreira (1998) também pesquisou a compactação do solo por tráfego de máquinas de colheita no plantio florestal e concluiu que a resistência à penetração do solo foi maior para profundidade entre 5 a 15 cm e que ocorreu um incremento de aproximadamente 55% na resistência à penetração do solo entre a fase pré-colheita e pós-colheita, variando de 1075,2 kPa para 1666,4 kPa respectivamente.

Conforme Perez et al. (1998), as técnicas de semeadura direta são complementos das atuais técnicas de conservação de solo, com menor mobilização e remoção da terra e maior quantidade de restos vegetais na superfície do solo, tendo como vantagem a redução dos custos operacionais de mecanização, além dos aspectos conservacionistas e de recuperação das características físicas, químicas e biológicas do solo.

Apesar da eliminação das operações de preparo, ainda permanece a movimentação de veículos e máquinas para a realização das demais operações, que ainda podem contribuir para a formação de camadas compactadas no solo, constituindo-se em um fator negativo à produtividade.

4.3 Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração é um indicador intermediário de compactação, não sendo uma medição física direta das condições do solo, pois é muito variável em função de outros fatores, principalmente o teor de água e tipo de solo.

Apesar das limitações, segundo Lanças (1991), a resistência à penetração é freqüentemente usada para a indicação comparativa do nível da compactação em solos de mesmo tipo e mesmo teor de água, devido a sua facilidade e rapidez com a qual numerosas medidas podem ser realizadas. Os resultados são normalmente expressos em termos de força por unidade de área do cone de dimensões padronizadas instalado na ponta da haste do penetrômetro ou penetrógrafo.

De acordo com Lanças (2000), é possível realizar comparações da resistência à penetração do solo em mesmo local, mas em épocas diferentes, porém com o solo na mesma condição de teor de água, tal como na avaliação da evolução da compactação num local ao longo do tempo.

A avaliação da resistência mecânica do solo à penetração de uma haste é uma maneira rápida e fácil de medir a resistência à penetração a várias profundidades, sendo esta metodologia muito utilizada para avaliar, entre outros fatores, a resistência ao rolamento (Brixius, 1987), avaliar compactação em diferentes sistemas de preparo do solo (Ortolani et al. 1992), prever a força de tração de máquinas (Wolf et al., 1996), relacionar fatores de resistência do solo à elongação radicular (Camargo e Alleoni, 1997).

De acordo com Vieira e Dias (1997), atualmente, a penetrometria esta sendo largamente utilizada para detectar camadas compactadas, determinar os efeitos da densidade do solo e do seu teor de água na penetração das raízes e também na capacidade de infiltração de água do solo. Segundo os autores, o estudo da resistência do solo à penetração iniciou-se com a proposta de uma “pá dinamométrica” por Gasparini, em 1840. O equipamento constava de uma pá com 2,7 kg que, caindo de uma altura de 1,0 metro, afundava no solo. Em solos pedregosos, a pá apresentava dificuldades de penetração, sendo substituída por uma “forquilha” com três pontas, moderadamente afiadas.

No início da Segunda Guerra Mundial, o exército dos Estados Unidos da América através da WES (Waterways Experimental Station), propôs a análise da trafegabilidade empregando um único parâmetro, o Índice de Cone (IC), definido como a resistência do solo à penetração de uma ponta cônica com ângulo sólido de 30°, expressa como a força por unidade de área da base do cone.

O penetrômetro da WES tem dimensões normalizadas (ASAE S.313.1). Há dois tipos de penetrômetros recomendados, segundo a resistência do solo, Quadro 1.

Quadro 1. Penetrômetro normalizado pela AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (1999b).

Solo	Diâmetro da Haste (mm)	Diâmetro da Ponteira (mm)	Ângulo da Ponteira (°)
Macio	15,18	20,27	30
Duro	9,53	12,83	30

De acordo com Hendrick e Prather et al. citados por Amaral (1994), os primeiros penetrógrafos começaram a surgir com o objetivo de reduzir a mão de obra necessária e os erros cometidos na utilização dos penetrômetros. As primeiras modificações foram realizadas, instalando-se registradores das leituras nos penetrômetros. A Figura 1 mostra um exemplo de gráfico obtido por um penetrógrafo.

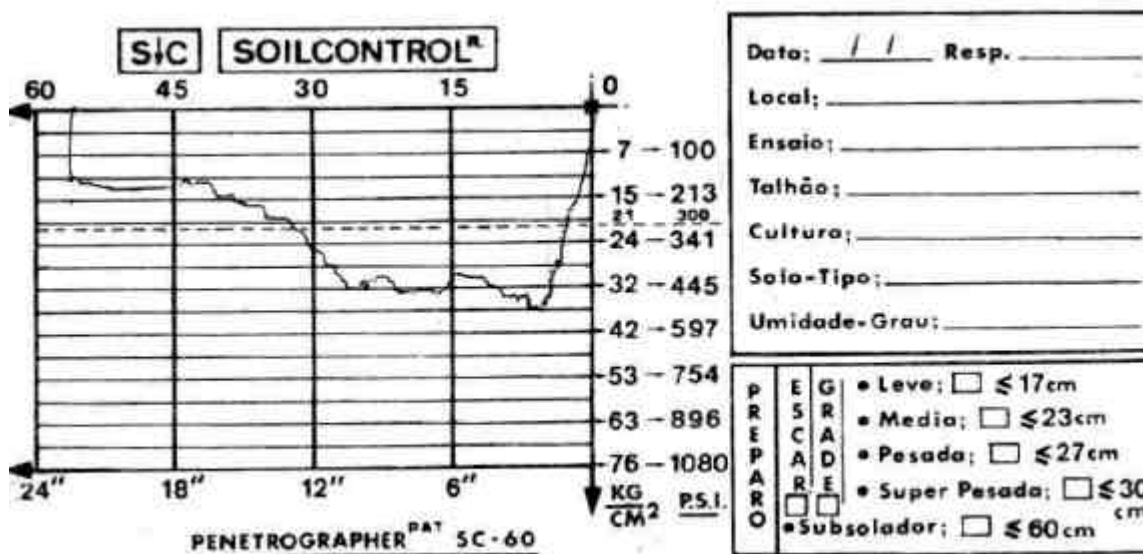


Figura 1. Gráfico da pressão versus profundidade obtido num ensaio de resistência à penetração do solo, utilizando o penetrógrafo SC-60.

Dentro desta linha, foi lançado em 1985 no Brasil, em escala comercial, o Penetrographer SC-60, fabricado pela Soil Control, com uma haste de 600 mm de comprimento e 9,53 mm de diâmetro. Pretendia-se seguir as normas da ASAE, mas as primeiras unidades do aparelho ofereciam apenas cones com ângulo sólido de 60°. Devido a sua facilidade operacional, o aparelho foi bastante difundido (Vieira e Dias, 1997).

A utilização de penetrômetros ou penetrógrafos manuais, além de estar limitada ao esforço máximo que uma pessoa pode fornecer, não garante velocidade constante de penetração, pois dificilmente o operador terá sensibilidade o suficiente para variar instantaneamente a força aplicada em função das variações naturais de resistência do solo ao longo do perfil desejado.

Amaral (1994) desenvolveu um penetrógrafo eletrônico portátil, cuja operação foi controlada por um microprocessador que faz a leitura dos sensores de força e profundidade, possibilitando armazenar dados referentes a 99 curvas com 200 pares, sendo este posteriormente transferidos a um microcomputador, via interface serial. O equipamento permitiu economia de tempo no processamento das informações, evitou erros de leitura e representou uma grande evolução tecnológica em relação aos métodos de determinação do índice de cone utilizados no Brasil.

Lanças e Santos (1998) construíram um penetrômetro hidráulico-eletrônico para a determinação da resistência à penetração do solo. O sistema tem como elementos básicos um pistão hidráulico, uma célula de carga, uma haste de aço contendo uma ponteira cônica de ângulo sólido de 30°, com diâmetro de 19,05mm. O sistema hidráulico do trator ("controle remoto"), foi utilizado para obtenção da pressão necessária para cravar o cone na direção normal (perpendicular) ao solo. A velocidade constante de 1820 mm/min independentemente da resistência do solo, foi obtida pela instalação de uma válvula de controle de vazão no circuito hidráulico. A obtenção, o registro e o armazenamento dos dados de resistência à penetração do solo foram possíveis pela utilização de sistema eletrônico, formado pelos seguintes componentes: sensor de força (célula de carga), potenciômetro utilizado como sensor de profundidade, sistema de aquisição e armazenamento de dados ("Micrologger"), microcomputador e programa para análise dos dados ou planilha eletrônica.

Além dos métodos tradicionais anteriormente citados novas pesquisas vêm sendo realizadas com equipamentos de tecnologia de ponta e mais sofisticados com o objetivo de obtenção de resultados rápidos. Lanças (1996a) apresentou algumas tendências:

- a) Instalação de uma lâmina abaixo e atrás da ponteira do subsolador que, utilizando extensômetros elétricos de resistência, monitora a força de corte do solo que, a não ser que haja variação no teor de água, será um indicativo da compactação do solo;
- b) Utilização de raios gama para a detecção da camada compactada do solo;
- c) Utilização do raio X para avaliar a distribuição de agregados do solo em laboratório;
- d) Utilização do esforço de tração no preparo do solo para indicar se os solos estão compactados.

4.4 Pneus Agrícolas

Os rodados pneumáticos têm o corpo em forma de tubo circular, de maneira que, ao se inflar a uma determinada pressão, resiste, dentro dos limites normais de trabalho, as solicitações dinâmicas e estáticas que agem sobre o mesmo. A esse tubo circular composto basicamente por borracha vulcanizada e camadas de cordonéis (malhas de fibras de algodão, de aço, etc.), que envolve a base do aro da roda, deu-se o nome de pneu (Mialhe, 1980; Atares e Blanca, 1996; Sánchez e Renedo, 1996).

Basicamente, um pneu é constituído de: carcaça, banda de rodagem, capa intermediária, flancos, talão e câmara de ar, conforme mostra a Figura 2.

De acordo com manuais e catálogos dos fabricantes (Goodyear do Brasil Produtos de Borracha, 1997; Trelleborg do Brasil, 1999; Bridgestone Firestone do Brasil Indústria e comércio, 1997 e Pirelli Pneus, 1997), no mercado mundial encontram-se basicamente três tipos distintos de construção de pneus agrícolas de tração:

- De construção diagonal, os cordoneis das lonas se estendem de talão a talão no sentido diagonal, formando um ângulo de aproximadamente 38° em relação à linha transversal, são de menor custo de aquisição, possibilitam a recauchutagem a baixos custos e a pressão de inflação é relativamente alta (150 a 200 kPa, ou seja, 22 a 29 psi).
- De construção radial, os cordoneis das lonas se estendem transversalmente de talão a talão, formando um ângulo reto (90°) em relação à linha de tração, possibilitam pressões menores do que os diagonais. De acordo com Corrêa (1993), os pneus radiais são de custo mais alto e apresentam melhor desempenho do que os diagonais.
- De construção de baixa pressão e alta flutuação (BPAF), os cordoneis das lonas são diagonais e lonas com cinturão reforçado. São mais caros e mais largos do que os pneus radiais, os flancos são mais flexíveis e a pressão de inflação é mais baixa (40 a 50 kPa, ou seja, 6 a 7 psi).

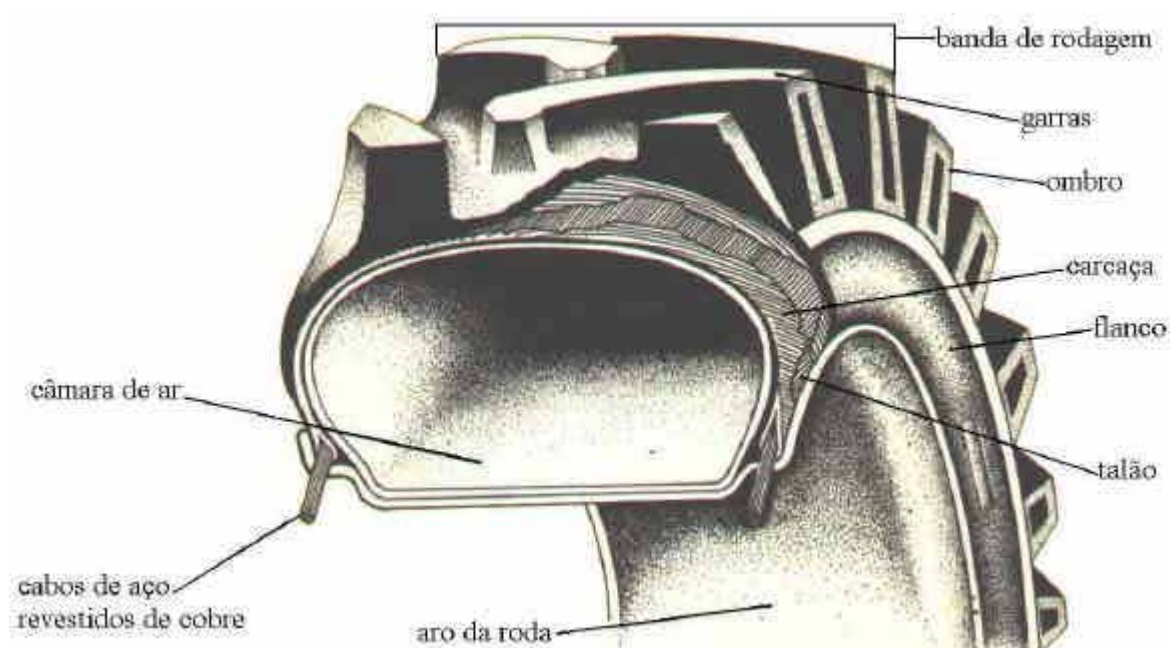


Figura 2. Partes constituintes do pneu. Fonte: UM PNEU (1991)

Para identificar o tipo de pneu, existe uma padronização geral quanto ao tamanho, largura, carga suportada, velocidade máxima, tipo de uso, tipo de construção, entre outras. Especificamente para tratores agrícolas, os pneus de tração se classificam conforme mostrado no Quadro 2.

Quadro 2. Classificação de pneus de tração para tratores agrícolas, segundo Associação Brasileira de Pneus e Aros (1994).

Item	Especificações
R -1	Tração regular
R -2	Tração extra (Raia profunda)
R-3	Raia superficial (pouco profunda)
R -4	Industrial

A designação do tamanho dos pneus, segundo as normas técnicas da Associação Brasileira de Pneus e Aros (ABPA), pode ser expressa, conforme mostra os exemplos a seguir:

14.9-28, no qual:

14.9: Indica a largura da seção nominal do pneu sem carga, expresso em polegadas;

28: Indica o diâmetro interno do pneu sem carga, expresso em polegadas;

A ausência da letra "R" indica que o pneu é de construção diagonal.

650/75 R 32 indica:

650: Indica a largura da seção nominal do pneu sem carga, expresso em milímetros;

75: Indica a relação de forma (relação entre a altura da seção e a largura), expresso em porcentagem;

R: Indica que o pneu é de construção radial;

32: Indica o diâmetro interno do pneu sem carga, expresso em polegadas.

Quando Vasey e Naylor (1958) realizaram estudos comparando pneus lisos, industrial e agrícola normal com garras, em solo arado, para testar diferenças na banda de rodagem e na altura da garra, concluíram que as garras são necessárias, pois o pneu agrícola com garras apresentou um desempenho superior em relação aos outros.

Uma das funções das garras de um pneu agrícola é proporcionar aderência entre o solo e o pneu, resultando em tração e autolimpeza da banda de rodagem.

Taylor (1973) estudou o efeito do ângulo da garra dos pneus em várias condições de superfície e concluiu que houve pouca influência deste parâmetro no desempenho do conjunto.

Taylor, citado por Franz (1988), estudou o desempenho de tração fazendo uso de pneus 18.4-34, avaliou o espaçamento das garras no desempenho tratorio e concluiu que o número ideal de garras é 23 para a condição de solo argiloso e de 26 até 29 garras para a condição de solo arenoso.

Upadhyaya e Wulfsohn (1989) avaliaram os pneus radiais e diagonais em vários tipos de solo e chegaram a conclusão que o tipo construtivo dos pneus influencia na durabilidade e no desempenho em relação à tração, mas as condições do solo são mais importantes do que o tipo de pneu.

Cordeiro (2000) avaliou o desempenho de um trator em função do pneu radial, diagonal e BPAF, em condições de campo, sob duas situações: com o trator trafegando sobre o solo solto na primeira marcha e sobre o rastro da passada anterior na segunda marcha. Verificou-se que houve melhor conversão energética do combustível para os pneus radiais ensaiados sob pressão de inflação de 110 kPa (16 psi) e carga no pneu traseiro variando de 18.000 N a 22.500 N. O pneu diagonal com pressão de inflação 124 kPa (18 psi) e carga no pneu traseiro variando de 17.000 N a 22.000 N, apresentou maior capacidade de tração, com menor patinagem para os níveis de força de tração na barra com maiores lastragens.

Lopes (2000) também encontrou resultados semelhantes com os três tipos de pneus em condição de preparo do solo com escarificador acoplado a um trator com tração dianteira auxiliar. Utilizou-se neste ensaio dois níveis de lastros no pneu traseiro sendo o de maior valor 20.430 N para o pneu radial, 20.575 N para o pneu diagonal e 26.215 N para o pneu BPAF, obtendo patinagens com pneu lastrado de 14,43 % no pneu radial, 17,65% no pneu diagonal e 19,84% no pneu BPAF. Os resultados evidenciaram vantagens para o trator quando equipado com pneu radial nos seguintes pontos: velocidade de deslocamento, potência na barra, consumo específico, capacidade de campo efetiva, patinagem e coeficiente de tração. Ainda o mesmo autor concluiu que a condição de lastragem do pneu com água melhorou o desempenho do trator nas seguintes variáveis: velocidade de deslocamento, consumo específico de combustível, capacidade de campo efetiva e patinagem. Porém, mostrou-se negativa na resistência ao rolamento e coeficiente de tração.

Corrêa (2000) avaliou o desempenho operacional de pneus radiais e diagonais em função da pressão de inflação, da condição de superfície do solo e da condição de acionamento da tração dianteira. Concluiu o autor que, com a tração dianteira desligada, a pressão baixa/correta (62 kPa) favoreceu o pneu radial em termos de redução no consumo de combustível e patinagem, com aumento na potência na barra e capacidade operacional. Porém, uma análise de custo-benefício revelou que o período de retorno do investimento dos pneus radiais de baixa pressão nas condições do experimento terá início a partir do quarto ano de uso.

Upadhyaya e Wulfsohn (1990), obtiveram equações para previsão do desempenho de pneus radiais em diferentes solos agrícolas. Foram analisados três tipos de pneus radiais (18.4R38; 16.9R38 e 24.5R32) sob dois níveis de pressão de inflação dos pneus (83 e 124 kPa) e três níveis de carga aplicadas no pneu (baixa, média e alta) em dois tipos diferentes de solo (argiloso/Capay e limoso/Yolo) sob cinco condições diferentes (firme, mobilizado duas vezes com grade aradora, mobilizado duas vezes com grade aradora e duas vezes com grade destorroadora, mobilizado duas vezes com grade aradora e quatro vezes com grade destorroadora e mobilizado duas vezes com grade aradora e quatro vezes com grade destorroadora com irrigação). Para tanto foi utilizada uma máquina de testes de campo denominada Máquina de Testes de Tração para Rodas Individuais (Upadhyaya et al., 1986) equipada com um aparelho analógico/digital (Campbell Scientific Data Logger) para registro e armazenamento das seguintes variáveis estudadas: torque de entrada na roda, tração líquida gerada, carga dinâmica no eixo da roda, velocidade da roda e velocidade de deslocamento. Foram utilizadas as seguintes equações:

$$\text{Coeficiente de tração líquida} = \frac{NT}{W} = a(1 - e^{-c \cdot i});$$

$$\text{Coeficiente de tração bruta} = \frac{T}{r \cdot W} = \frac{GT}{W} = a'(1 - b' \cdot e^{-c' \cdot i});$$

$$\text{Eficiência tratória} = \frac{P_o}{P_i} \cdot 100 = \frac{NT \cdot V_a}{T \cdot w} \cdot 100 = \frac{NT/W}{T/r \cdot W} \cdot (1 - i) \cdot 100.$$

Os resultados mostraram que o índice de cone e o teor de água do solo não foram representativos das condições do solo para previsão do comportamento do esforço de tração requerido, necessitando-se de um maior número de repetições desses parâmetros

para que a predição fosse realizada com maior acurácia. O Módulo de Cisalhamento do Solo, a Coesão do Solo, o Coeficiente de Atrito Interno do Solo e o Recalque (sinkage) do solo pareceram ser parâmetros mais consistentes.

As mudanças nas condições do solo influíram mais nos resultados do que as mudanças nas dimensões dos pneus e as cargas neles aplicadas.

Brixius (1976) desenvolveu equações para predição do desempenho de pneus diagonais (torque no rodado, resistência ao rolamento, tração e rendimento tratório) em função da resistência do solo, carga no rodado, patinagem, tipo de pneu e deflexão no pneu, em solos de fricção coesiva. As equações foram desenvolvidas utilizando-se curvas de ajustes de 121 combinações de resultados obtidos em ensaios de campo.

De acordo com Dias et al. (1996), a altura de garra de um pneu novo, tipo R1, é aproximadamente de 33 mm, sendo esta medida realizada no centro do pneu. Entretanto, os fabricantes de pneus recomendam que os mesmos devem ser substituídos quando suas garras apresentam em torno de 10% de sua altura nominal, ou seja, 3 mm.

O uso de pneus específicos para determinado tipo de superfície ou material de suporte (asfalto, pista de solo compactado ou cascalhado, solo agrícola, etc.) permitiria aumentar sua vida útil. No entanto, a variedade dos solos agrícolas (Barger et al., 1966; Liljedahl et al., 1989) é o fator que dificulta o projeto de componentes de tração que funcionem satisfatoriamente em qualquer situação. Um elemento de tração, de acordo com esses autores, deve ser adequado em 70% do tempo de trabalho e sobre 90% do terreno de cultivo.

De acordo com Mialhe (1980), a borracha sintética tem a propriedade de absorver vibrações de modo mais eficiente em comparação com a borracha natural, daí sua importância tanto em aplicações industriais como na fabricação de pneus. Entretanto, a energia absorvida é transformada em calor; daí a razão de pneus feitos inteiramente de borracha natural apresentarem temperatura menor que os de borracha sintética. Como a temperatura afeta os pontos de junção dos componentes do pneu, ocasionando desagregação, sua vida útil será menor, caso seja construído inteiramente de borracha sintética, embora de preço relativamente mais baixo. Com uma mistura dos dois tipos de borracha, natural e sintética, obtêm-se produtos de boa qualidade. Entretanto, para o caso de pneus, quanto maior a

percentagem de borracha natural, tanto maiores serão a segurança e a resistência do pneu ao desgaste prematuro.

No Brasil, embora, a utilização de pneus radiais agrícolas, se restrinja, prioritariamente às culturas de cana-de-açúcar e citros, sua utilização vem aumentando gradativamente. O ideal é que se estude o desempenho da maior variedade possível desses pneus nas mais diversas situações de uso. Visto isso, Corrêa et al. (1997a) comparam o desempenho de um trator agrícola equipado com um modelo de pneu radial de baixa pressão (600/65 R 34) e com dois modelos de pneus diagonais (18.4-34) realizando operações de gradagem em solo de textura média. Neste experimento, o pneu radial de baixa pressão desenvolveu até 4,8 % a mais de velocidade de deslocamento e de capacidade operacional. A patinagem do rodado motriz foi reduzida em até 28,9 %.

4.5 Patinagem

De acordo com AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (1984), patinagem é um movimento relativo na direção do deslocamento, entre o elemento que oferece a tração e a superfície suporte durante o deslocamento, freqüentemente expresso em porcentagem. Segundo Corrêa et al. (1995a), a palavra patinagem é preferida para representar este fenômeno.

Brixius e Wismer (1993) mostram que a patinagem pode ser calculada da seguinte maneira: $p = \left(1 - \frac{V_a}{r\omega}\right)$.

Corrêa et al. (1995b) descreveram diversas formas de cálculo de patinagem, e uma delas, pode ser descrita da seguinte forma: $P = \left(1 - \frac{V}{V_o}\right) 100$.

Cordeiro (1994) e Cordeiro (2000) seguindo o procedimento adotado por Bashford et al. (1985) para calcular a patinagem em percentual pela relação:

$$S\% = \frac{(n^0 \text{ de pulsos com carga} - n^0 \text{ de pulsos sem carga}) \times 100}{n^0 \text{ de pulsos com carga}}$$

Segundo Cordeiro (1994), a patinagem das rodas motrizes dos tratores agrícolas é função da carga na barra de tração, das condições de que o trator está trafegando, da lastragem e da rotação de trabalho.

A patinagem é um dos fatores que influencia o desempenho dos tratores e, com base nisso, Corrêa et al. (1995c) compararam o desempenho de um trator equipado com pneus radiais e diagonais na faixa de 0 a 30 % de patinagem em condições de campo. Os resultados mostraram que os pneus de construção radial proporcionaram melhores características de tração (força na barra, potência na barra e coeficiente de tração) para patinagem inferiores a 15 %, sendo que para valores acima deste não houve diferenças no comportamento.

A observação do trabalho de tratores agrícolas no campo leva a crer que o desgaste dos pneus varia com o tipo e a condição do material sobre o qual o pneu é utilizado e, para cada tipo e condição, o desgaste também é função da patinagem e da carga sobre o pneu. Analisando o efeito da patinagem na compactação do solo, Maziero et al. (1994) verificaram que as maiores diferenças ou efeitos na compactação ocorreram a 30% de patinagem e nos primeiros cinco centímetros de profundidade do solo.

De acordo com Lopes (1996), a medida que aumenta a patinagem do rodado motriz existe um incremento no desgaste das garras dos pneus. O autor testou o desgaste máximo de pneus do tipo R1, 14.9-28, em função do índice de patinagem (45, 30 e 15%) num solo firme, de textura franco argilo-arenosa, sem cobertura vegetal. Neste trabalho foram encontrados os seguintes resultados: desgaste em volume (179, 86 e 64 mm³/hora), desgaste em altura (0,0187; 0,0145 e 0,0101 mm/hora) para as respectivas patinagens estudadas; além disso nesse estudo encontra-se de maneira equacionada o desgaste ao longo de toda a superfície da banda de rodagem. Com tais resultados foi estimado que, para aquelas condições de uso, as respectivas vidas úteis seriam: 1650, 2150 e 3200 horas. Entretanto, neste experimento, foi considerado que a taxa de desgaste seria uniforme até o final da vida dos pneus, o que pode não ser verdadeiro.

Segundo Brixius e Wismer (1978), o movimento relativo entre elementos de tração (pneu ou esteira) e o solo (patinagem), é uma das mais significativas variáveis na tração. Esses efeitos no desenvolvimento trativo deve ser definido para prever adequadamente o processo de tração.

Wolf et al. (1996) estudaram um modelo que prediz o desempenho da tração do rodado agrícola sobre superfícies de solo firme, o qual permitiu prever a resistência ao rolamento, a razão da tração líquida e a eficiência trativa em função da patinação, baseado nas análises de predição e medição dos parâmetros do pneu de tração.

Cordeiro (2000) investigou o desempenho de pneus diagonais, radiais e BPAF e obteve melhor conversão energética de combustível com patinação de 4% a 11,5 km/h e 11% para velocidade de 7,5 km/h no pneu diagonal. Para o pneu BPAF as patinações nessas condições foram, respectivamente, de 11% e 21%, e para o pneu radial em torno de 11% e 20%, respectivamente. Entretanto, o pneu radial apresentou o menor consumo específico de combustível entre os pneus ensaiados.

4.6 Raio e circunferência de rolamento

Uma medida importante para o estudo do desempenho de rodados agrícolas no campo é a obtenção e comparação do raio de rolamento, que, de acordo com Mialhe (1980) e AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (1996a) é

definida pela equação: $R_r = \frac{L}{n \cdot 2\pi}$.

Segundo Corrêa et al. (1999), a circunferência de rolamento pode ser calculada pela equação: $CR = \frac{1000 \cdot S_{ipr}}{I}$.

A medida da circunferência de rolamento é importante para obter uma adequada combinação dos pneus dianteiros e traseiros de tratores com tração dianteira. Para a medição da circunferência de rolamento de pneus agrícolas, a ISO - International Organization for Standardization (1997), elaborou a norma ISO 11795, que é determinada em condições padronizadas sobre superfícies rígidas, cujos valores obtidos são gravados com sistema eletrônico de armazenamento de dados e submetidos na equação anterior.

Brixius (1987) utilizou a seguinte equação no cálculo do raio de rolamento para desenvolver equações de previsão de tração em pneus diagonais:

$$r = \frac{2,5.(d/2).Re}{1,5.(d/2) + Re}$$

4.7 Resistência ao Rolamento

A resistência ao rolamento pode ser definida como a potência consumida para deslocar livremente um pneu, sendo afetados pelos seguintes fatores: pressão de inflação, diâmetro externo, largura, lastro, deflexão, tipo de construção, material de fabricação, altura das garras e patinagem do pneu, declividade e condições da superfície, temperatura, velocidade de trabalho e tipo de solo. De acordo com Kravig, citado por Gadanha Júnior (1993), as perdas de potência devido a esses fatores podem chegar, em algumas situações, até 19%.

Segundo Onafeko, citado por Gadanha Junior (1993), na mecânica de solo aplicada a veículos, a equação básica para tração na barra é dada por: $L = H - R$.

Wismer e Luth (1973) calcularam a resistência ao rolamento pela seguinte equação: $R = W \left(\frac{1,2}{C_n} + 0,04 \right)$.

No Quadro 3, estão apresentados os valores de C_n para três condições do solo, segundo AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (1996b).

Quadro 3. Parâmetro do elemento de tração

Condições do solo	C_n
solo firme	30
solo preparado	20
solo solto	15

A Figura 3 mostra uma roda rebocada carregando uma carga vertical W sobre uma superfície plana de acordo com diagrama de corpo livre demonstrados por Barger et al. (1966); Mialhe (1980); Liljedahl (1989) e Gadanha Júnior (1993). Para isto uma

força de tração P é requerida porque o rodado está submetido a uma reação R na superfície de contato. Se o atrito do eixo for desprezado o torque M na roda é nulo e isto significa que a linha de ação de R passa pelo centro do eixo. O equilíbrio de forças na direção horizontal implica que P deve ser igual a componente horizontal de R . Essa componente de R é denominada de força de resistência ao rolamento. O equilíbrio de forças na direção vertical implica que a componente vertical de R deve ser igual a W . No caso da superfície do solo tornar-se mais difícil ao tráfego, α e R aumentam, fazendo com que P aumente também, o mesmo ocorre com R e P se W aumentar.

Gadanha Júnior (1993) procurou avaliar o comportamento da resistência ao rolamento de um pneu agrícola diagonal com dimensões 18.4-34. Esse estudo foi realizado em condição de campo, em solo preparado e o autor submeteu o pneu de teste a três pressões de inflação (110, 152 e 193 kPa), três velocidades de deslocamento (1,33; 1,92 e 3,07 m/s) e cinco condições de lastragem (9,3; 11,3; 13,5; 16,5 e 19,4 kN). Os dados mostraram que o aumento dessas variáveis resultou em aumento linear da resistência ao rolamento. O autor observou que a maior influência foi causada pela variável lastragem, seguida pela velocidade de deslocamento e com menor intensidade pela pressão de inflação. O autor ainda apresenta um modelo de ajuste relacionando resistência ao rolamento com as demais variáveis estudadas.

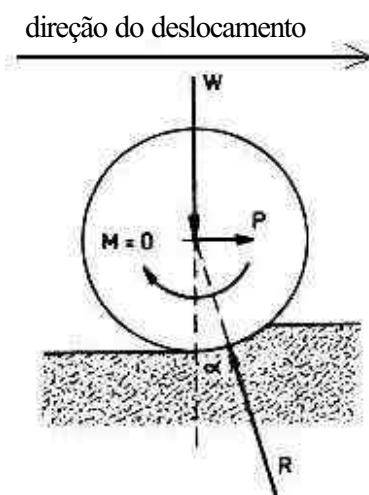


Figura 3. Forças agindo em um rodado rebocado. Fonte: Koolen e Kuipers citados por Gadanha Júnior (1993).

Ramsham e Williams, citados por Gadanha Júnior (1993), estudaram o efeito comparativo dos principais fatores que afetam a resistência ao rolamento do rodado 7,00-20, levando em consideração o tipo de construção (diagonal e radial). Por meio dos resultados os autores chegaram a conclusão que a resistência ao rolamento é influenciada pelo tipo de construção do rodado, uma vez que no estudo em questão este parâmetro foi menor para os pneus radiais.

Sendo a resistência ao rolamento um parâmetro importante no estudo de dispositivos de tração, Kollem e Kuipers (1983) desenvolveram um trabalho em que o objetivo foi a comparação de rodado pneumático e esteira. Os autores chegaram a conclusão que a resistência ao rolamento, é menor para as esteiras em condição de campo agrícola.

Barbosa et al. (1997) desenvolveram um estudo com o objetivo de comparar os valores preditos pelas equações propostas por McKibben e Davidson, citados por Barguer et al. (1966) para determinação da resistência ao rolamento, com os dados obtidos em medições de campo. O estudo foi conduzido em três diferentes tipos de superfície: concreto, solo firme e grama. Os resultados indicaram que as equações subestimaram os valores de resistência ao rolamento em relação aos medidos em campo.

4.8 Tração

A tração nos tratores depende, fundamentalmente, do sistema rodado-solo, ou seja, das características do rodado e do solo, e é função do torque, da resistência do solo ao cisalhamento e da resistência ao rolamento, conforme explica Mialhe (1980).

A partir da Segunda Grande Guerra Mundial, houve grande avanço da engenharia, o que contribuiu para um incremento na potência dos tratores, e, com isso, os estudos intensificaram na busca de máquinas e sistemas mais eficientes de tração, como é o caso dos tratores com tração nas quatro rodas. De acordo com John Deere (1993), estes tratores desenvolvem maior capacidade de tração por unidade de peso, porque a resistência ao rolamento é reduzida no rodado dianteiro, todas as rodas são motrizes e todo o peso do trator é usado para fornecer tração. Ainda observa-se que os referidos tratores, quando possuem os rodados de mesmo tamanho, oferecem maior desempenho de tração. Entretanto, os tratores

com tração dianteira assistida apresentaram maior tração quando comparados com tratores 4x2 de mesma potência.

A citação anterior é confirmada por Yanai (1994), que estudou a influência da pressão de inflação e da carga sobre o rodado no desempenho de um trator agrícola com e sem o acionamento da tração dianteira auxiliar.

Tratores com tração nas quatro rodas (4x4), resultam em pressões de contato pneu/solo 20% menores, quando comparados aos tratores 4x2 de mesmo peso (Brixius e Zoz, 1987). Os autores atribuem o efeito de menor pressão à maior dimensão dos pneus dianteiros.

Salvador (1992) obteve uma diminuição de 21,1% na exigência de força de tração, 15,0% da potência exigida na barra, 19,9% na patinação das rodas, 9,4% no consumo horário de combustível e 22,0% de energia (kW/ha) e um aumento de 8,9% na capacidade de campo efetiva, operando com subsolador em solo argiloso depois do preparo periódico do solo.

4.8.1 Coeficiente de tração

O coeficiente de tração, segundo Barger et al. (1966), é a relação entre a tração na barra e a carga dinâmica atuante no dispositivo de tração, sendo função do tipo do dispositivo de tração, pressão do pneu, tipo e teor de água do solo, desenho da banda de rodagem ou sapatas, dimensões do rodado e da distribuição da pressão sobre o solo.

a) Coeficiente de tração líquido

De acordo com Mialhe (1980) e Upadhyaya e Wulfsohn (1993), o coeficiente de tração líquida é a razão entre a tração líquida e a carga dinâmica e pode ser calculada pela seguinte equação: $CTL = \frac{NT}{W}$.

b) Coeficiente de tração bruto

De acordo com Mialhe (1980) e Upadhyaya e Wulfsohn (1993), o coeficiente de tração bruta é a razão entre a tração bruta e a carga dinâmica e pode ser

calculado pela seguinte equação: $CTB = \frac{GT}{W} = \frac{T}{r.W}$

Segundo Magalhães et al. (1995), a altura de garra influencia o desempenho do rodado pneumático. Os autores, estudando os pneus 14.9-28, com alturas de 35, 24, 16 e 00 mm, em um solo Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico, fase terraço, arado e gradeado, com 32,95% de umidade, concluíram que a altura de 24 mm apresentou melhor coeficiente de tração líquido, enquanto a de 35 mm apresentou maior resistência ao rolamento.

Cordeiro (2000) obteve maior coeficiente de tração líquido com pneu diagonal com menor patinação para maiores níveis de lastro, mostrando que o trator, para ser equipado com os outros modelos de pneus (BPAF e Radial) deveria ter seu peso total aumentado, pois a lastragem foi um fator determinante no desempenho de todos pneus.

4.8.2 Eficiência tratória

De acordo com Barger (1966), Mialhe (1980) e Mialhe (1996), eficiência tratória é a relação entre a potência obtida na barra de tração, numa dada condição, com a respectiva potência desenvolvida no eixo do rodado.

Segundo Upadhaya e Wulfsohn (1993) a eficiência tratória pode ser calculada pela seguinte expressão: $E_T = \frac{NT/W}{T/r.W} (1 - p)$.

Burt e Bailey (1982) afirmaram que a eficiência de tração pode aumentar quando se relaciona a pressão de inflação com a carga nos rodados. Os autores observaram ainda que o aumento da eficiência da tração depende das condições do solo.

Franz (1988) estudou o desempenho de três pneus para rodas motrizes de tratores com diferentes alturas de garras (33, 21 e 11 mm), em um Latossolo Vermelho-Escuro de textura argilosa, não-arado, e observou que o desgaste dos pneus do rodado motriz influenciou no desempenho dos tratores agrícolas. Os melhores resultados da força de tração e da razão dinâmica de tração ocorreram para a maior altura de garra (33 mm), com 30% de patinação. Os parâmetros potência na barra, eficiência tratória e consumo específico de combustível apresentaram também melhores resultados com a maior altura de garras, porém com patinação de 20%.

Lanças (1996a) avaliou o desempenho operacional de três pneus radiais (710/70R38, 20.8R42 e 18.4R42) em função de três pressões de inflação alta: 165,5 kPa (para todos os pneus), "baixa/correta": 49; 90 e 125 Kpa (para cada tipo de pneu traseiro respectivamente) e "Baixa/correta": 42; 69 e 97 kPa (para cada tipo de pneu dianteiro respectivamente), da lastragem (20 e 24 kN) e da patinagem das rodas de tratores agrícolas, com o objetivo de quantificar e avaliar os benefícios do emprego da correta ("baixa") pressão. O autor concluiu que a pressão de inflação do pneu influenciou significativamente nos coeficientes de tração líquido médio (0,35) e bruto médio (0,45) e na eficiência tratória máxima (71,1%), com melhores resultados para as pressões recomendadas ("baixa/correta") em função da carga no rodado.

4.9 Consumo horário de combustível

De acordo com Mialhe (1996), 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. O consumo de combustível pode ser expresso de duas maneiras: em relação ao tempo (l/h; kg/h, etc) e em relação ao trabalho mecânico desenvolvido (consumo específico = g/cv.h; g/kW/h, etc). O consumo horário geralmente é obtido por leitura direta de instrumentos de mensuração que podem ser expressas em termos ponderais (kg/h) ou volumétrico (l/h).

O consumo específico comparado com a eficiência de transmissão de potência, é uma medida de avaliação de economicidade de um motor (Mialhe, 1974; Silveira,1988; Mialhe, 1996), sendo obtido pela seguinte equação:

$$CE \text{ (g/kW.h)} = \frac{\text{consumo horário (kg/h)} \times 1000}{\text{potência desenvolvi da (kW)}}.$$

Gamero et al. (1986) construíram um medidor de consumo volumétrico de combustível, que fornece o valor do consumo de combustível em milímetros, necessitando fazer a conversão da leitura de nível da coluna num correspondente em volume. A montagem no trator é feita interceptando os fluxos de combustível do tanque e do retorno, de maneira que o medidor, através da abertura e fechamento sincronizado das eletro-válvulas, substitua os fluxos do tanque de combustível do trator pelo fluxo do medidor.

Ferreira et al. (1998) realizaram análise econômica de pneus agrícolas de acordo com o nível de desgaste dos mesmos. No estudo os autores utilizaram três alturas de garra 33; 21 e 11 mm para um tipo de rodado 18.4/15 – 30, num sistema de plantio direto. Neste estudo foi concluído, através de custos operacionais e consumo de combustível, que economicamente não é viável a troca de um pneu desgastado por um mais novo, devendo o mesmo ser utilizado até o final da vida útil.

Lanças e Upadhyaya (1997) verificaram que os pneus radiais podem trabalhar ainda melhor quando calibrados com a pressão mais baixa possível, selecionada em função do peso distribuído na roda. Os estudos econômicos mostraram que, considerando-se somente as culturas de tomate industrial, arroz e algodão produzidas na Califórnia, EUA, a economia de combustível e ganho em tempo, poderiam chegar, respectivamente, a 8,7 milhões de litros de diesel por ano e 60.000 horas de trabalho, o que representaria uma economia de quase 2 milhões de dólares por ano. Além disso, o uso desses pneus diminui também o efeito de vibrações e saltos que os tratores com tração nas quatro rodas (4 x 4) podem apresentar quando solicitados por grandes esforços de tração.

4.10 Torque

O torque, segundo Mialhe (1980), é um momento, conjugado ou binário, que tende a produzir ou que produz rotação; é o produto de uma força por um raio comumente denominado de braço de torque. Os equipamentos destinados à mensuração do momento de força ou torque, desenvolvido nos motores ou transmitidos por árvores motrizes, são denominados genericamente de dinamômetros de torção (Mialhe 1996).

De acordo com Hermann et al. (1982) e Silveira (1988) o acréscimo de torque é uma medida, que define bem a versatilidade de um motor, ou seja, a capacidade de aumentar o torque à medida em que há uma diminuição na rotação do motor. Quanto à reserva de torque ou o aumento de torque, que é a diferença entre o torque máximo e o torque na potência máxima, espera-se um valor acima de 10% para motores de aspiração normal e acima de 15% para motores turbinados.

Mialhe (1974) afirma que qualquer aumento de carga imposta pela máquina que for acoplada à TDP do trator exigirá do motor um correspondente incremento de torque, sendo isso obtido com a queda de rotação do motor. Se esse torque for insuficiente, a velocidade cai bruscamente, e o motor "morre".

Gamero, citado por Gamero e Lanças (1996), estudando diferentes opções de regulagens da enxada rotativa utilizou, nos ensaios, transdutor de torque John e Reilhofer, com capacidade de 1 kN.m a 1500 rpm e precisão de 0,1%.

Nagaoka et al. (1996) construíram um dinamômetro de absorção por rotação tipo freio Prony para avaliar o desempenho de motores. Este dinamômetro foi construído utilizando um sistema de freio a disco de automóvel, braço de alavanca, balança e tacômetro. A partir da carga na balança e a velocidade angular, o sistema permitiu obter a potência e o torque de motores de até 5,8 kW e/ou 35 Nm, respectivamente.

Silva (1997) instrumentou um trator com um torçômetro de 3.000 Nm para determinar o torque requerido por um rotocanteirador com diversas rotações do rotor em dois tipos de solos. O autor observou diferenças entre os valores coletados pelo sistema de aquisição de dados ("micrologger") e o painel com indicadores digitais microprocessadas, sugerindo novos ensaios em frequências de aquisição maiores.

4.11 Lastragem e Pressão de Inflação

Barger et al. (1966) concluíram, por meio de equações, que a tração de um pneu pode ser aumentada pela diminuição de sua pressão de inflação, pois assim obtém-se maior área de contato. Também concluíram os autores que, com o aumento da pressão de inflação do pneu, ocorreu um aumento da resistência ao rolamento da roda, quando trafegando sobre areia solta, devido ao aumento do recalque no solo. Nas condições normais de trabalho, no campo, a tração pode, quase sempre, ser aumentada pela diminuição da pressão do pneu; porém, poderá resultar num encurtamento da vida útil do mesmo.

Seraut (1990) estudou o pneu 20.8R38, suportando 39 kN, inflado com pressão de 80 e 160 kPa, o qual constatou que a pressão na superfície do solo é semelhante à pressão de inflação do pneu e que a pressão dentro do solo, a 30 cm, tem relação direta com aquela usada no pneu.

Devido a disposição das lonas nos pneus radiais, há uma redução da deflexão das garras e, por outro lado, aumenta-se a deformação lateral do pneu, resultando numa maior área de contato com o solo. Utilizando-se pressão e carga correta neste tipo de rodado, aumenta-se a deformação lateral sem comprometer sua vida útil, reduz-se os efeitos de vibrações ou saltos (“power hop”) para tratores com tração nas quatro rodas (JOHN DEERE, 1993 e GOODYEAR TIRE & RUBBER, 1994).

Upadhyaya e Wulfsohn (1990) realizaram experimento de campo com três tipos de pneus (16.9 R 38; 18.4 R 38 e 24.5 R 32), três pressões de inflação dos pneus (83; 103,5 e 124 kPa) e três valores de carga aplicada na roda (17,8 ; 22,2 e 26,7 kN) para determinação da área de contato dos pneus e as equações que regem esse fenômeno. Para cada tratamento, a área de contato do pneu foi medida utilizando-se um prato de aço coberto por papel carbono e folhas brancas acima do qual o pneu era colocado (medição estática).

Os resultados apresentaram como melhores equações:

$$\frac{L_c}{d} = 2\sqrt{\frac{\delta_z}{d}}; \quad A_c = \frac{L_c \cdot L_w}{4}(\pi - 2\eta); \quad \frac{L_w}{2R_2} = 2\xi\sqrt{\frac{\delta_z}{2R_2}}.$$

Grisso et al. (1991) avaliaram o desempenho tratório do pneu de tração 18.4 R 42 e 18.4 R 46, montado em tratores agrícolas 4x2 e 4x2 TDA, em três diferentes superfícies de solo. Os resultados foram influenciados pela alta pressão de inflação e condição do solo, cujos fatores reduziram as vantagens do pneu radial 18.4 R 46, não havendo ganho aparente de tração.

Com um trator 4x4 sob condições típicas da Califórnia (EUA), Lanças et al. (1995) concluíram que o uso de pressão correta/baixa nestes pneus, resultaram em alta capacidade tratória, baixo consumo de combustível, alta produtividade (menor tempo) e baixo grau de compactação do solo.

Bashford et al. (1992) estudaram, em condições de campo, o uso de três pressões de inflação (55; 83 e 124 kPa) em um trator equipado com, alternadamente, três tipos de pneus radiais (18.4 R 42; 18.4 R 46 e 12.4 R 54). Neste caso os autores concluíram que, em relação a razão dinâmica de tração, tendo com base a patinagem, o pneu inflado com menor pressão melhora o seu desempenho.

Inoue et al. (1996) estudaram as deformações laterais para pneus traseiros tipo R1 e pneus dianteiros tipo F1, em função do desgaste das garras e frisos, pressões de inflação, cargas verticais e cargas laterais. Nos pneus dianteiros a variável que mais influenciou foi a pressão de inflação, seguida pela altura dos frisos, havendo uma reduzida influência da carga vertical; enquanto que, para os pneus, traseiros a maior influência foi da altura das garras, seguida pela pressão de inflação e pela carga vertical.

A combinação de baixa\correta pressão e o uso de pneus de construção radial tem sido uma alternativa para minimizar o efeito da compactação e aumentar a eficiência de tração. Esses dois fatores resultaram no pneu radial de baixa pressão. Corrêa et al. (1997b) comparam o desempenho de um trator agrícola 4X2 TDA equipado alternadamente com pneus radiais de baixa pressão e com pneus diagonais, para os seguintes modelos: radiais, traseiros (650/75 R 32) 10 lonas, pressão de inflação de 69 kPa (10 lbf/po²), dianteiros (18.4 R 26) 10 lonas, pressão de inflação de 103 kPa (15 lbf/po²); diagonais, traseiros (24.5-32) 10 lonas, pressão de inflação de 138 kPa (10 lbf/po²), dianteiros (18.4-26) 10 lonas, pressão de inflação de 152 kPa (22 lbf/po²). Nestas condições os resultados obtidos permitiram verificar vantagens no desempenho de tração com o uso dos pneus radiais, pois o trator desenvolveu 7,7 % a mais de velocidade de deslocamento e a patinagem reduzida em 28,8 %.

Yanai (1994) estudou a influência da pressão de inflação e da carga sobre o rodado motriz no desempenho do trator, em condições de campo, sob quatro níveis de lastragem e quatro níveis de pressão de inflação combinadas com o uso da tração dianteira auxiliar. O autor concluiu que ocorreu diferença significativa nas variáveis de patinagem, velocidade de deslocamento e potência na barra. O uso da tração dianteira mostrou vantagens em relação aos parâmetros estudados.

Cordeiro (1994) avaliou o efeito da lastragem no desempenho de um trator agrícola e observou que o consumo horário de combustível dependeu apenas da rotação do motor e da carga aplicada na barra de tração, sendo que, tanto as condições de lastragem quanto às condições do solo, não tiveram influência significativa no seu comportamento. O autor concluiu que o trator estava com excesso de peso.

Milan (1986) e Cordeiro (2000) avaliaram o desempenho do trator em função do tipo de pneu e da lastragem e observaram que o nível de carga sobre o rodado

motriz é fator determinante no desempenho do trator, quando se refere à velocidade de deslocamento e a potência na barra de tração.

A carga que atua sobre o rodado motriz influencia o desempenho do trator e, conseqüentemente, o desgaste dos pneus. Esta carga é diretamente afetada pela força de tração, em decorrência da variação nos valores da transferência de peso, o que, segundo Balastreire (1990) em termos práticos, é a capacidade do trator de utilizar o próprio peso em benefício da aderência dos pneus e de ganho de tração.

4.12 Equipamentos para Ensaio de Pneus

Clark e Liljedahl (1969) utilizaram um carro dinamométrico tracionado por um cabo e montado sob monotrilha fixado em cima de uma caixa de solo. O carro dinamométrico foi equipado com "bavâmetro", sistema de controle hidráulico e eletrônico, sistema de tração e frenagem por cabo. O carro também consistia de um equipamento de preparo do solo ligado pelo mesmo cabo. Para avaliar o desempenho de pneus pequenos utilizados em tratores de jardinagem, com montagem simples, duplo e em tandem, variou-se a carga e a condição do solo. O ensaio foi realizado no Laboratório Nacional de Máquinas de Preparo do Solo - NTML em Purdue, Estados Unidos. Os resultados demonstraram que o desempenho do pneu duplo em solo solto foi melhor do que no simples e em tandem apresentou melhor desempenho tratório para todas as condições do solo.

Burt et al. (1979) fizeram várias modificações no equipamento para ensaio de pneus agrícolas, utilizado em ensaios anteriores pelo Laboratório Nacional de Máquinas de Preparo do Solo - NTML, Estados Unidos por Clark e Liljedahl. O equipamento após sofrer estas modificações, recebeu um motor hidráulico para acionamento da roda e um cilindro hidráulico para variação da carga dinâmica do pneu. Foi realizado um ensaio utilizando dois tipos de pneus diagonais (12.4-28 e 12.4-38), com pressão de inflação de 110 kPa (16 psi). Avaliou-se o efeito combinado da carga dinâmica e da redução de velocidade no desempenho dos pneus. Os autores concluíram que o uso deste equipamento foi muito importante para avaliar o desempenho tratório de pneus bem como para selecionar uma carga dinâmica apropriada para cada condição particular de solo. A comparação entre os pneus não

foi possível porque o equipamento foi montado sobre uma caixa de solo que permitia fazer apenas uma parcela a cada preparo.

Upadhyaya et al. (1986) construíram na Universidade da Califórnia, Davis (Estados Unidos) um equipamento para testes de rodas e pneus denominado Máquina para Ensaio de Rodas Individuais (Unique, Mobile, Single Wheel Traction Testing Machine) tendo como principal objetivo o estudo da interação entre o solo e rodas pneumáticas. Os principais parâmetros avaliados e medidos pelo equipamento foram: velocidade de deslocamento, rotação da roda, força de tração, carregamento vertical na roda, torque na roda e testes de comportamento em superfícies rugosas. Foram dois os modos de operação do Equipamento:

- a) Modo de operação com controle da força de tração: a força de tração permanece constante, com valor previamente escolhido, ao longo de todo o deslocamento da roda (12,2 metros de extensão); e
- b) Modo de operação com controle da patinação da roda: a patinação da roda permanece constante, com valor previamente escolhido, ao longo de todo o deslocamento da roda.

O equipamento foi projetado para suportar os seguintes valores:

- Carga Vertical: até 26,7 kN
- Torque do Motor a 2103 rpm: 230 Nm
- Rotação no rodado: variável de 0 a 49 rpm
- Força de Tração máxima: 13,3 kN
- Largura do pneu: máximo 1 m
- Diâmetro do pneu: 0,46 a 2 m
- Distância percorrida pela roda para estabilização dos sinais dos aparelhos: 2,5m
- Comprimento útil percorrido pela roda com medições estáveis: 7 a 8 metros

Concluíram os autores que o equipamento pode ser utilizado na condução de estudos, nas condições naturais do solo, relativos à interação entre o solo e pneus.

Um equipamento totalmente instrumentado capaz de medir parâmetros do solo (recalque e cisalhamento do solo), foi desenvolvido por Upadhyaya e Wulfsohn (1993), na Universidade da Califórnia, Davis (Estados Unidos). Os ensaios realizados em solos úmidos e secos combinados com diferentes níveis de pressão de inflação do pneu

permitiram desenvolver uma equação, com ajuda de análises dimensionais e princípios de energia, para calcular o coeficiente de tração líquida, o coeficiente de tração bruta e a eficiência tratória.

Santos (1999) comparou o método da prensa hidráulica com o método dos elementos finitos para determinar a área de contato de um pneu agrícola tipo BPAF. Utilizou-se também uma prensa acionada por meio de um pistão hidráulico sob seis diferentes condições de cargas axiais e cinco níveis de pressão de inflação, para comparar os dados, concluindo-se que não houve diferenças nas áreas de contatos entre os dois métodos. O método dos elementos finitos teve como vantagem o menor tempo gasto.

Tijink e Koolen (1985) utilizaram um sistema constituído por um tanque de solo sobre uma carreta transportado por guindaste hidráulico, que, por sua vez era puxado por um cabo de guincho acionado eletricamente. A estrutura móvel foi montada sobre trilhos e a estrutura fixa foi montada na fundação dos trilhos. A profundidade do solo no tanque foi de 15 cm e o pneu ensaiado possuía cerca da metade dos pneus agrícolas convencionais. Os autores avaliaram a previsão da resistência ao rolamento e a compactação do solo de pneus, utilizando-se de um penetrômetro, um "shear vane" e um penetrômetro de impacto. Depois de analisarem os resultados, concluíram os pesquisadores que as características do sistema rodado-solo podem ser previstas precisamente para solos uniformes e que outros estudos devem ser realizados em condições de solos que variam com a profundidade.

Maclaurin (1990) utilizou um equipamento de teste móvel para medir a eficiência tratória de grandes pneus de borracha para veículos militares em campo. O equipamento era compreendido por um chassi de esteira equipado com um motor diesel de 82 kW acionando 3 bombas hidráulicas de deslocamento variável. Duas das bombas acionavam os motores de tração e a terceira o motor da roda de teste. A roda de teste era colocada na frente do chassi de esteira, sendo suportada por um mecanismo que permitia o movimento vertical livre e restringindo a transferência de torque devido ao peso. Nos ensaios foram avaliados a força, o torque na roda, velocidade da roda e velocidade de avanço, sendo os dados coletados com o auxílio de um computador a bordo. Os resultados mostraram que números adimensionais de mobilidade descreveram adequadamente os dados medidos e podem formar

a base para a estimativa simples das relações entre a tração, a resistência ao rolamento e o recalque.

Shmulevic et al. (1996) construíram um equipamento para ensaio individual de pneus agrícolas ("Single Wheel Tester") em condições de campo. O equipamento era acoplado na parte traseira do trator e incluía também um sistema para medição das propriedades mecânicas do solo na frente do trator. Este equipamento permitia variar a patinação e as cargas verticais cujos sinais dos sensores eram processados e gravados num sistema de aquisição. A capacidade máxima de carga vertical foi atingida com 50 kN, com um torque de 31 kN.m e diâmetro do pneu a 2 m. Obteve-se como vantagens a facilidade de transporte, a facilidade de manobras, troca de pneus e o sistema de controle de carga vertical automático.

4.13 Projeto e instrumentação de máquinas

O projeto de uma máquina é uma combinação entre os princípios teóricos com as informações práticas, resultantes do bom-senso e da experiência ("know how"). Para se projetar uma máquina são necessários vários anos de estudo e observações. Para Faires (1979) o projeto de uma máquina é bastante complexo e envolve uma série de conhecimentos. Sendo assim, um bom projetista deve ter:

- a) sólidos conhecimentos de resistência e propriedades dos materiais;
- b) conhecimento dos processos de fabricação;
- c) conhecimentos especializados, tais como propriedades particulares dos materiais em atmosferas corrosivas, em baixas ou relativamente altas temperaturas;
- d) bom-senso suficiente para saber quando deve usar um catálogo, uma fórmula empírica ou a teoria;
- e) idéia da aparência que o produto deve ter;
- f) cuidado com o aspecto econômico do projeto.

Ainda segundo o mesmo autor, existem outras considerações importantes e um conjunto amplo de detalhes, a saber:

- Constituirá a máquina um perigo para o operador?
- Estará o operador protegido contra seu próprio erro ou falta de cuidado?

- A máquina oferecerá segurança operacional?
- Será que o nível de ruído estará acima do permitido?
- A montagem é simples?
- E a manutenção?

De acordo com Shigley (1984), as fases de um projeto de engenharia mecânica podem ser representadas pelo esquema mostrado na Figura 4.

Para Niemann (1971a), é com base em cálculos e análises preliminares que se sabe onde devem ser feitos certos gastos e certas economias. Somente depois de obtidas tais informações é que se pode estabelecer numericamente, da maneira mais exata possível, as exigências técnicas, como, por exemplo: potências, velocidades, rotações, capacidades, instalações necessárias, etc.

Baseado na teoria de projetos de máquinas agrícolas, Nagaoka (1995) projetou, construiu, avaliou e comparou o desempenho de dois tipos de cortadoras-arrancadoras de feijão, obtendo resultados de eficiência de arranquio em até 99,5%.

Upadhyaya et al. (1993) instrumentaram um equipamento de ensaio de pneus para obter propriedades do solo importantes na avaliação de tração. A instrumentação possibilitou obter dados de recalque, cisalhamento do solo e índice de cone em condições de campo. Os resultados dos ensaios demonstraram que a instrumentação foi bem sucedida.

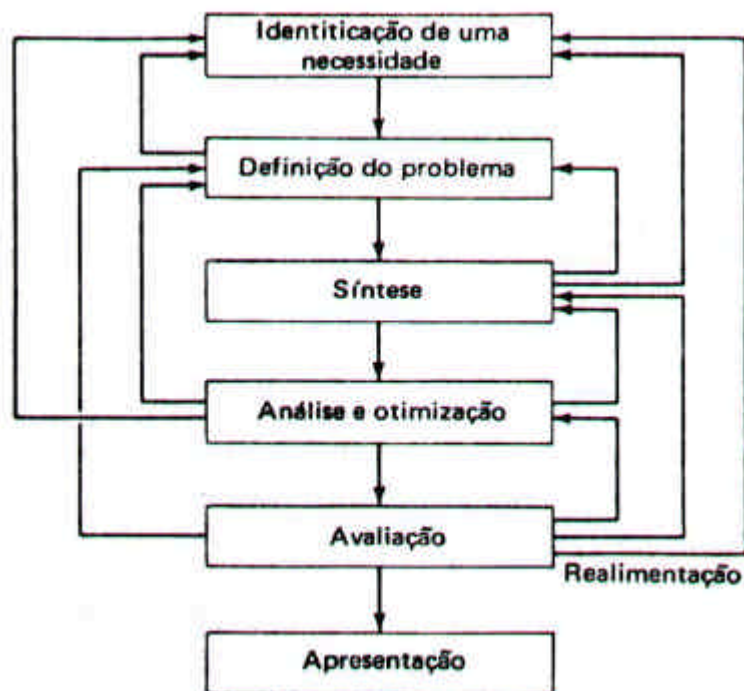


Figura 4. As fases de um projeto de engenharia mecânica, segundo Shigley, 1984.

Silva (1997) projetou e construiu um sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e implementos agrícolas em trabalhos de campo, utilizando indicadores digitais e sistema computadorizado de aquisição de dados. O sistema de aquisição computadorizado ("micrologger"), em conjunto com os painéis, reduziu o risco de perda de dados e proporcionou duas formas de aquisição, a manual e a computadorizada. Nos ensaios de campo este sistema mostrou que a frequência de aquisição de 1 a 5 Hz proporcionou resultados de alta precisão das grandezas monitorizadas com grande quantidade de dados coletados.

Santos (1998) projetou e construiu um penetrômetro hidráulico-eletrônico composto por um pistão hidráulico, uma célula de carga, uma haste de aço contendo uma ponteira cônica de ângulo sólido de 30° , de acordo com a norma ASAE S 313.2, (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 1995), comandos hidráulicos, célula de carga, potenciômetro e um sistema eletrônico de aquisição de dados. Este equipamento operou de maneira rápida, precisa, não apresentando problemas mecânicos, hidráulicos ou eletrônicos, representando uma grande evolução tecnológica em relação a

outros métodos de determinação do índice de cone utilizados no Brasil, pois, eliminou o problema da variação de velocidade de penetração influenciada pelo operador.

Lanças et al. (2000a) equiparam um penetrômetro hidráulico-eletrônico com um Sistema de Posicionamento Global Diferencial (DGPS), instalado em carreta rodoviária, e elaboraram um programa para tratar, gerar e manipular os dados levantados para criação de gráficos em planilhas eletrônicas e mapas de isocompactação do solo agrícola. O sistema mostrou-se prático e flexível para ser aplicado tanto em pesquisas de campo como em grandes áreas agrícolas.

A ergonomia é o estudo da adaptação do trabalho ao homem. Lida (1990) comenta que a ergonomia é o estudo do relacionamento entre o homem e o seu trabalho, equipamento e ambiente e, particularmente, a aplicação dos conhecimentos de anatomia, fisiologia e psicologia na solução dos problemas surgidos deste relacionamento. Numa situação ideal, a ergonomia deve ser aplicada desde as etapas iniciais do projeto de uma máquina, ambiente ou local de trabalho visando sempre o conforto e a segurança do operador.

De acordo com Delgado (1989), os fatores ambientais que mais influenciam no rendimento e na saúde do operador de uma máquina agrícola são: o ruído, as vibrações mecânicas, as condições climáticas, as partículas e produtos químicos suspensos no ar e a visibilidade. Embora não haja estudos sobre o efeito conjunto destes fatores, sabe-se que a ação isolada de cada um é nociva ao operador.

Para avaliar e determinar o nível de ruído em tratores existem várias normas que fixam os processos de medida. Fernandes et al. (1990) optaram pela medição de ruído nos tratores em situação real de trabalho de campo. Para tal, utilizam a norma NBR-9999 (1987), a qual fixa que as medidas devam ser realizadas em pista de concreto que, ao nível internacional, se identifica com a norma ISO 5131 (1982).

Delgado (1987), estabeleceu que nos níveis de ruídos entre 65 e 85 dB(A) podem ocorrer reações físicas no operador tais como: aumento da pressão sanguínea, do ritmo cardíaco e da tensão muscular, e a diminuição da irrigação sanguínea da pele. Níveis de ruído entre 80 e 120 dB(A) podem causar alterações reversíveis ou irreversíveis no ouvido e perdas crescentes de percepção. Exposições acima de 120 dB(A) podem provocar redução na capacidade auditiva (norma UNE 68-035-86).

No Brasil, a ABNT (1987), através da norma NBR 10152 (NB 95), fixa os limites de conforto para cada ambiente, sendo considerado desconfortável o ruído acima de 75 dB(A) para qualquer ambiente.

Fernandes (1991) avaliou 300 tratores dos mais diferentes modelos, anos e locais de trabalho e verificou que o nível de ruído de todos os tratores fabricado ou existente no Brasil excedeu o limite de 85 dB para uma jornada de trabalho de 8 horas por dia. Os tratoristas poderiam trabalhar no máximo 1 hora e 45 minutos para os tratores de 9 a 34 kW e de no máximo 3 horas e 30 minutos para os tratores de 37 a 146 kW.

Com o objetivo de avaliar o real comportamento dos níveis de ruído de alguns tratores e equipamentos agrícolas, Kahil (1995), combinou cinco tratores com onze diferentes equipamentos operando em diferentes situações e concluiu que os tratores Valmet 128 TDA e Valmet 880, apenas com o motor funcionando, não permitiam ao operador permanecer em trabalho de oito horas diárias. O picador de palha Triton 2300 e o arado de disco MF 206 apresentaram maiores médias de níveis de ruído entre os equipamentos.

Robin (1987) relata que pesquisas realizadas com tratores agrícolas, com e sem lastro e de diferentes massas, indicaram que as vibrações com frequências compreendidas no intervalo de 2 a 4 Hz apresentaram os maiores níveis de aceleração de frequência (m/s^2). Outros resultados de pesquisas demonstraram a necessidade de se controlar com rigor a exposição do corpo humano a vibrações de frequências situadas entre 2 e 5 Hz, visto ser essa, aparentemente, a frequência de ressonância natural do corpo humano e que pode provocar danos na coluna vertebral da pessoa exposta.

Delgado citado por Robin (1987), indica os resultados obtidos por Coermann, com profissionais em diferentes posições de trabalho, expostos à vibração em diversas frequências e observou que próximo de 5 Hz houve uma ressonância principal, seguida de uma ressonância secundária perto dos 11 Hz, e para frequências inferiores, a impedância diminui rapidamente a ponto de, abaixo dos 2 Hz, o corpo humano se comportar praticamente como massa pura.

A AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS Standards (1999a) propõe uma padronização na construção de proteção em equipamentos agrícolas. Esta padronização fornece normas para minimizar o potencial de danos pessoais provocado pelo risco associado com equipamentos agrícolas. Um dos pontos importantes

desta norma é a distância segura entre aberturas de peças, grades e união de peças para evitar mutilação de membros. A ASAE recomenda uma distância mínima de 25 mm para os dedos da mão, 100 mm para as mãos, 120 mm para os braços e pés, 180 mm para as pernas e 550 mm para o corpo.

As dimensões e espaços a serem considerados para uma pessoa de peso médio de 638 N de acordo com Provenza (1977), Robin (1987), Witney (1988) e Delgado (1990), estão apresentados no Quadro 4.

Quadro 4. Dimensões para avaliação ergonômica

membros	Comprimento (cm)
comprimento dos braços:	72
comprimento das pernas:	92
largura dos ombros:	44
altura:	175
altura dos ombros:	165
altura quando sentado:	138
alcance máximo das mãos:	66
abertura máxima dos braços:	176

A International Organization for Standardization (1977), fornece outros detalhes ergonômicos importantes, como a distância entre o encosto do assento ao volante, ângulo de inclinação do encosto do assento, a relação da altura do assento (A) e a distância horizontal do encosto do assento aos pedais de comandos (B), dimensões do assento e espaçamento dos pedais. Estas medidas podem ser observadas nas Figuras 5 e 6.

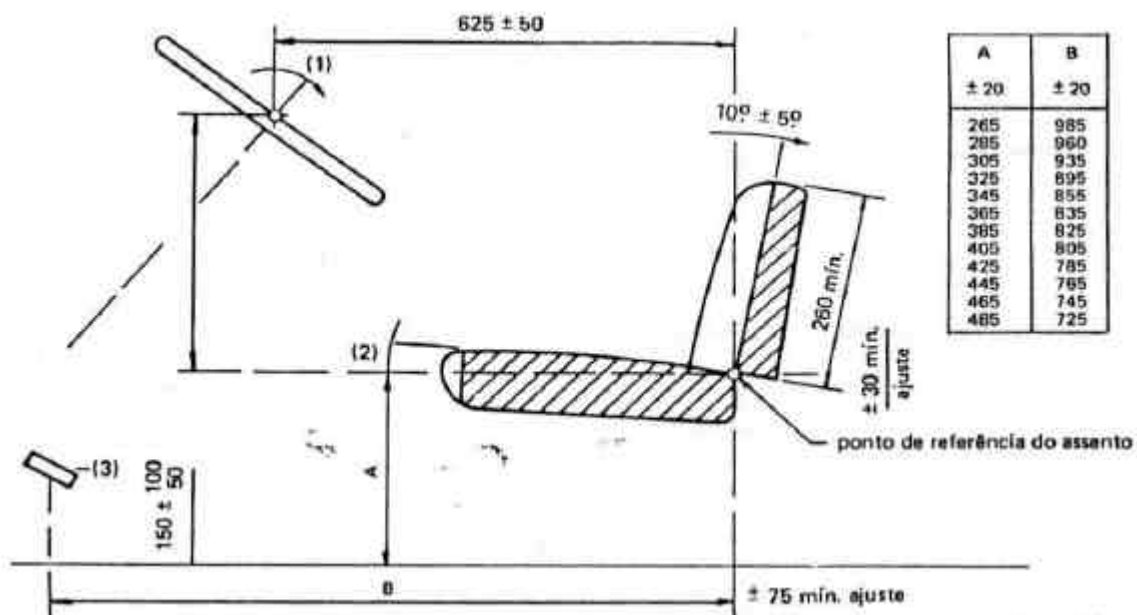


Figura 5. Localização de comandos (dimensões do assento em milímetros). Fonte: Norma ISO 4253.

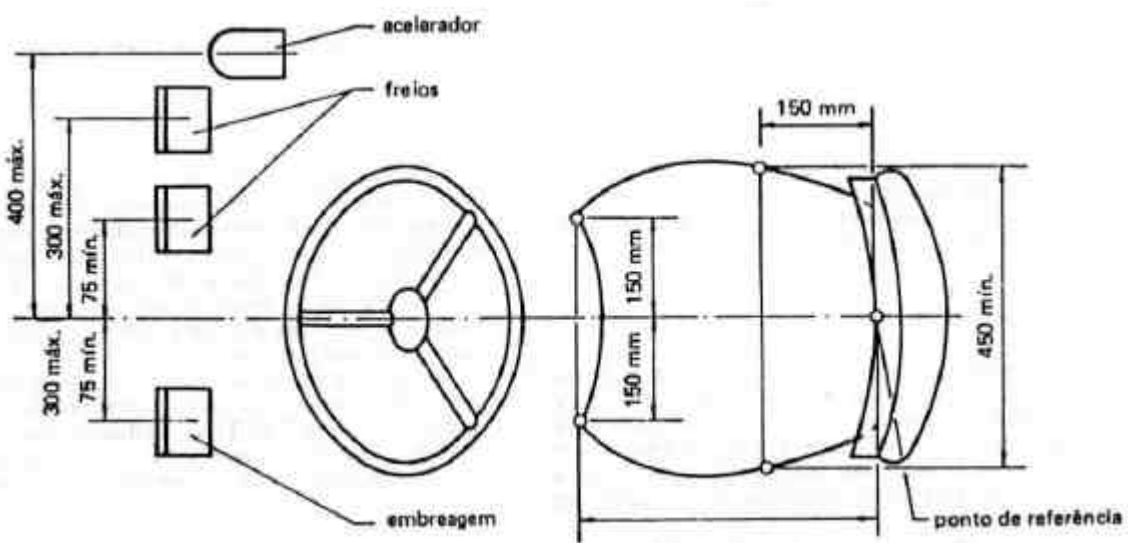


Figura 6. Localização de comandos (planta). Fonte: Norma ISO 4253.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Material

5.1.1 Projeto de construção do equipamento

A construção da estrutura e a instrumentação do equipamento foram desenvolvidas no Laboratório do Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrícolas - NEMPA do Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP, Fazenda Lageado, em Botucatu/SP.

5.1.2 Área experimental

Os ensaios do equipamento foram conduzidos em condição de campo, na pista de ensaio do NEMPA. De acordo com Cordeiro (2000), a pista de ensaio localiza-se na Fazenda Experimental Lageado, nas coordenadas geográficas $22^{\circ} 49'$ latitude Sul e $48^{\circ} 25'$ longitude Oeste de Greenwich, com altitude média de 770 metros (Cordeiro, 2000). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Roxo (Carvalho et al., citado por Cordeiro Lemos, 2000), com declividade média de 0,7% no sentido do comprimento e nivelado no sentido da largura (Figuras 7 e 8).

A calibração da célula de carga foi realizada no Laboratório de Construções Rurais, e todos os outros sensores foram calibrados no NEMPA, ambos do Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP.



Figura 7. Vista aérea da pista utilizada para ensaio do equipamento



Figura 8. Vista parcial da pista utilizada para ensaio do equipamento mostrando as superfícies do solo sem e com cobertura vegetal.

5.1.3 Trator utilizado para acionamento do equipamento

Para avaliar o desempenho dos pneus, foi utilizado um trator SLC-John Deere* modelo 6600 (Quadro 5), acoplado ao equipamento, devidamente regulado e instrumentado, conforme apresentado na Figura 9.

Quadro 5. Características técnicas do trator utilizado

Características	Descrição
Trator	John Deere 6600
Motor	John Deere 6059T
Cilindros	6
Cilindrada (l)	5,9
Relação de compressão	17,8:1
Tipo de aspiração	Forçada
Potência (kW) e rotação nominal	89 a 2300
Torque máximo/NBR5484 (Nm)	469
Velocidades (km/h)	2,2 a 28,7
Pneus dianteiros (radial)	14.9 - R 26
Pneus traseiros (radial)	620/75 - R 30
Altura da Barra de Tração (mm)	480
Distância entre eixos (mm)	2640
Bitola dianteira (mm)	1640
Bitola traseira (mm)	1810
Massa (kg)	5110
Rotação da tomada de potência (rpm)	540/1000
Categoria do sistema hidráulico	II
Força máxima de levantamento do hidráulico (kgf)	4650

* Citação de marcas e nomes de empresas não implicam em recomendações ou indicação dos autores



Figura 9. Trator utilizado na calibração e ensaio do equipamento

5.1.4 Pneus

Utilizou-se nas calibrações e nos ensaios deste trabalho, dois pneus de tração do tipo R1, de baixa pressão e alta flutuação - BPAF da Trelleborg, fabricados na Suécia e indicados para tratores agrícolas, tendo como características diferenciais as suas larguras, as pressões, as circunferências de rodagem, os seus diâmetros, sendo o menor utilizado no eixo dianteiro de tratores e o maior no eixo traseiro, conforme pode ser visto na Figura 10 e Quadro 6.

Para avaliar e comparar o desempenho dinâmico de dois pneus de tração do tipo R1, foram utilizados no experimento um pneu radial da Goodyear, fabricado na França e um pneu diagonal da Goodyear, fabricado no Brasil, ambos indicados para tratores agrícolas, tendo como principais características diferenciais o tipo de construção, o índice de carga, a largura, a pressão entre outros. As características técnicas e visuais podem ser vistas nas Figuras 11 e 12 e também no Quadro 7.



Figura 10. Vista frontal (à esquerda) e vista lateral (à direita) do pneu BPAF-1 (dianteiro) e BPAF-2 (traseiro) utilizados nos ensaios do equipamento.

Quadro 6. Características técnicas dos pneus utilizados na calibração e avaliação do equipamento

Características	Pneu BPAF-1 (dianteiro)	Pneu BPAF -2 (traseiro)
Dimensão	500/60-26.5	600/60-38
Lona/LI*	6	14
Modelo	414 TL	414 TL
Profundidade da garra (mm)	50	60
Aro	16.00x26.5	DW20x38
Diâmetro (mm)	1250	1670
Largura (mm)	500	600
Circunferência de rodagem (mm)	3780	5010
Raio de carga estática (mm)	580	770
Carga máx/Pressão (kg/bar**) a 40 km/h	1605/1.0	3840/2.0
Carga máx/Pressão (kg/bar) a 10 km/h	2195/1.2	5375/2.5

* Índice de carga

** 1 bar = 100 kPa = 14,503 psi

TL = Sem câmara



(a)



(b)

Figura 11. Vista frontal do pneu radial (a) e do pneu diagonal (b), utilizados no experimento.



(a)



(b)

Figura 12. Vista lateral do pneu radial (a) e do pneu diagonal (b), utilizados no experimento.

Quadro 7. Características técnicas dos pneus utilizados no experimento com o equipamento

Características	Pneu Radial	Pneu Diagonal
Dimensão	620/75 R 30 (23.1-R30)	23.1-30
Lona/LI*	8	12
Modelo	DT 820	Dyna Torque II R1
Profundidade da garra (mm)	55	40
Aro	DW20A	DW20A
Diâmetro (mm)	1710	1707
Largura da seção (mm)	595	587
Circunferência de rodagem (mm)	5090	5029
Raio de carga estática (mm)	771	775
Carga máx/Pressão (kg/bar**) a 40 (32) ¹ km/h	3550/1.6	3845/1.6 ¹
Carga máx/Pressão (kg/bar) a 10 (16) ² km/h	7315/2.8	4614/1.6 ²

* Índice de carga

** 1 b ar = 100 kPa = 14,503 psi

^{1, 2} pneu diagonal

5.1.5 Combustível

Uma amostra do óleo diesel utilizado no experimento foi analisada pelo CMAA/IAC - Jundiaí - SP. Na determinação da densidade foi utilizado um densímetro JUMO APSA, escala 0,7 a 1,0 kg/l, leitura de 0,005 kg/l e um termômetro de mercúrio, escala -2 a 52° C, leitura de 1°C, proveta, vasilha de alumínio e resistência elétrica (Cordeiro, 2000).

Obteve-se a seguinte equação para o cálculo da densidade do combustível utilizado:

$$D = \frac{860,55 - (0,6 * t)}{1000}; \quad (1)$$

$$R^2 = 0,993$$

em que:

D = densidade do combustível (kg/L)

t = temperatura do combustível (°C)

5.1.6 Sistema de aquisição de dados ("micrologger")

Para monitorar e gravar continuamente os sinais gerados pelos sensores, utilizou-se um sistema de aquisição de dados fabricado pela Campbell Scientific, Inc. modelo CR23X Micrologger, Figura 13, cujas características principais são apresentadas no Quadro 8.

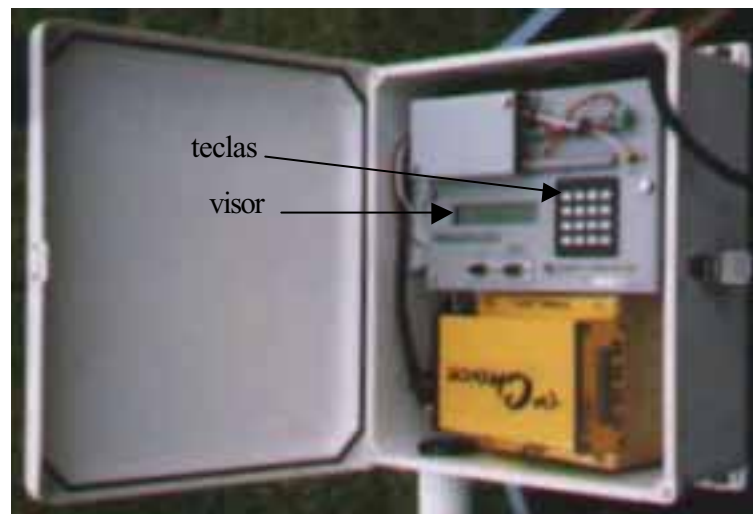


Figura 13. Sistema de aquisição de dados ("Micrologger") utilizado no equipamento

Quadro 8. Características técnicas do "micrologger" (Fonte: Catálogo do fabricante)

Características	Descrição
Fabricante	Campbell Scientific, Inc.
Modelo	CR23X
Entrada de canais analógicos	12 diferenciais e 24 não diferenciais
Canais contadores de pulso	4
Canais de saída com excitação comutada	4
Portas de controle digital	8 (voltagem 0 a 5 V)
Saídas analógicas contínuas	2
Resolução analógica	0,33 μ V
Bits analógicos para digital	14
Faixa de temperatura padrão ($^{\circ}$ C)	-5 a 50
Faixa de temperatura estendida ($^{\circ}$ C)	-55 a +80
Memória RAM	1 Megabyte
Valores de dados armazenados	570000(em baixa resolução)
Dimensões	24 x17,8 x9,6 cm
Massa	3,8 kg

5.1.7 Painéis

Para auxiliar na calibração dos sensores utilizou-se também dois painéis contendo:

- indicador do medidor de vazão, modelo H7EC-B;
- contadores digitais simples de pulso para as rodas, modelo CD-60, tipo PNP;
- indicador de força integrada, contador unidirecional que totaliza a quantidade de pulsos enviados através de um circuito conversor de voltagem frequência;
- indicador da força instantânea, tipo "MICRO-P", modelo MR1JHSG;
- indicador digital de temperatura, modelo ITD, precisão 0,1% + 2 dígitos;
- cronômetro digital, modelo CT-40, precisão de 0,01% da leitura.

A Figura 14 mostra o painel 1 que foi utilizado para obter a temperatura do combustível e o painel 2 para obter dados do cronômetro, pulsos elétricos da roda dianteira do trator, pulsos da roda traseira do trator e o acionamento de duas chaves (1: liga/desliga e 2: "zero geral" que zera todos os indicadores). Os dois painéis possuíam mesmas dimensões: 485 x 180 x 250mm.



Figura 14. Painel 1 (em cima) e painel 2 (em baixo) utilizado nas calibrações dos sensores

5.1.8 Célula de carga

Para medir a força de tração gerada pelo pneu do equipamento utilizou-se uma célula de carga marca SODMEX, com capacidade de 50 kN, com as especificações mostradas no Quadro 9 a seguir.

Quadro 9. Principais características da célula de carga (Fonte: Catálogo do fabricante)

Características	Descrição
Fabricante: SODMEX -Indústria e Comércio de Material de Extensiometria Ltda	
Tipo	N - 400
Escala nominal	0 - 50 kN
Sobrecarga sem alteração das características	1,5 x escala nominal
Sobrecarga sem destruição do transdutor	3,0 x escala nominal
Temperatura de utilização	-20 a 80 °C
Condição de aferição	tração
Alimentação recomendada	10 V
Alimentação máxima	12 V
Isolamento	>2000 M Ω (sob 15 V)
Resistência de entrada	430,4 Ω
Resistência de saída	351,1 Ω
Constante do sensor ("off-set")	-0,001mV/V
Sensibilidade para escala nominal em tração	2,007 mV/V (com 3 m de cabo)
Temperatura de compensação	23 a 82 °C
Variação da constante do sensor na faixa de compensação	-0,0042% da escala nominal / °C
Variação da sensibilidade na faixa de compensação	0,020% da escala nominal / °C
Erro de linearidade	0,10% da escala nominal
Erro de repetibilidade	0,05% da escala nominal
Erro de histerese	0,05% da escala nominal

Para fazer a calibração da célula de carga, utilizou-se uma prensa hidráulica (EMIC) instrumentada com uma célula de carga aferida pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO).

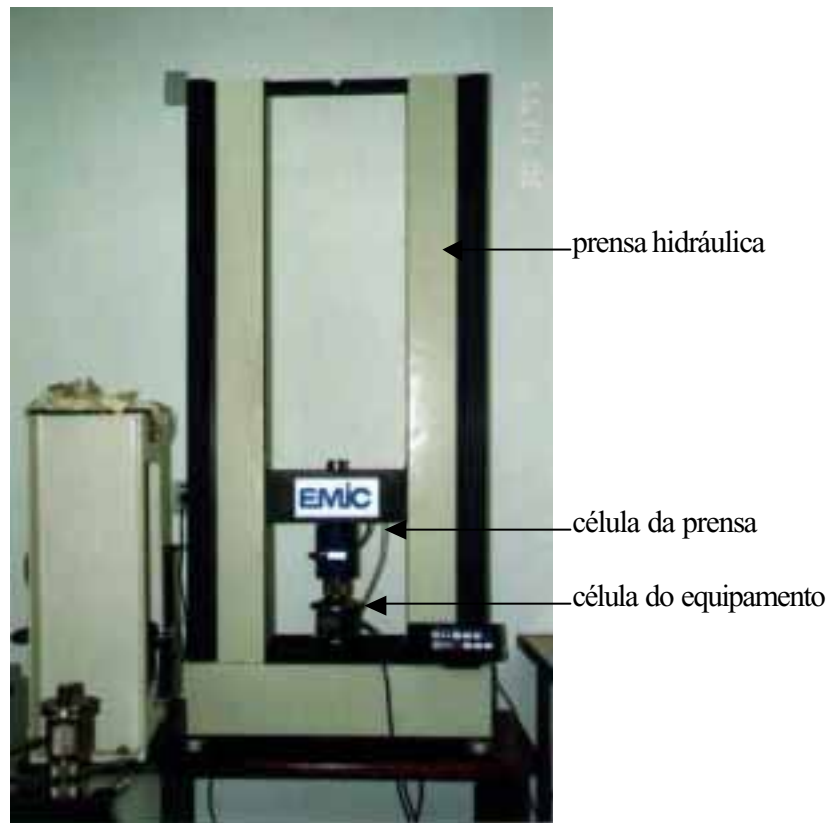


Figura 15. Prensa hidráulica utilizada na calibração da célula de carga do equipamento

5.1.9 Torciômetro (transdutor de torque)

Utilizou-se uma célula de carga (descrita no sub item 5.1.8), um braço de alavanca de 0,26 m, um pórtico de 3 m de altura, com talha (marca KOCH modelo SC3) capacidade para 30.000 N e um torciômetro, com capacidade para 3.000 Nm para medir o torque na entrada da caixa de marchas do equipamento sendo apresentadas as suas características no Quadro 10.

Quadro 10. Principais características do torciômetro

Características	Descrição
Fabricante: SODMEX -Indústria e Comércio de Material de Extensiometria Ltda	
Tipo	MT - 202
Escala nominal	0 - 3000 Nm
Sobrecarga sem alteração das características	1,5 x escala nominal
Sobrecarga sem destruição do transdutor	3,0 x escala nominal
Temperatura de utilização	-20 a 80 °C
Condição de aferição	torque
Alimentação recomendada	10 V
Alimentação máxima	12 V
Isolamento	>2000 M Ω (sob 15 V)
Resistência de entrada	386,7 Ω
Resistência de saída	353,0 Ω
Constante do sensor ("off-set")	-0,007mV/V
Sensibilidade para escala nominal em sentido horário	1,994 mV/V (com 3 m de cabo)
Sensibilidade para escala nominal em sentido horário	-1,995 mV/V (com 3 m de cabo)
Temperatura de compensação	27 a 76,9 °C
Varição da constante do sensor na faixa de compensação	-0,01% da escala nominal / °C
Varição da sensibilidade na faixa de compensação	0,02% da escala nominal / °C
Erro de linearidade	0,50% da escala nominal
Erro de repetibilidade	0,10% da escala nominal
Erro de histerese	0,10% da escala nominal

5.1.10 Tacômetro (sensor ótico de rotação)

Para determinar a rotação na entrada da caixa de marchas do equipamento, utilizou-se um tacômetro desenvolvido por Silva (1997).

5.1.11 Geradores de pulsos

Foram utilizados três geradores de pulsos fabricados por S&E Instrumentos de Testes e Medições, modelo GIDP-60, instalados numa roda dianteira e numa roda traseira do trator e na roda motriz do equipamento para medir suas rotações. As características técnicas estão apresentadas no Quadro 11.

Quadro 11. Principais características do gerador de pulsos

Características	Descrição
Fabricante	S&E Instrumentos de Testes e Medições
Modelo	GIDP-60-U-12V
Velocidade máxima	tipo normal: 10.000rpm
Alimentação	12 Vcc (10 a 16 Vcc)
Frequência máxima de saída	8.000Hz
Temperatura máxima de operação	70 °C
Cabo de ligação	capa PVC/PVC bitola AWG 26 com malha de blindagem
Comprimento do cabo	padrão 2m

5.1.12 Sensor de velocidade por radar

A velocidade de deslocamento foi determinada por meio de uma unidade de radar fabricada pela DICKY-JOHN, modelo DjRVS II, instalada na parte traseira do equipamento, cujas características técnicas estão apresentadas no Quadro 12.

Quadro 12. Principais características do radar (Fonte: Catálogo do fabricante)

Características	Descrição
Fabricante	Dickey-John
Modelo	DjRVS II
Velocidade máxima	34 km/h (21 mi/h)
Alimentação	12 Vcc
Ângulo de fixação	$35^{\circ} \pm 5^{\circ}$
Altura de fixação	0,61 m a 2,44 m (2 a 8 feet)

5.1.13 Sensor de temperatura

Utilizou-se um sensor de temperatura fabricado por S&E Instrumentos de Testes e Medições, modelo ITD para medir a temperatura do combustível. As características deste equipamento estão descritas no Quadro 13.

Quadro 13. Principais características do sensor de temperatura

Características	Descrição
Fabricante	S&E Instrumentos de testes e Medições
Modelo	ITD
Alimentação	12 Vcc
Sensor	platina (Pt 100)
Resistência	100 Ohms a 0°C
Faixa de medição	-200°C a 800°C
Tempo de resposta	5 segundos
Influência térmica na leitura	$\pm 0,007\%$ por grau

5.1.14 Fluxômetro

O consumo de combustível foi medido por um fluxômetro fabricado pela FLOWMATE OVAL, modelo M-III, com as características técnicas mostradas no Quadro 14 a seguir.

Quadro 14. Principais características do fluxômetro

Características	Descrição
Fabricante	Flowmate Oval
Modelo	Oval M -III
Alimentação	12 - 24 VDC
Precisão	±1%
Faixa de temperatura de medição	-20°C a 80°C
Frequência máxima	1000 Hz

5.1.15 Balança eletrônica

Cada nível de carga utilizada no pneu foi aferida com auxílio de uma balança eletrônica, tipo plataforma, fabricada pela J-Star Eletronics, cujas características técnicas estão mostradas no Quadro 15 a seguir.

Quadro 15. Principais características da balança eletrônica

Características	Descrição
Marca	J-Star Eletronics
Modelo	6000
Distribuidor	Casalli do Brasil S.A.
Alimentação	110V com conversor para 12VDC
Capacidade bruta	33.240 N
Painel indicador de peso digital	P/N 146771
Precisão em fundo de escala	1%

5.1.16 Penetrômetro hidráulico-eletrônico

Utilizou-se um penetrômetro hidráulico eletrônico montado no trator, desenvolvido por Castro Neto (2000)* e um sistema de processamento de dados elaborados por Castro Neto et al. (1999a), para importar os dados coletados no sistema de aquisição de dados do penetrômetro, efetuar a consistência e obter valores de índice de cone do solo.

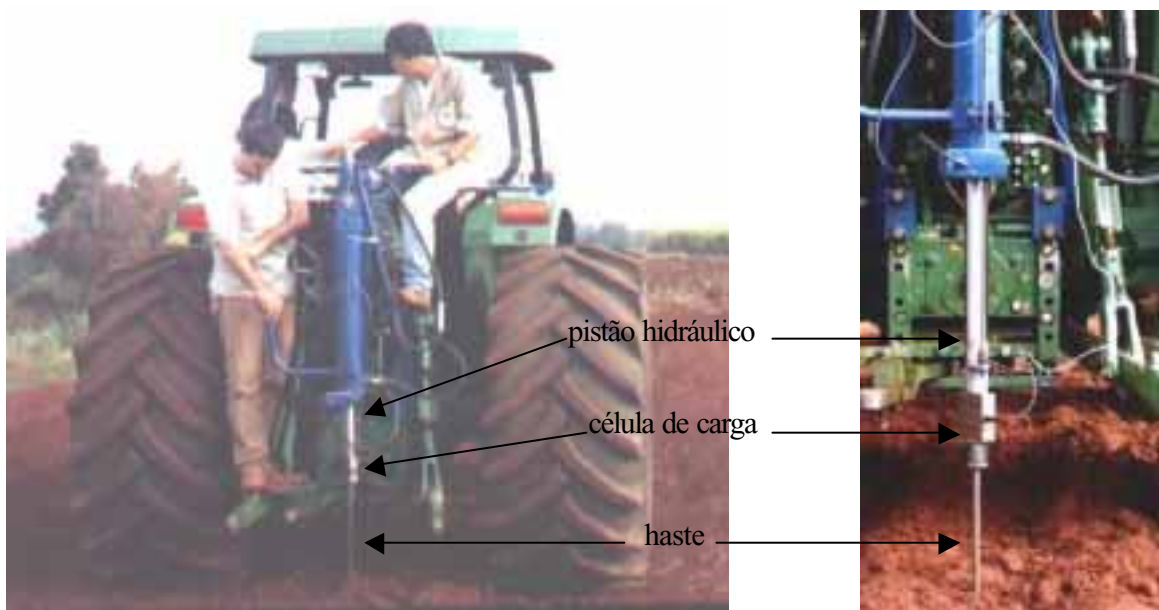


Figura 16. Penetrômetro hidráulico-eletrônico utilizado no experimento para avaliar a compactação do solo.

* CASTRO NETO, P. Desenvolvimento e avaliação de metodologia para determinação de parâmetros físicos do solo relacionados a dias trabalháveis com máquinas agrícolas.. Botucatu, 2000. Tese (Doutorado em Agronomia/Programa Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrômicas, Universidade Estadual Paulista. No prelo.

5.1.17 Materiais utilizados na construção do equipamento

Quadro 16. Principais materiais utilizados na construção do equipamento

Material	Quantidade	Dimensões
Viga em "C" laminada	2	203x730 mm
Viga em "C" laminada	2	203x2630 mm
Viga em "C" laminada	4	203x2380 mm
Viga em "C" laminada	2	203x2640 mm
Viga em "C" laminada	2	203x3280 mm
Ferro chato	6	68x140 mm
Ferro chato	2	25,4x100 mm
Ferro chato	2	12,7x200 mm
Parafuso com porca e arruela	12	12,7x38 mm
Lastro metálico - ferro fundido	12	50 kg
Sistema de fiação elétrica	10 m	2,5x6000
Bateria 12 volts	1	comercial
Transmissão por juntas universais	1	comercial
Assento do operador com cinto de segurança	1	comercial
Porca	6	Ø38,1 (mm)
Rolamento	2	nº 6311
Eixo do rolamento	2	Ø55x100 (mm)
Rolamento	12	r ^º 6012
Eixo do rolamento	12	Ø60x100 (mm)
Sistema de levantamento hidráulico	1	Maschietto
Sistema de transmissão do trator MF 275	1	12 marchas
Sistema de transmissão da TDP à caixa de marchas	1	-
Solda elétrica	1	comercial

5.2 Métodos

5.2.1 Dimensionamento dos órgãos e elementos de máquinas

O projeto de construção do equipamento para ensaio individual de pneu foi desenvolvido com base nos dados do equipamento projetado por Upadhyaya et al. (1986), procurando atender os seguintes pontos:

- Potência mínima exigida na TDP: 62 kW;
- Rotação de entrada: 540 rpm e/ou 1.000 rpm;

- Torque exigido do motor: 469 N.m;
- Força de Tração líquida máxima do equipamento: 20 kN
- Embreagem exigida do trator: do tipo independente;
- Velocidade disponível no equipamento: de 0 a 15 km/h;
- Sistema hidráulico do trator: capacidade de levante de 25.0000 N;
- Diâmetro do pneu: máximo 2.000 mm;
- Largura do pneu: máximo 1.000 mm;
- Carga no rodado: máximo 23.700 N;
- Quadro interno removível e ponta de eixo tipo flange para troca de pneus.

Os órgãos e elementos de máquinas do equipamento foram dimensionados segundo a metodologia de Niemann (1971a, 1971b, 1971c), Faires (1979) e Stipkovic Filho (1983).

5.2.1.1 Relação de transmissão (RT)

Para calcular a velocidade do equipamento para cada marcha, foi utilizada a relação de transmissão de acordo com o relatório de ensaio do CENEA (1975) para o trator Massey Ferguson, modelo 275.

a) Relação da constante de transmissão da engrenagem secundária e a primária:

$$RT = 1,875:1$$

b) Relação da caixa de transmissão para cada marcha:

$$RT_1^a = 2,930:1$$

$$RT_2^a = 2,000:1$$

$$RT_3^a = 1,090:1$$

$$RT_4^a = 0,890:1$$

$$RT_{Re} = 2,200:1$$

c) Relação da unidade de redução epicíclico:

$$RT_{reduzida} = 4,000:1$$

$$RT_{simples} = 1,000:1$$

d) Relação coroa e pinhão:

$$RT = 3,455:1$$

e) Relação da unidade de redução epicíclico (redução final):

$$RT = 3,140:1$$

f) Relação de transmissão total (RTt) para cada marcha

$$RTt_1^a = 238,400:1$$

$$RTt_2^a = 162,730:1$$

$$RTt_3^a = 88,690:1$$

$$RTt_4^a = 72,420:1$$

$$RTt_{Re-1} = 179,000:1$$

$$RTt_5^a = 59,600:1$$

$$RTt_6^a = 40,683:1$$

$$RTt_7^a = 22,172:1$$

$$RTt_8^a = 18,104:1$$

$$RTt_{Re-2} = 44,751:1$$

g) Fórmula utilizada para cálculo das velocidades teóricas para cada marcha:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} \quad (2)$$

em que:

v = velocidade (m/s)

$\pi = 3,1416$

D = diâmetro do pneu (m)

n = rotação do pneu (rpm)

5.2.2 Adequação ergonômica

As dimensões e distâncias entre aberturas de peças foram projetadas de acordo com as recomendações e sugestões de Provenza (1977), Robin (1987), Delgado (1990) e ASAE Standards (1999b).

5.2.3 Sistema de aquisição de dados ("micrologger")

A frequência de aquisição dos sinais dos sensores foi analisada durante a calibração dos sensores e aplicada no programa do "Micrologger" nos ensaios posteriores. Seguiram-se as instruções contidas no manual de instruções da CAMPBELL CIENTIFIC - "CR23X Microlloger" (1998), em Silva (1997) e em Santos (1998) para programar o sistema de aquisição de dados dos sensores.

O "Micrologger" foi programado para monitorar o interruptor (instalado no lado externo da caixa) e processar a leitura ("varrer") todos os canais dos sensores assim que a chave fosse acionada, iniciando assim a gravação dos dados. O programa determina o encerramento da gravação pelo desligamento da chave no final da coleta.

As instruções de programa podem ser inseridas no "Micrologger" diretamente pelo teclado ou transferidas de um computador com ajuda de um software PC200W, fornecido pelo fabricante do "Micrologger", que permite trabalhar em ambiente Windows do computador. Este Software permite também programar, descarregar e gravar os dados coletados pelo "micrologger".

A chave liga/desliga do painel foi instalada próximo à chave liga/desliga do "Micrologger", na caixa deste, permitindo ao operador ligar ou desligar simultaneamente todos os coletores de dados.

5.2.4 Calibração dos sensores em laboratório

5.2.4.1 Célula de carga (força)

A célula de carga (SODMEX) foi submetida a várias cargas pela prensa hidráulica (EMIC) e as leituras em ambas as células foram avaliadas e comparadas por meio de regressão.

5.2.4.2 Torciômetro (torque)

A calibração do torciômetro foi realizada por um sistema constituído basicamente de um eixo acoplado ao torciômetro, um braço de alavanca (0,26 m), célula de carga, talha e apoio do eixo, em que para cada torque aplicado foi medida a força aplicada na célula de carga para posterior cálculo do torque multiplicando-se pelo comprimento da alavanca.

5.2.4.3 Tacômetro (rpm)

O tacômetro foi calibrado com auxílio de uma furadeira de rotação progressiva para girar o eixo. Os dados foram registrados no "Micrologger" para posterior avaliação e comparação por regressão.

5.2.4.4 Geradores de pulsos (rpm)

Os geradores de pulsos foram calibrados simultaneamente no asfalto contando-se manualmente o número de voltas de cada roda. Com os dados registrados pelo sistema de aquisição realizou-se uma regressão.

5.2.4.5 Radar (velocidade)

O radar foi calibrado com o auxílio de uma trena (para medir a distância percorrida pelo equipamento) e um cronômetro (instalado no painel). Os painéis foram instalados na parte traseira do trator próximo ao banco do tratorista. Os dados (pulsos elétricos) coletados do radar pelo "Micrologger" foram comparados com os dados registrados no painel para fazer a calibração do radar.

5.2.4.6 Sensor de temperatura

O sensor de temperatura foi calibrado com auxílio de um termômetro (Apolo), modelo -10 a 150° C. Os dados coletados foram submetidos à regressão e ajustados por uma equação.

5.2.4.7 Fluxômetro (consumo de combustível)

O fluxômetro foi calibrado com auxílio de uma proveta (500 ml), um reservatório de nível constante e uma torneira para regulagem da vazão. Os dados coletados foram avaliados e submetidos a uma análise de regressão para obter uma equação mais adequada.

Para obter o consumo específico foi utilizada a equação:

$$CE = \frac{C_c}{P_{tdp}} \quad (3)$$

em que:

CE = consumo específico (g/kW.h)

C_c = consumo ponderal de combustível (g/h)

P_{tdp} = potência na tomada de potência (kW)

Para calcular C_c foi aplicada a seguinte equação:

$$C_c = C \times D \times 1000 \quad (4)$$

em que:

C_c = consumo ponderal de combustível (g/h)

C = consumo volumétrico de combustível (L/h)

D = densidade do combustível (kg/L)

Para calcular P_{tdp} foi aplicada a seguinte equação (Mialhe 1996):

$$P_{tdp}(W) = \frac{T \cdot n \cdot \pi \cdot 2}{60} \quad (5)$$

em que:

T = torque acusado no torçômetro (N.m)

n = rotação na árvore do torciômetro (rpm)

Transformando P_{tdp}(W) em P_{tdp}(kW) temos:

$$P_{tdp}(kW) = \frac{0,10472 \cdot T \cdot n}{1000} \quad (6)$$

5.2.5 Carga sobre o rodado motriz

A carga sobre o rodado do equipamento foi pré-estabelecida em função do tipo de pneu, tamanho (medidas), tipo de construção do pneu (radial, diagonal ou BPAF), para diferentes pressões de inflação.

5.2.6 Avaliações do desempenho do pneu

5.2.6.1 Tração líquida

A tração líquida do pneu foi obtida pela célula de carga instalada entre o chassi interno e o chassi externo do equipamento, e os dados registrados no Microllogger para posterior análise.

5.2.6.2 Torque na roda

Para obter o torque na roda os dados acusados no torciômetro e armazenados pelo Microllogger foram submetidos a seguinte equação:

$$TR = \left[T \cdot \frac{n_e}{n_{pneu}} \right] \quad (7)$$

Em que:

TR = torque na roda (Nm)

T = torque acusado no torciômetro (Nm)

n_e = rotação na árvore do torciômetro (rpm)

n_{pneu} = rotação do pneu (rpm)

5.2.6.3 Patinagem

A patinagem da roda foi calculada pela equação:

$$P = \left(1 - \frac{V}{V_0}\right) \cdot 100 \quad (8)$$

Onde:

P = patinagem (%)

V_0 = velocidade da roda sem carga (m/s)

V = velocidade da roda com carga (m/s)

A velocidade da roda sem carga (V_0) foi obtida durante as calibrações em superfície rígida. A velocidade com carga (V) foi obtida com o equipamento no campo.

5.2.6.4 Raio de rolamento

O raio de rolamento foi obtido pela equação:

$$R_r = \frac{60 \cdot V}{2 \cdot \pi \cdot n_{pneu} \cdot (1 - p)} \quad (9)$$

em que:

R_r = raio de rolamento (m)

V = velocidade (m/s)

n_{pneu} = rotação do pneu (rpm)

p = patinagem (decimal)

Substituindo V (m/s) por V_{radar} (km/h) temos:

$$R_r = \frac{2652,582385 \cdot V_{radar}}{n_{pneu} \cdot (1 - p)} \quad (10)$$

Em que:

R_r = raio de rolamento (mm)

V_{radar} = velocidade do radar (km/h)

n_{pneu} = rotação do pneu (rpm)

p = patinagem (decimal)

5.2.6.5 Resistência ao rolamento

A resistência ao rolamento do pneu foi obtida a partir dos dados coletados pela célula de carga, registrada no "Micrologger" e analisados posteriormente. O equipamento possibilita três formas de obter resistência ao rolamento:

a) Resistência ao rolamento do pneu do equipamento pelo método indireto

Os valores de força e torque registrados no "micrologger" foram obtidos no campo pela tração na roda do equipamento. Para obter a resistência ao rolamento os dados foram aplicados na seguinte equação:

$$RR = \frac{Tr}{Rr} - F \quad (11)$$

em que:

RR = resistência ao rolamento (N)

Tr = torque na roda (Nm)

Rr = raio de rolamento (m)

F = tração líquida (N)

b) Resistência ao rolamento do pneu do equipamento pelo método direto

Pode ser obtida sem tração na roda do equipamento (com a roda livre), com as rodas de apoio do equipamento levantadas e com tração na roda do trator. O valor acusado na célula de carga é a resistência ao rolamento do pneu do equipamento.

c) Resistência ao rolamento total do trator pelo método direto

Pode ser obtida com tração na roda do equipamento, as rodas de apoio do equipamento levantado e com as rodas do trator livre. O valor acusado na célula de carga é a resistência ao rolamento total do trator.

5.2.6.6 Coeficiente de tração

Determinou-se dois tipos de coeficiente de tração durante os ensaios de campo:

a) Coeficiente de tração líquida

Foi obtido pela equação:

$$CTL = \frac{NT}{W} \quad (12)$$

em que:

CTL = coeficiente de tração líquida (decimal)

NT = tração líquida no eixo da roda (N)

W = carga no eixo da roda (N)

b) Coeficiente de tração bruta

Foi obtido pela equação 13:

$$CTB = \frac{GT}{W} = \frac{Tr}{Rr.W} \quad (13)$$

em que:

CTB = coeficiente de tração bruta (decimal)

GT = tração bruta (N)

Tr = torque na roda (N.m)

W = carga no pneu (N)

Rr = raio de rolamento dinâmico da roda (m)

5.2.6.7 Eficiência tratória

Obteve-se a eficiência tratória pela razão entre os coeficientes de tração líquida e bruta conforme descrito na equação (14):

$$ET = \frac{NT/W}{Tr/Rr.W} (1-p) \quad (14)$$

em que:

ET = eficiência tratória (decimal)

p = patinação (decimal)

5.2.7 Ensaio piloto

O ensaio piloto foi realizado com a finalidade de ajustar o equipamento ao trator, testar os instrumentos de medição e submeter o equipamento a diferentes condições de

superfície. Este ensaio foi realizado em condições de campo, utilizando o pneu BPAF2, com pressão e carga dentro dos limites recomendados pelos fabricantes.

5.2.8 Ensaio realizado no campo para avaliação do equipamento

Para avaliar o desempenho e os limites do equipamento, foram realizados ensaios de campo em diversas condições de superfície, tamanho de pneu, pressão do pneu, carga no pneu, frequência de aquisição de dados, comprimento de parcelas, patinagem e velocidades.

Primeiro realizou-se ensaios na pista de Ensaio do NEMPA em parcelas de 50 m para verificar o comprimento desejável de parcelas e depois, todos ensaios foram realizados utilizando-se comprimento de parcelas de 20 m. Nestes ensaios foram obtidos valores de força de tração (N), torque na entrada da caixa de marchas (N.m), rotação na árvore do torçômetro (rpm), rotação do pneu (rpm), velocidade real (km/h), consumo de combustível (l/h) e temperatura do combustível (°C). Foram utilizados dois diâmetros de pneus BPAF (1250 mm e 1670 mm), cujos valores obtidos nos ensaios foram transferidos para o computador e submetidos à análise estatística para comparação dos dados.

As variáveis foram analisadas, considerando-se o delineamento experimental em blocos, com cinco repetições. Os resultados foram interpretados estatisticamente, por meio da análise de variância, adotando-se o nível de 5% de probabilidade.

5.2.9 Experimento realizado na pista de ensaio do NEMPA

Foi realizado um experimento comparativo de pneus na pista de ensaio do NEMPA, utilizando dois tipos de pneus (radial e diagonal) submetidos a quatro cargas (10.000 N, 13.000 N, 16.000 N e 19.000 N) e pressão de 110 kPa (16 psi) para o pneu radial e 124 kPa (18 psi) para o pneu diagonal, ambos recomendados pelos fabricantes. Neste experimento foram obtidos valores de força na barra de tração, torque na entrada da caixa de marchas, rotação na árvore do torçômetro, rotação do pneu, velocidade real, consumo horário de combustível e temperatura do combustível.

Avaliou-se também a resistência do solo à penetração, em função das variáveis estudadas e os incrementos do índice de cone seguindo-se a metodologia de Fernandes (1996) e Castro Neto et al. (1999b).

No momento em que foi realizada a obtenção da resistência do solo à penetração, foram coletadas amostras de solo em oito pontos da área experimental, estratificada de 0 cm a 15 cm e de 15 cm a 30 cm de profundidade. As amostras foram coletadas com auxílio de um enxadão, uma pá de jardinagem e colocadas em latinhas de alumínio, com identificação, as quais foram transportadas imediatamente para o Laboratório de Física do Solo do NEMPA, onde foi realizada a análise do teor de água do solo, seguindo-se a metodologia da EMBRAPA (1979).

Os valores obtidos e registrados no "Micrologger" foram transferidos para o computador e submetidos ao cálculo para posterior análise estatística e comparação dos dados.

5.2.10 Análise estatística

Com o objetivo de calibrar os sensores, comparar os resultados obtidos em campo e comprovar o funcionamento do equipamento, os dados foram ajustados por regressão com auxílio de planilha eletrônica Excell e programa estatístico Stat, buscando-se um modelo de equação que melhor os representasse. Foram efetuados também testes de médias e cálculos de desempenho do pneu.

No experimento, as variáveis de força líquida-FL, torque na árvore do torciômetro-Tt, rotação na árvore do torciômetro-nt, velocidade do radar-Vr, consumo horário de combustível-CH, consumo específico de combustível-CE, raio de rolamento-Rr, torque na roda-Tr, patinagem-p, resistência ao rolamento-RR, coeficiente de tração líquida-CTL, coeficiente de tração bruta-CTB e eficiência tratorial-ET, foram analisadas considerando-se o delineamento experimental em blocos, no esquema de parcelas subdivididas ("split plot"), e tendo na parcela os pneus (radial e diagonal) e na subparcela as cargas (10.000 N, 13.000 N, 16.000 N e 19.000 N), com cinco repetições com exceção para o raio de rolamento (Rr) que foi realizado com 3 repetições.

A avaliação da resistência do solo à penetração antes do tráfego foi realizada em três áreas representativas do experimento, obtendo-se cinco parcelas para cada área (sendo que a média de 2 pontos amostrais constituiu uma parcela). Os valores de resistência do solo à penetração foram analisados em quatro camadas do solo (0 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm, 20

cm a 30 cm e 30 cm a 40 cm) separadamente, considerando-se o delineamento experimental em blocos. Para avaliar a resistência do solo à penetração após o tráfego como um indicativo da compactação do solo, foram determinados os valores de seis pontos amostrais para cada passagem do pneu (sendo que a média dos seis pontos constituiu uma parcela), sob 5 níveis de cargas em 4 camadas do solo. Os índices de cone obtidos no experimento, foram analisados considerando-se o delineamento experimental em blocos no esquema de parcelas sub-subdivididas tendo na parcela os pneus (radial e diagonal), na subparcela as cargas (0 N, 10.000 N, 13.000 N, 16.000 N e 19.000 N) e na sub-subparcela as camadas (0 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm, 20 cm a 30 cm e 30 cm a 40 cm) com cinco repetições (Figura 17 e APÊNDICE 8 e 9).

Os resultados do experimento foram interpretados estatisticamente, por meio da análise de variância, adotando-se o nível de significância de 5% e pelo teste de comparação de médias de Tukey, conforme recomendação de Pimentel Gomes (1987) e Curi (1997).

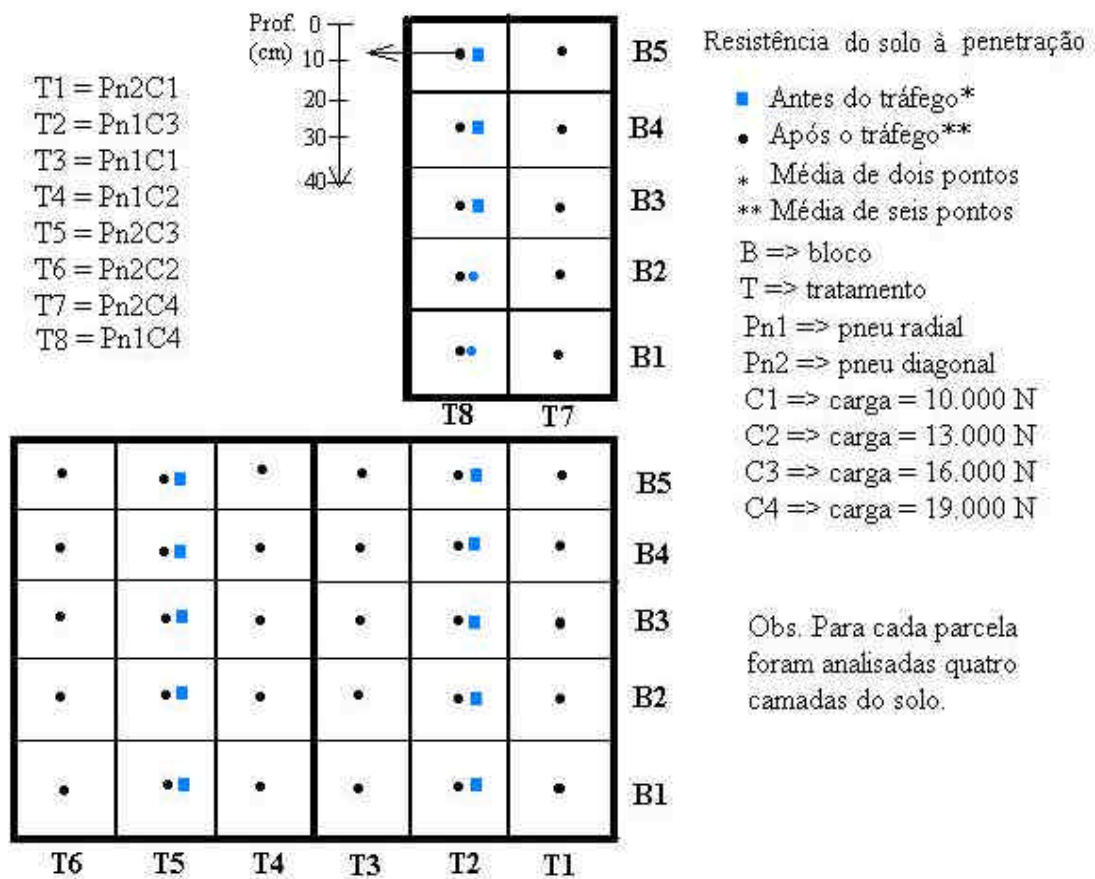


Figura 17. Diagrama da área experimental com as parcelas da resistência do solo à penetração antes do tráfego e após o tráfego dos pneus.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Projeto e construção do equipamento

O equipamento foi projetado de forma a permitir:

- acoplamento no sistema de levantamento hidráulico de três pontos do trator;
- diâmetro máximo de pneu de 2 m e largura de 1 m;
- lastros adicionais com barras metálicas;
- utilizar o mesmo trator para acionar o equipamento e servir de lastro (resistência à tração);
- variar velocidade e patinagem do pneu de ensaio pela troca de marchas do trator e do equipamento;
- deslocar o equipamento até o local de ensaio no próprio trator;
- regular a carga vertical com um sistema de levantamento próprio;
- trocar pneu (com auxílio de uma talha) de acordo com a necessidade do ensaio e;
- acionamento da transmissão pela tomada de força do trator.

A partir dos cálculos desenvolvidos da fórmula (2) demonstrados no APÊNDICE 3, obteve-se um diagrama de velocidades do equipamento que está apresentado nos Quadros 17 e 18 a seguir.

Através das Figuras 18 a 26, pode-se observar a evolução do projeto até a sua fase final. As especificações estão apresentados nas Legendas e no Quadro 19.

Quadro 17 - Diagrama de velocidades do equipamento para diâmetro do pneu de 2m e 540

rpm na TDP

Rotação de entrada da TDP (rpm) 540	Velocidade		
	Marcha	m/s	km/h
	1 ^a	0,237	0,854
	2 ^a	0,347	1,251
	3 ^a	0,638	2,295
	4 ^a	0,781	2,811
	Re-1	0,316	1,137
	5 ^a	0,949	3,416
	6 ^a	1,390	5,004
	7 ^a	2,550	9,182
	8 ^a	3,123	11,245
	Re-2	1,264	4,549

Quadro 18 - Diagrama de velocidades do equipamento para diâmetro do pneu de 2m e 1000

rpm na TDP

Rotação de entrada da TDP (rpm) 1000	Velocidade		
	Marcha	m/s	km/h
	1 ^a	0,439	1,581
	2 ^a	0,644	2,317
	3 ^a	1,181	4,251
	4 ^a	1,446	5,206
	Re-1	0,585	2,106
	5 ^a	1,757	6,325
	6 ^a	2,574	9,267
	7 ^a	4,723	17,003
	8 ^a	5,784	20,824
	Re-2	2,340	8,424

6.1.1 Chassi

Para o dimensionamento do chassi, das vigas suportes do eixo da roda principal, do dinamômetro, de apoio dos mancais, dos três pontos de engate bem como, o dimensionamento das rodas dentadas para corrente, dos mancais de rolamento, dos mancais das vigas laterais, utilizou-se a metodologia descrita no sub item 5.2.1. O memorial de cálculo com as respectivas etapas que resultaram no projeto final do equipamento encontram-se no APÊNDICE 3.

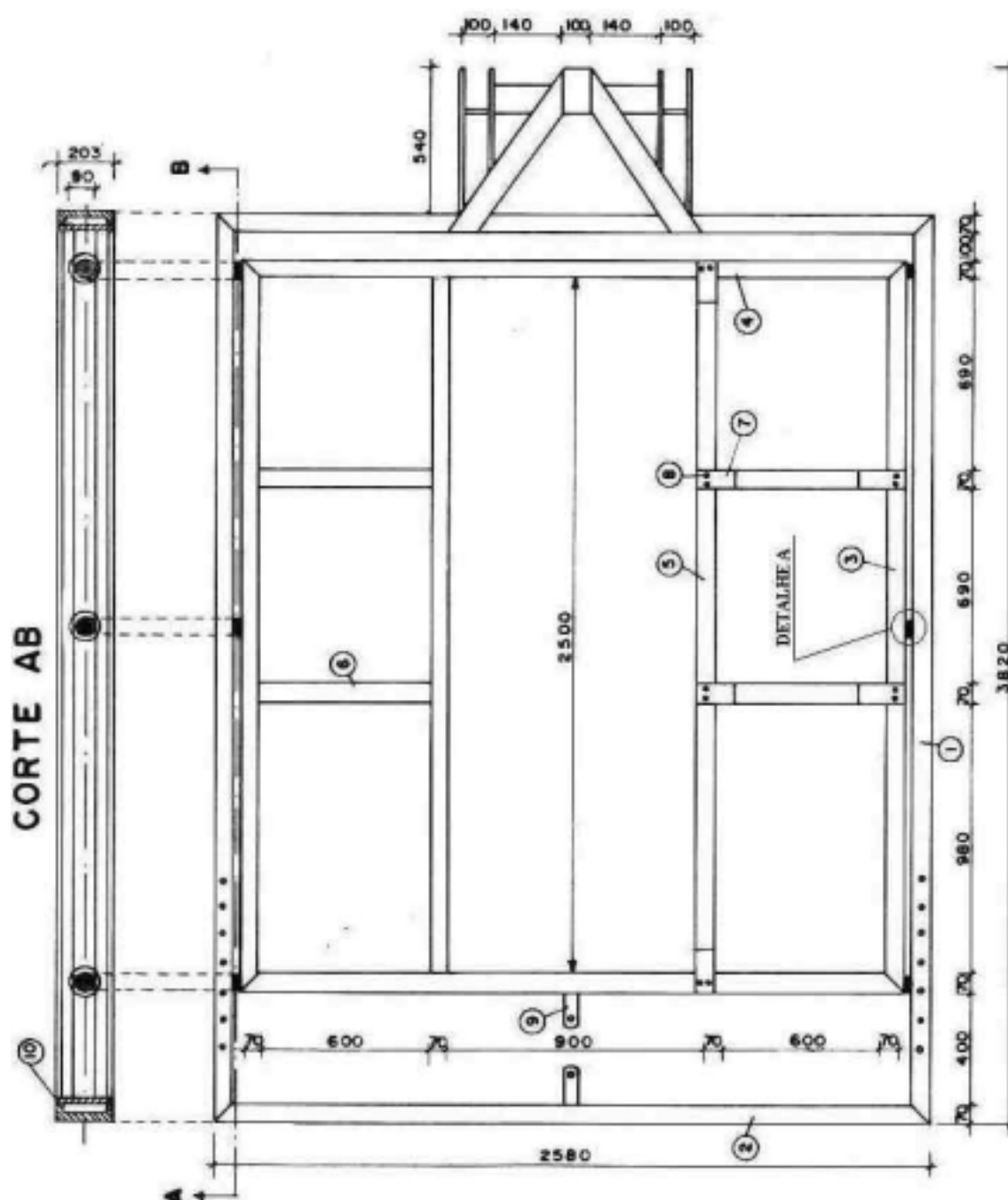


Figura 18. Localização dos componentes estruturais do equipamento (cotas em mm)

LEGENDA
1; 2; 3; 4; 5; 6 - Viga em "C" laminada
7 - Emenda removível
8 - Parafuso, porca e arruela
9 - Barra de tração - ferro chato (aço 1020)
10 - Reforço das vigas externas frontais e traseiras - ferro chato (aço 1020)

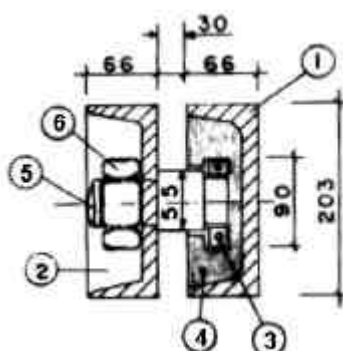


Figura 19. Detalhe A com vista do perfil da viga e mancal da viga

LEGENDA
1 - Estrutura externa fixa
2 - Estrutura interna móvel
3 - Rolamento
4 - Trilho guia
5 - Eixo do rolamento
6 - Porca

Quadro 19. Especificações do rolamento calculado para rodas dentadas e mancais das vigas

Rolamento r^0	C (N)	CO (N)	Dint (mm)	Dext (mm)	Largura (mm)
6311 *	73.000	43.000	55	120	29
6012 **	30.000	20.000	60	95	18

* Rolamento para as rodas dentadas

** Rolamento para os mancais sobre as vigas

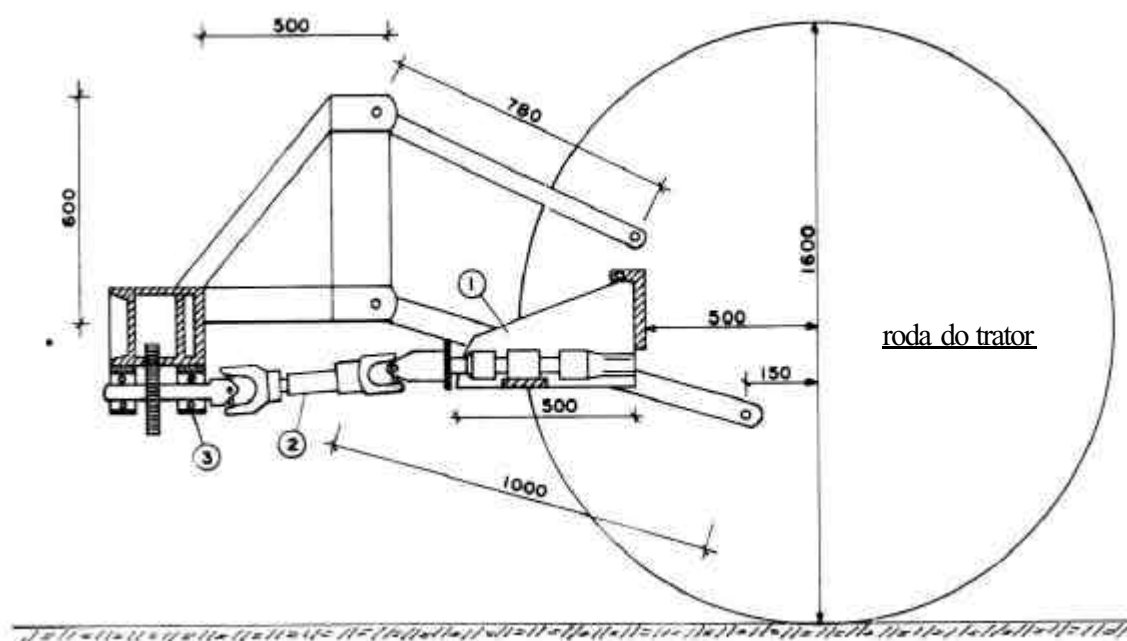


Figura 20. Vista lateral do sistema de engate do equipamento no trator

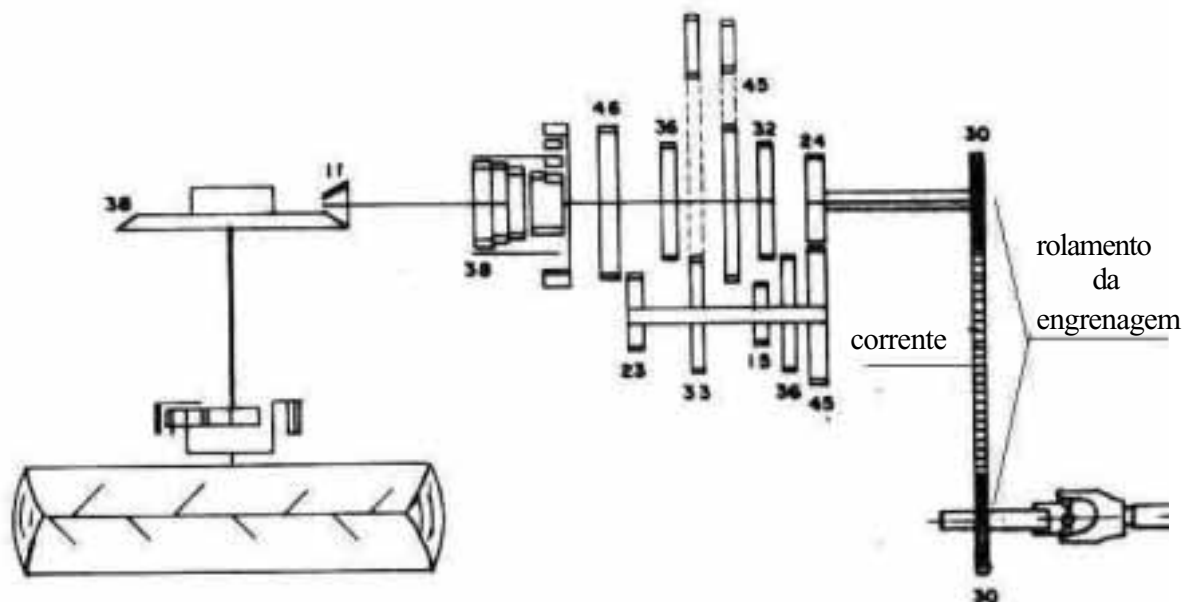


Figura 21. Localização, número de dentes das engrenagens e correntes de transmissão na entrada da caixa de marchas

6.1.2 Adequação ergonômica

As dimensões e distâncias entre aberturas de peças podem ser observadas nas Figuras 22 e 23.

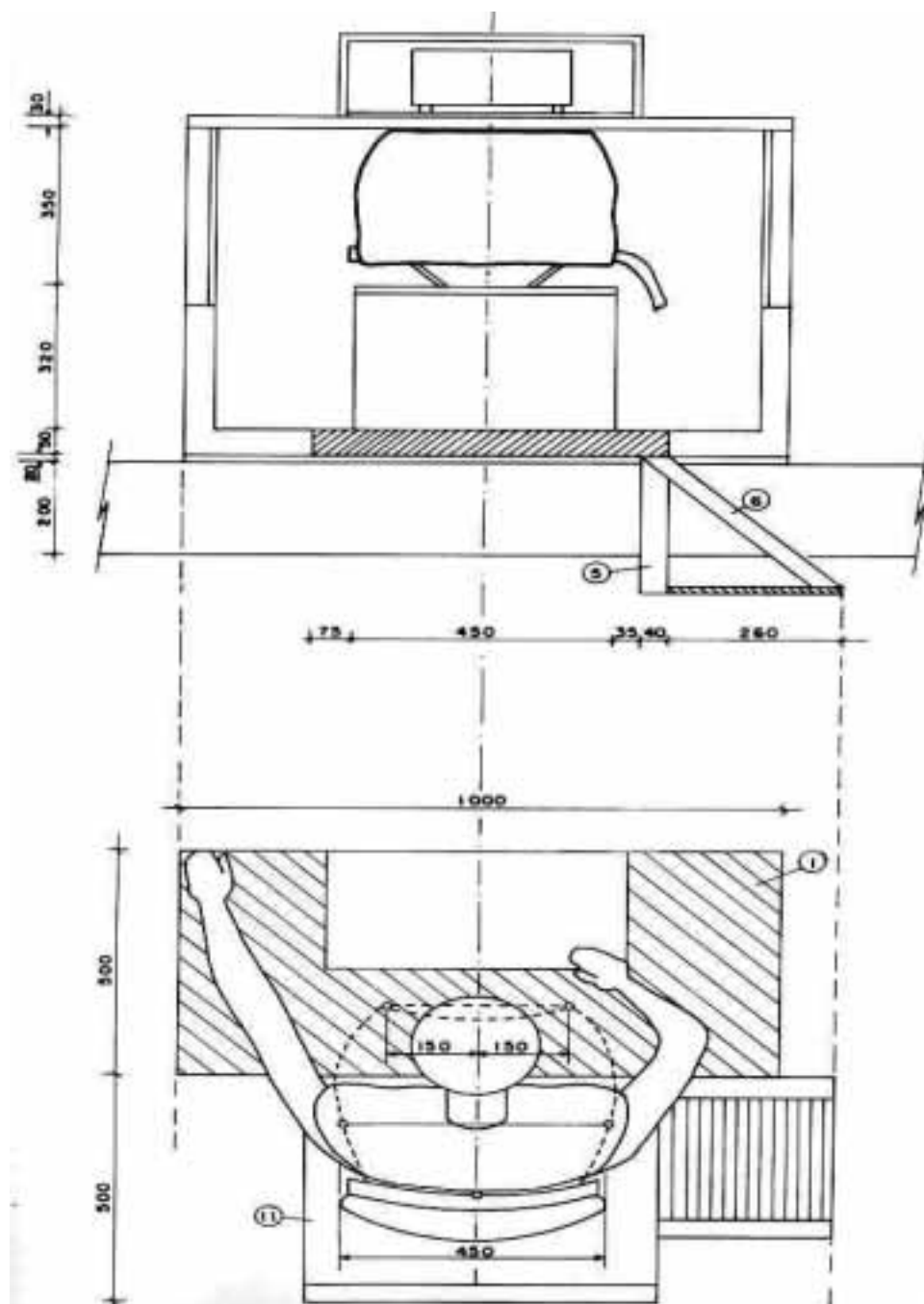


Figura 22. Vista geral da localização do assento e comandos (cotas em milímetros)

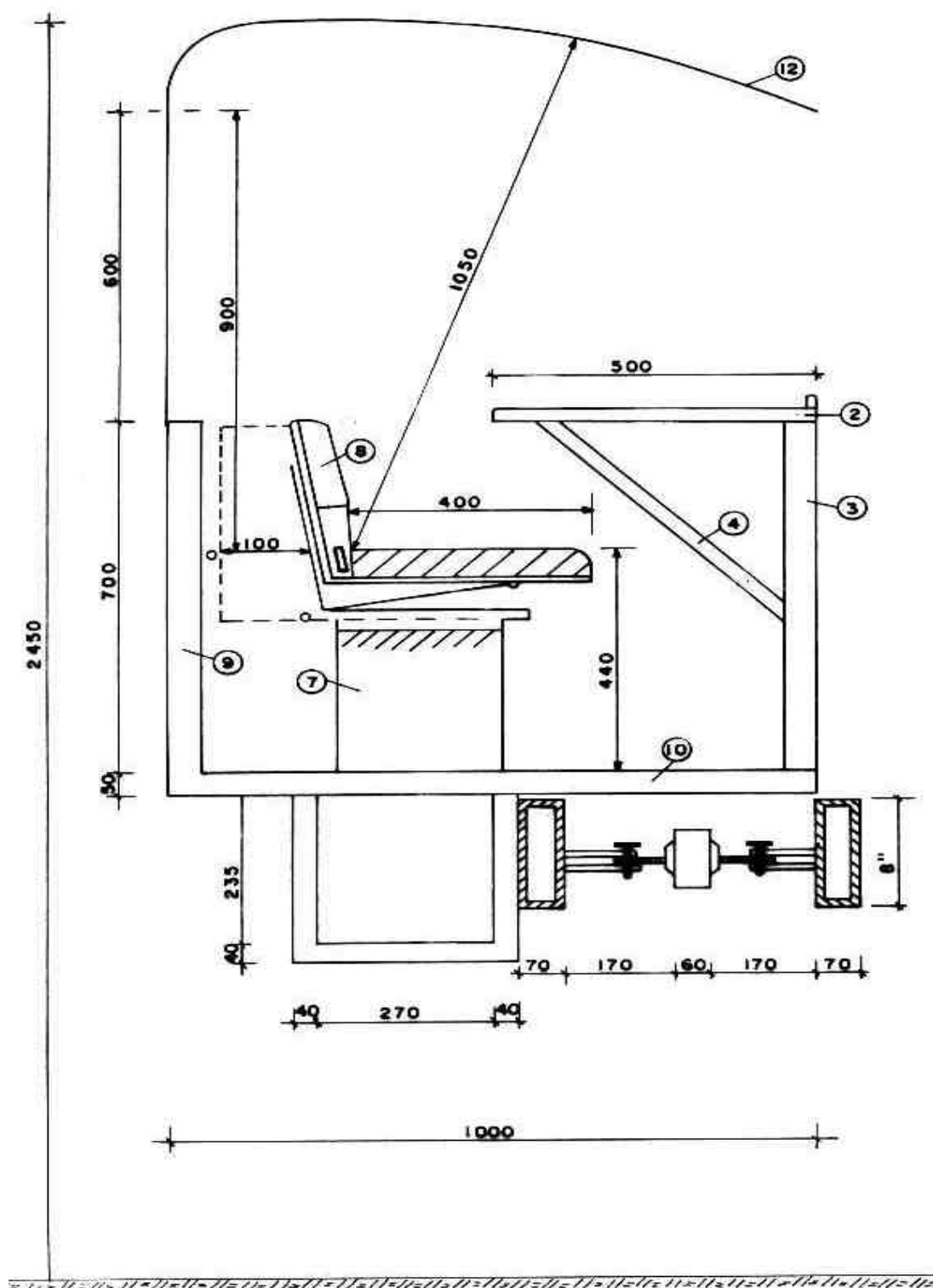


Figura 23. Vista lateral da localização do assento e comandos (cotas em milímetros)

LEGENDA
1- Mesa do operador
2- Cantoneira da estrutura da mesa (aço 1020)
3- Pé da mesa
4- Mão francesa da mesa (aço 1020)
5- Viga da escada de acesso
6 - Cantoneira - mão francesa da escada
7 - Estrutura de sustentação do assento do operador
8 - Assento do operador com cinto de segurança
9 - Proteção traseira do assento
10 - Estrutura do piso
11 - Piso de chapa corrugada
12 Cobertura

6.1.3 Desenho técnico do projeto

Nas Figuras 24, 25 e 26, estão representadas as ilustrações resultantes de desenhos técnicos com vista superior, corte e instrumentação do equipamento.

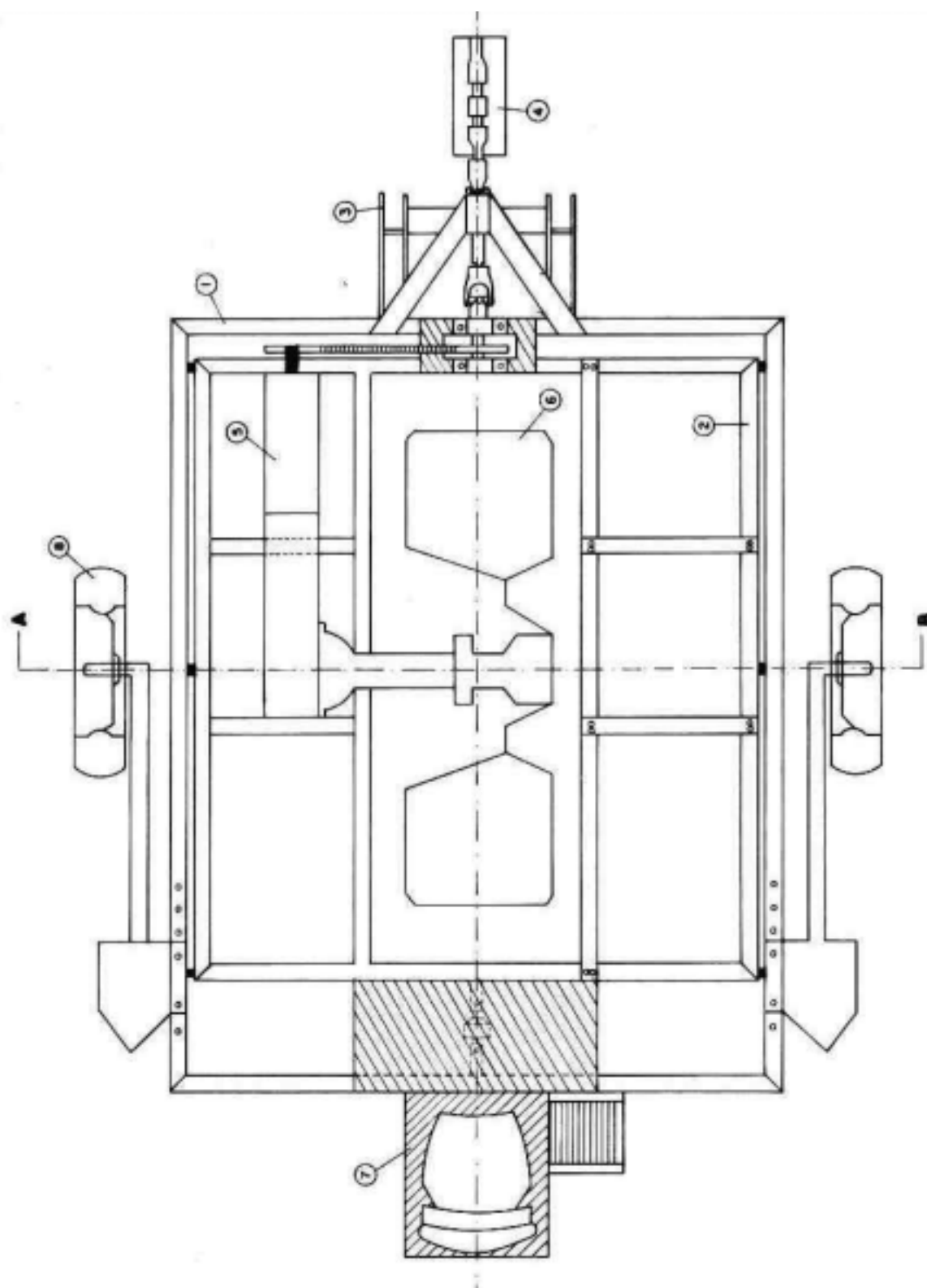
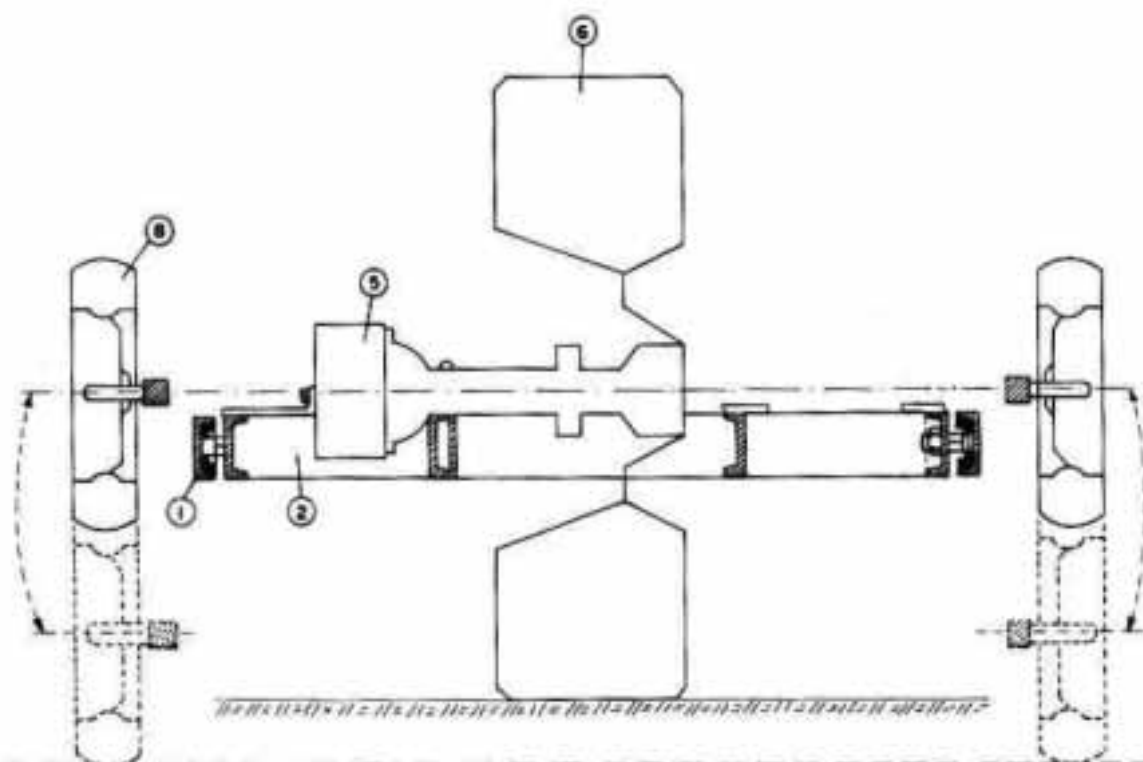


Figura 24. Vista superior do equipamento com pneu para ensaio



CORTE AB

Figura 25. Vista em corte AB da Figura anterior e detalhe do sistema de levantamento do equipamento

LEGENDA	
1-	Estrutura externa fixa
2-	Estrutura interna móvel
3-	Torre de engate de três pontos
4-	Sistema de transmissão da TDP à caixa de marcha
5-	Sistema de transmissão da TDP à caixa de marchas
6 -	Rodado pneumático a ser ensaiado
7 -	Posto de trabalho do sistema de aquisição de dados
8 -	Sistema de levante por controle remoto

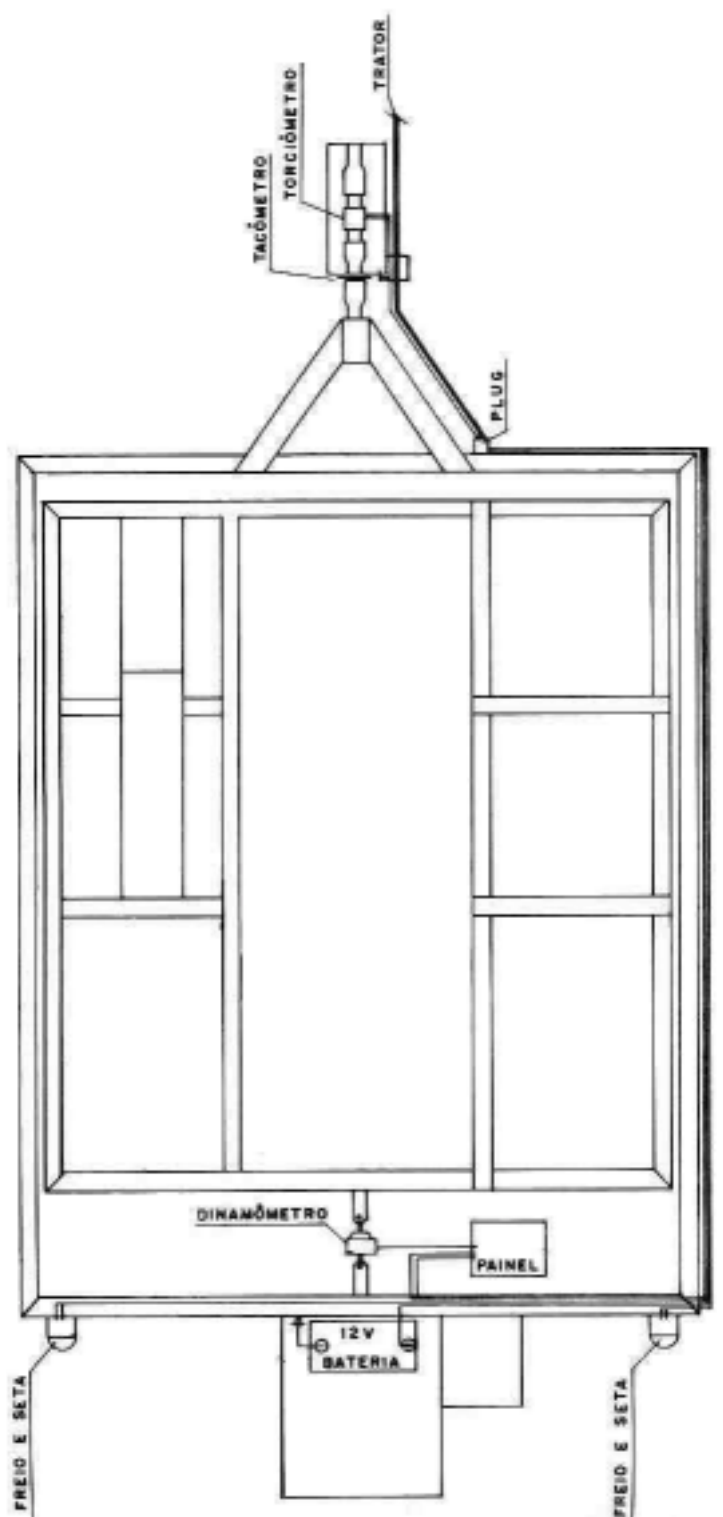


Figura 26. Vista superior com detalhes da instrumentação do equipamento

6.2 Construção do equipamento

A seguir são mostradas as Figuras 27 a 31, ilustrando as etapas da construção do equipamento desde o início da montagem da estrutura, montagem do pneu e pintura.



Figura 27. Vista lateral (a) e frontal (b) da construção dos quadros interno e externo do equipamento



Figura 28. Vista traseira da montagem dos quadros internos e externos (a) e vista dianteira superior (b) do equipamento com os pontos de acoplamento

Por questão de manobrabilidade e segurança a localização dos pneus do sistema de levantamento hidráulico do equipamento sofreu uma modificação em relação ao

projeto inicial. As rodas foram acopladas na parte traseira como pode ser observada na Figura 29.



Figura 29. Vista geral do equipamento com as rodas de levantamento em fase de construção



(a)



(b)

Figura 30. Vista do equipamento durante (a) e após (b) a colocação de pneu



Figura 31. Equipamento acoplado ao trator após a pintura.

6.3 Detalhes da instrumentação do equipamento

Os principais detalhes das fases da montagem localização e instalação dos sensores no equipamento estão apresentados nas Figuras 32 a 37.



Figura 32. Localização da célula de carga de 50 kN entre os quadros interno e externo

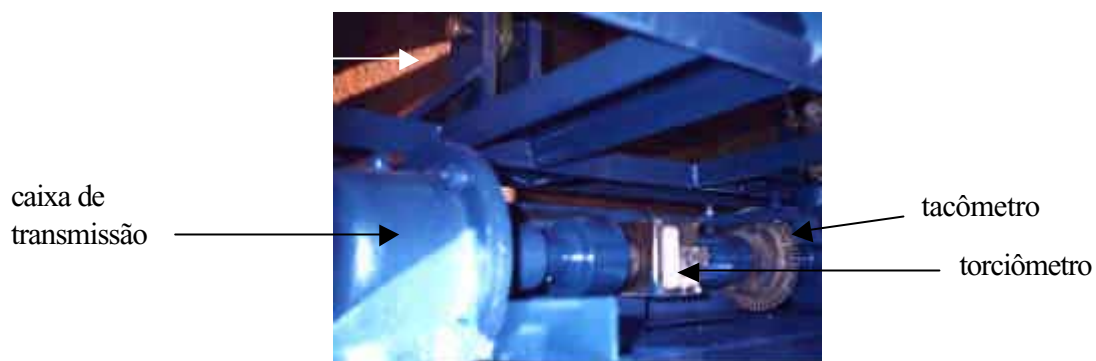


Figura 33. Localização do tacômetro e do torciômetro no sistema de transmissão do equipamento



Figura 34. Instalação do medidor de temperatura e consumo de combustível no sistema de alimentação do trator

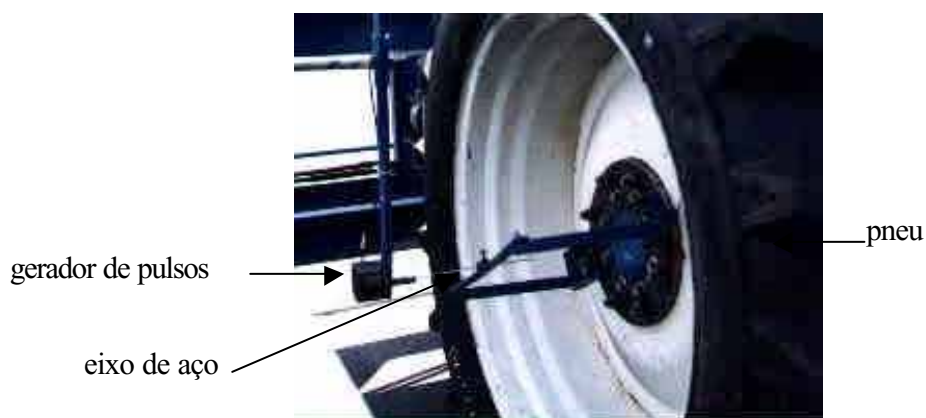


Figura 35. Instalação do gerador de pulsos na roda do equipamento



Figura 36. Instalação do radar na parte traseira do equipamento



Figura 37. Checagem da instrumentação do equipamento

6.4 Detalhes do equipamento

O sistema de transmissão da tomada de potência do trator à caixa de marchas também sofreu modificação em relação ao projeto inicial. O par de rodas dentado com as correntes de rolos foi substituído por um conjunto de transmissão por coroa e pinhão pela simplicidade, segurança e menor ruído. Este sistema permitiu também que os sensores de torque e de rotação fossem mudados de localização, reduzindo o espaço e aumentando a segurança. As Figuras 38 e 39 mostram os detalhes desta transmissão.

A caixa de mudança de marchas MF 265 (8 à frentes e 2 à ré), foi substituída pela MF 275 (12 à frentes e 4 à ré), devido à maior opção de velocidades.

A seguir são apresentados os detalhes mais importantes do equipamento (Figuras 40 a 46).

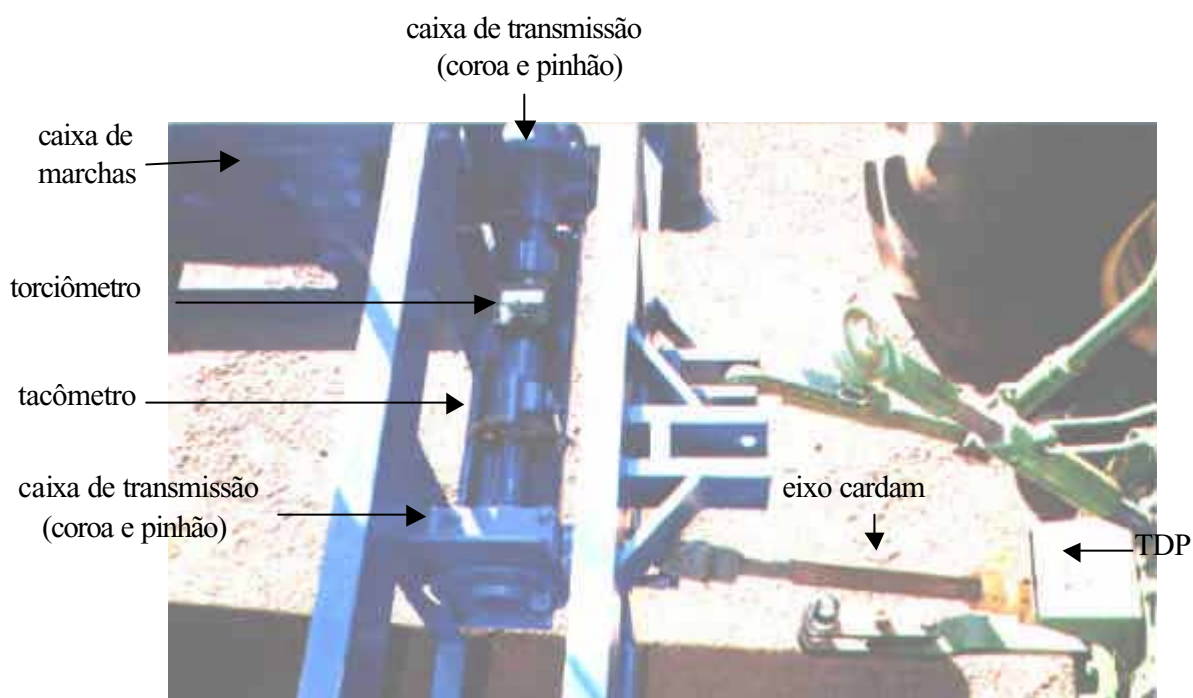


Figura 38. Detalhes da transmissão intermediária por coroa e pinhão entre a TDP e a caixa de marchas.

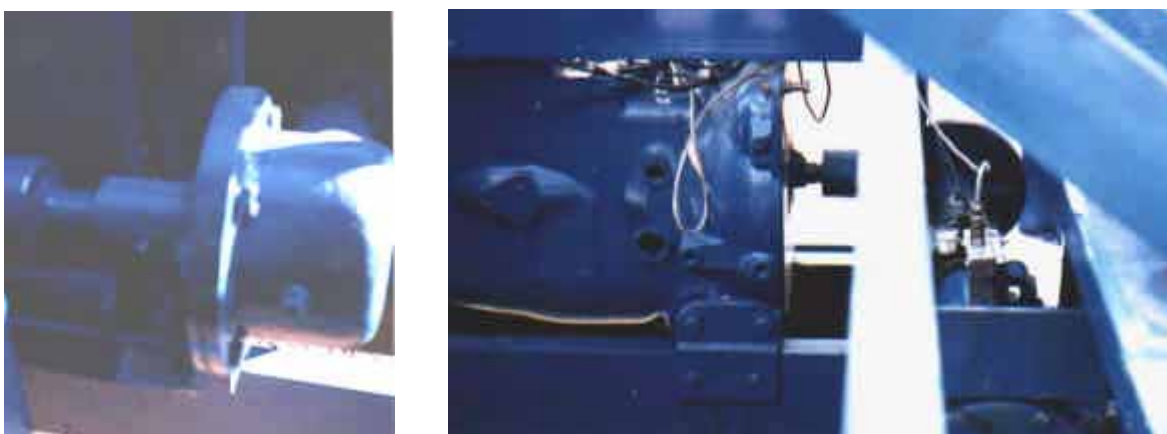


Figura 39. Detalhe da transmissão intermediária por coroa e pinhão entre o torciômetro e a caixa de marchas.

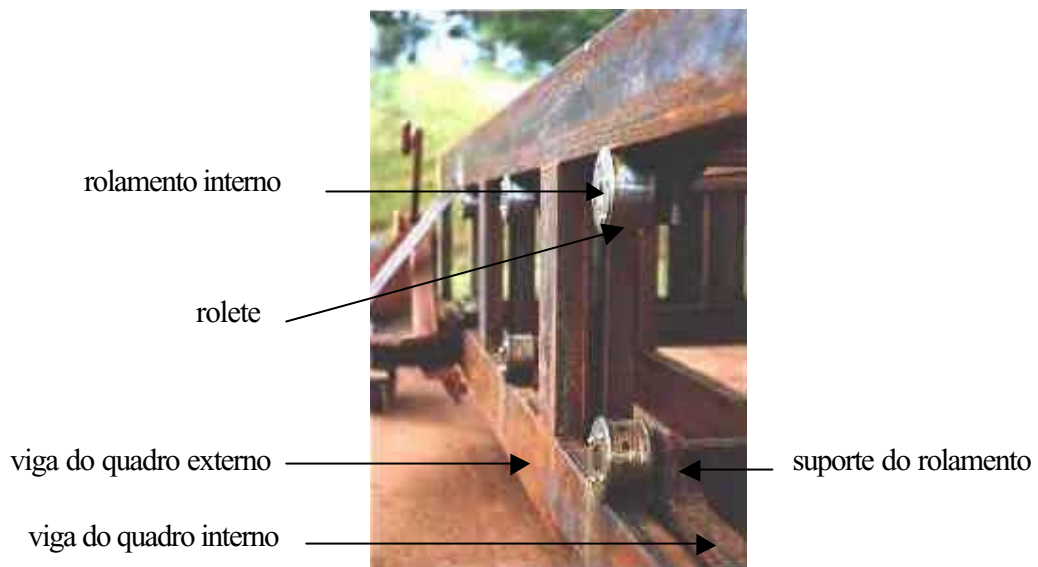


Figura 40. Mancais de rolamento sobre as vigas laterais do equipamento para movimentação do quadro interno em relação ao externo

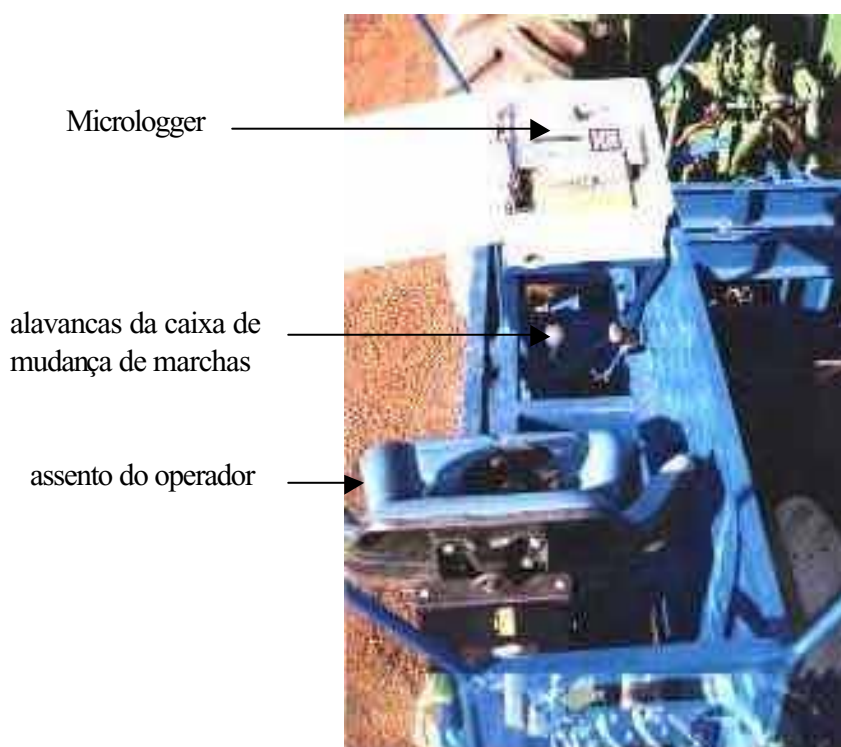


Figura 41. Vista superior do Microllogger, assento do operador e alavanca de mudança de marchas

Possíveis arranjos com o sistema de levantamento hidráulico do equipamento associado com o sistema de levantamento hidráulico do trator estão ilustrados nas Figuras 42 a 46.



Figura 42. Levantamento em nível para transporte, testes da transmissão e/ou sensores e posicionamento para pesagem na balança.



Figura 43. Posição abaixada com parte do peso no hidráulico do trator, no pneu individual e nas rodas de suspensão traseira, utilizada no controle da carga vertical durante o ensaio.



Figura 44. Posição de carga vertical máxima no rodado individual, com uma parte do peso apoiada no sistema hidráulico do trator e o restante no pneu.



Figura 45. Levantamento dianteiro pelo sistema hidráulico do trator para eventual checagem do sistema de levantamento.



Figura 46. Levantamento das rodas de suspensão traseira pelo sistema hidráulico para eventual verificação do sistema de levantamento do equipamento.

6.5 Calibração dos sensores

Houve a necessidade da realização de cálculos de ajustes do fator de conversão e da constante de todos os sensores. Os coeficientes de determinação foram próximos de 1 o que garantiu uma grande precisão da calibração dos sensores. As Figuras 47 a 59, mostram os detalhes, os dados coletados e as curvas de calibração dos sensores.

6.5.1 Calibração da célula de carga

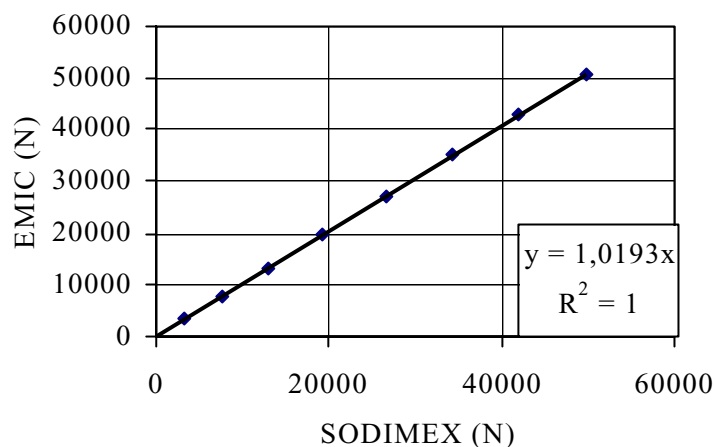


Figura 47. Calibração da célula de carga para obtenção do fator de conversão do "Micrologger"

Cálculo do fator de conversão (multiply):

Sensibilidade: 2,007 mV/V

Alimentação: 5 Vcc

Máximo sinal de entrada (MSE): $5V \times 2,007 \text{ mV/V} = 10,035 \text{ mV}$

Escala (E): 50 kN

Entrada: 0 a 10,035 mV

Faixa de entrada(FE): $10,035 - 0 = 10,035 \text{ mV}$

Fator de conversão: $\frac{E}{FE} = \frac{50}{10,035} = 4,9826 \text{ kN/mv}$

Para obter a leitura em N = $4,9826 \times 1000 = 4982,6 \text{ N/mV}$

Fator utilizado anteriormente = 4982,6 N/mv

Constante do sensor utilizado = 330,7 N

Novo fator => $1,0193 \times 4982,6 = 5078,76 \text{ N/mv}$

6.5.2 Calibração do torciômetro

Na calibração do torciômetro também foi possível ajustar o fator de conversão com grande precisão.

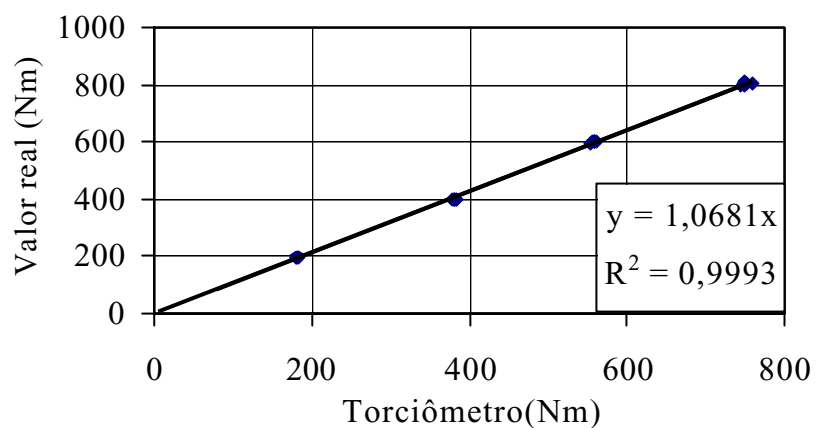


Figura 48. Calibração do torciômetro para obtenção do fator de conversão do "Micrologger"

Cálculo do fator de conversão (multiply):

Sensibilidade: 1,994 mV/V

Alimentação: 5 Vcc

Máximo sinal de entrada (MSE): $5V \times 1,994 \text{ mV/V} = 9,97 \text{ mV}$

Escala (E): 3000 Nm

Entrada: 0 a 9,97 mV

Faixa de entrada(FE): $9,97 - 0 = 9,97 \text{ mV}$

Fator de conversão: $\frac{E}{FE} = \frac{3000}{9,97} = 300,9027 \text{ Nm/mV}$

Fator utilizado anteriormente = 300,903 Nm/mV

Constante do sensor = 17,6 Nm

Novo fator => $1,0681 \times 300,903 = 321,39 \text{ Nm/mV}$

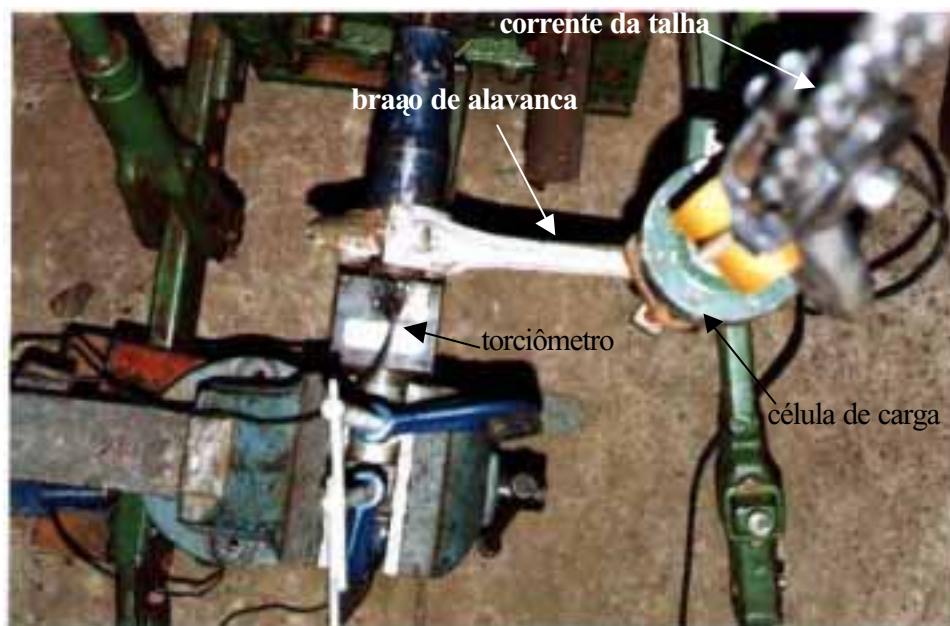


Figura 49. Sistema utilizado na calibração do torciômetro

6.5.3 Calibração do tacômetro

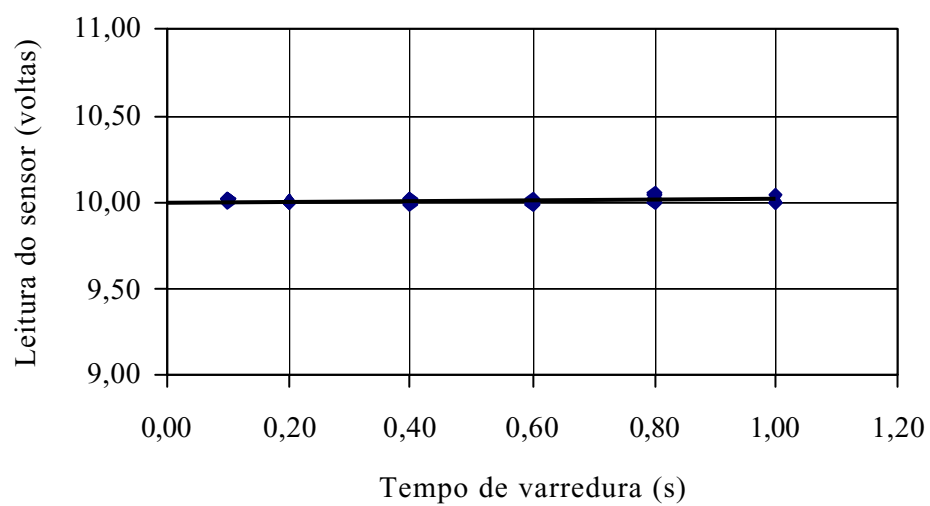


Figura 50. Calibração do tacômetro digital em 10 voltas da TDP

Cálculo do fator de conversão (multiply):

Fator de conversão utilizado = 1

Constante do sensor = 60 pulsos/volta

Para frequência de aquisição = 10 Hz tem-se:

$$\text{Novo fator} \Rightarrow \frac{\text{pulsos}}{0,1\text{s}} \times \frac{60\text{s/min}}{60\text{pulsos/volta}} = 10$$

Para frequência de aquisição = 1Hz tem-se:

$$\text{Novo fator} \Rightarrow \frac{\text{pulsos}}{1\text{s}} \times \frac{60\text{s/min}}{60\text{pulsos/volta}} = 1$$

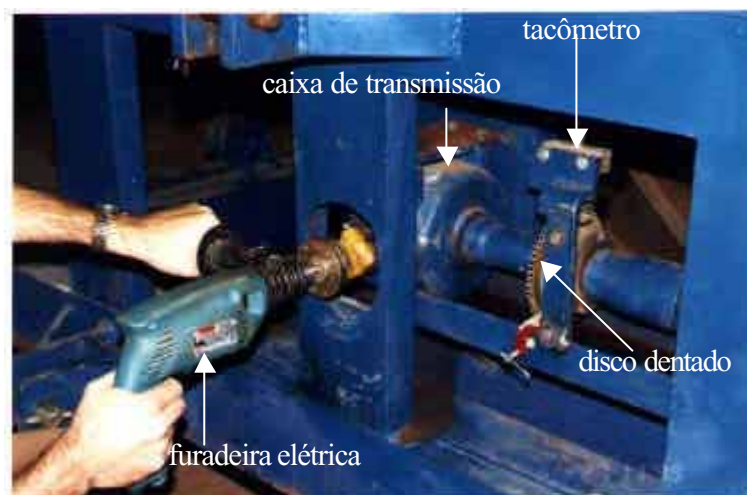


Figura 51. Calibração do tacômetro com auxílio de uma furadeira elétrica

6.5.4 Calibração do gerador de pulsos

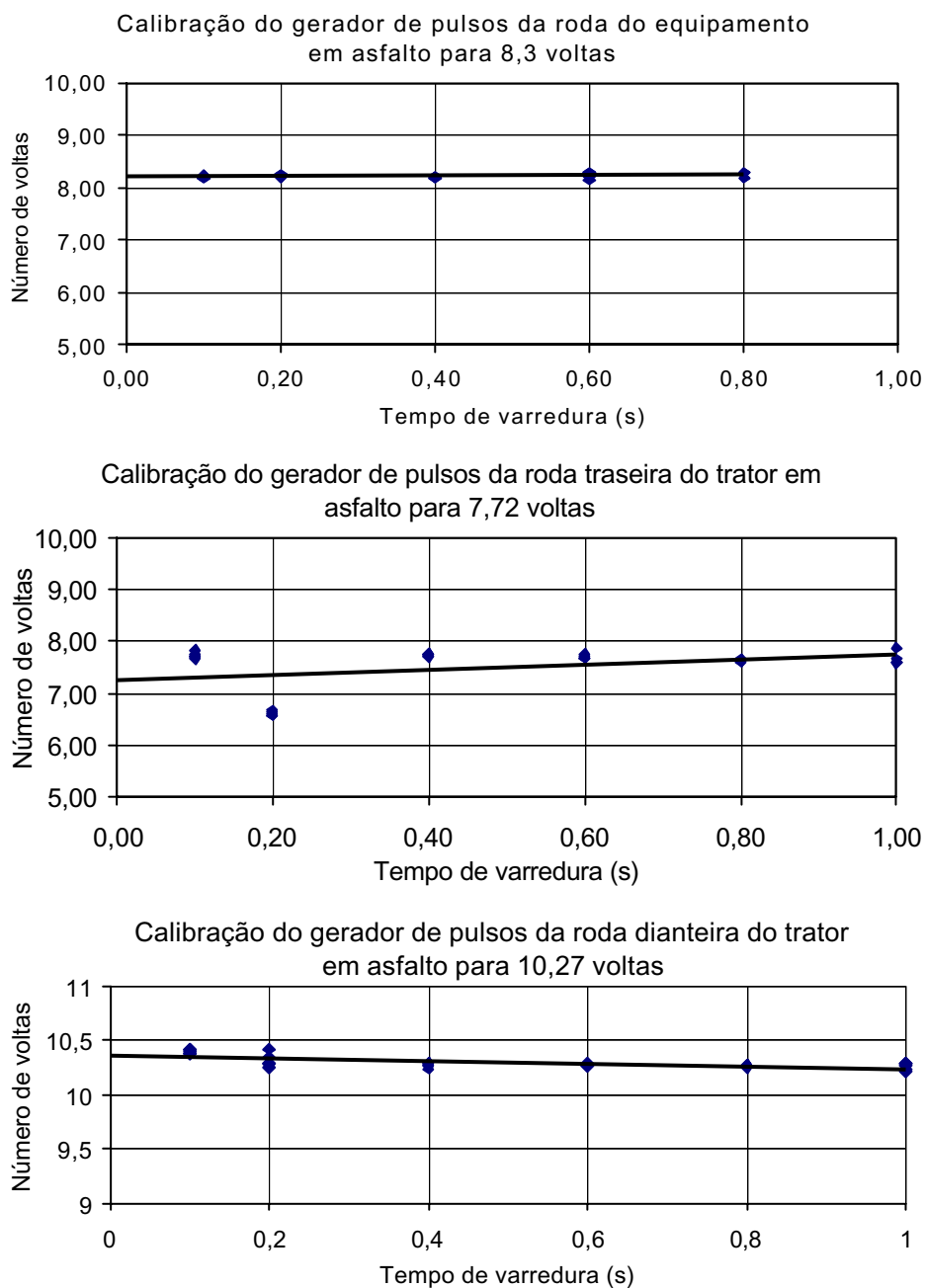


Figura 52. Calibração do gerador de pulsos das rodas do equipamento, roda traseira e dianteira do trator em superfície rígida

Cálculo do fator de conversão ("multiply"):

Idem ao anterior (item 6.5.3)

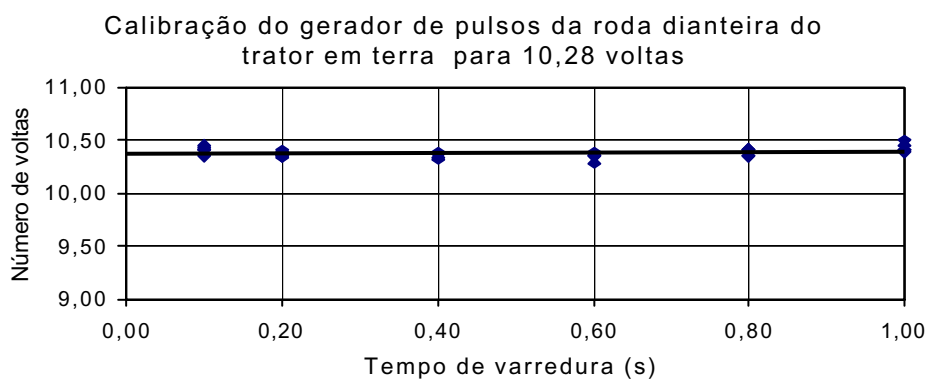
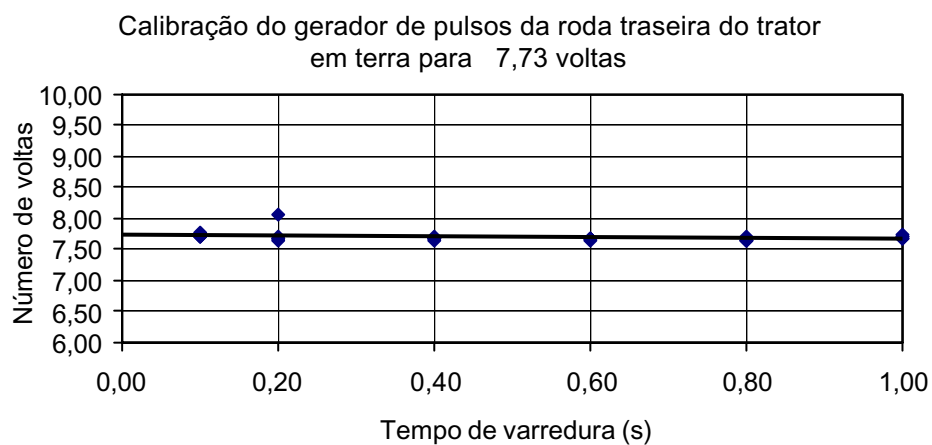
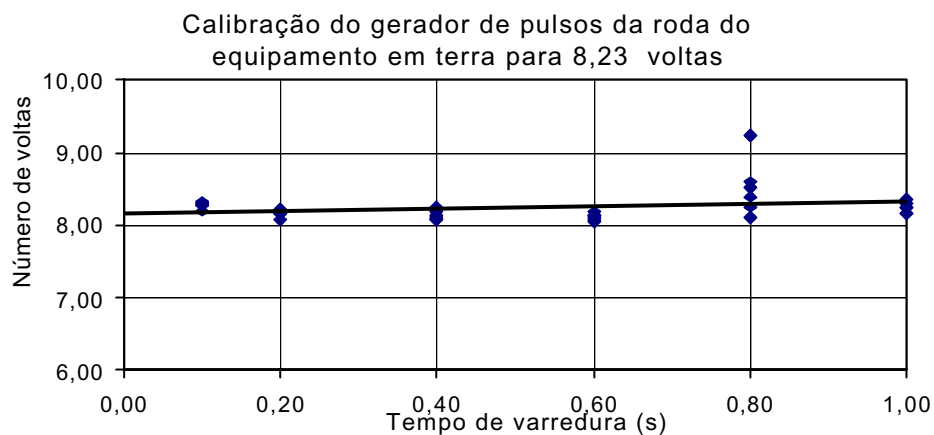


Figura 53. Calibração do gerador de pulsos das rodas do equipamento, roda traseira e dianteira do trator em solo

Cálculo do fator de conversão (multiply):

Idem ao anterior (item 6.5.3)

6.5.5 Calibração do radar

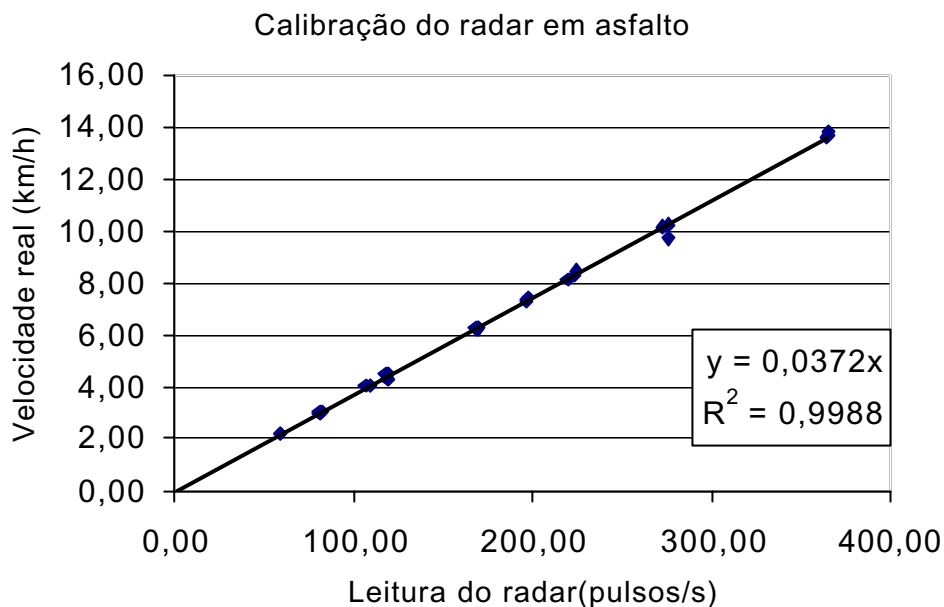


Figura 54. Calibração do radar em superfície rígida para obter o fator de conversão do "Micrologger"

Cálculo do fator de conversão ("multiply"):

Fator de conversão utilizado na calibração = 1

Para frequência de aquisição = 1 Hz tem-se:

Constante do aparelho = $3,6/0,0372 = 96,7742$ pulsos/m/s

$$\text{Novo fator} = \frac{\text{Leitura}(\text{pulsos/s})}{96,7742(\text{pulsos/m/s})} \times \frac{3600(\text{s/h})}{1000(\text{m/km})} = 0,0372$$

Para frequência de aquisição = 10 Hz tem-se:

$$\text{Novo fator} = \frac{\text{Leitura}(\text{pulsos}/0,1\text{s})}{96,7742(\text{pulsos/m/s})} \times \frac{3600(\text{s/h})}{1000(\text{m/km})} = 0,372$$

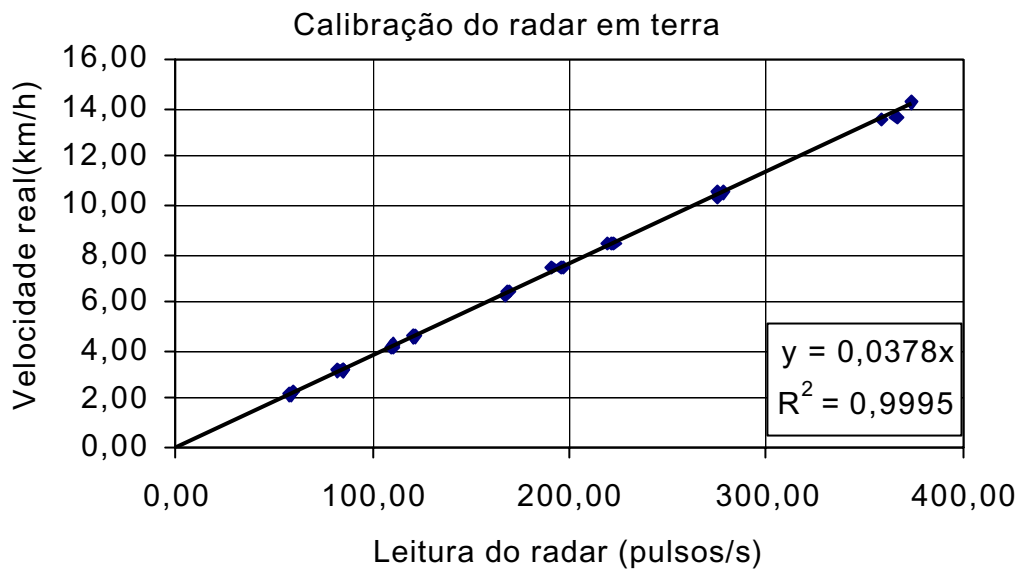


Figura 55. Calibração do radar em solo para obter o fator de conversão do "Micrologger"

Cálculo do fator de conversão (multiply):

Fator de conversão utilizado na calibração = 1

Para frequência de aquisição = 1Hz tem-se:

Constante do aparelho = $3,6/0,0378 = 95,238$ pulsos/m/s

$$\text{Novo fator} = \frac{\text{Leitura(pulsos/s)}}{95,238(\text{pulsos/m/s})} \times \frac{3600(\text{s/h})}{1000(\text{m/km})} = 0,0378 \text{ km/h/pulso}$$

Para frequência de aquisição = 10 Hz tem-se:

$$\text{Novo fator} = \frac{\text{Leitura(pulsos/0,1s)}}{96,7742(\text{pulsos/m/s})} \times \frac{3600(\text{s/h})}{1000(\text{m/km})} = 0,378 \text{ km/h/pulso}$$

6.5.6 Calibração do termopar

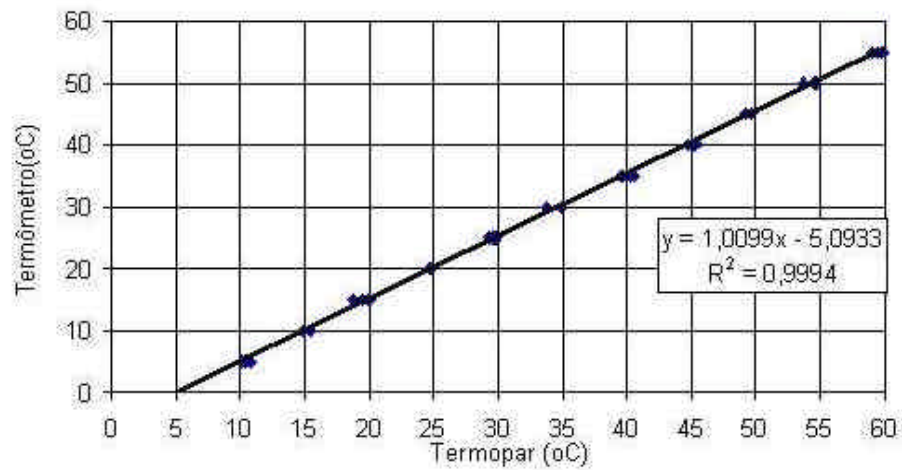


Figura 56. Calibração do sensor de temperatura

Cálculo do fator de conversão (multiply):

Fator de conversão utilizado na calibração = 1

Constante do sensor utilizado na calibração = 0

Novo fator = $1 \times 1,0099 = 1,0099$

Nova constante do sensor = $- 5,0933$



Figura 57. Calibração do sensor de temperatura utilizando água como fonte de calor

6.5.7 Calibração do fluxômetro (consumo)

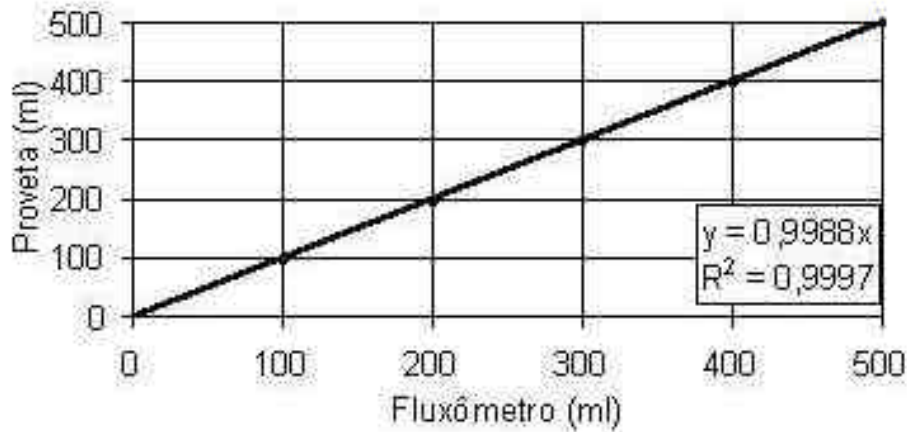


Figura 58. Calibração do fluxômetro para obter o fator de conversão do "Micrologger"

Cálculo do fator de conversão (multiply):

Fator de conversão utilizado = 1

Constante do sensor = 1 pulso/ml = 1pulso/0,001L

Para freqüência de aquisição = 10 HZ tem-se:

$$\text{Novo fator em L/h} \Rightarrow \frac{\text{pulsos}}{0,1\text{s}} \times \frac{3600\text{s/h}}{1\text{pulso}/0,001\text{L}} = 36$$

Para freqüência de aquisição = 1Hz tem-se:

$$\text{Novo fator em L/h} \Rightarrow \frac{\text{pulsos}}{1\text{s}} \times \frac{3600\text{s/h}}{1\text{pulso}/0,001\text{L}} = 3,6$$

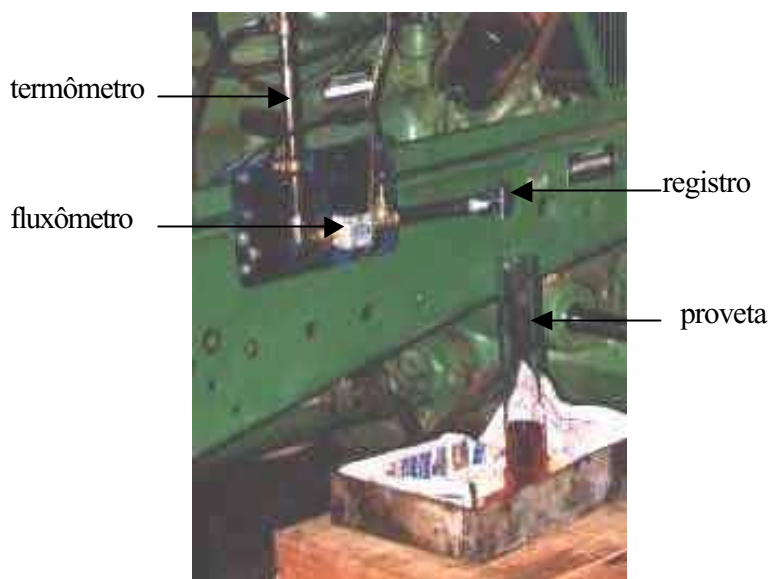


Figura 59. Calibração do fluxômetro utilizando uma proveta

6.6 Ensaio Piloto

Após a calibração dos sensores realizou-se o ensaio piloto em superfície rígida, solo descoberto e solo coberto com palhada utilizando todos os sensores no equipamento para ajustes, regulagens e checagem da instrumentação. Os dados foram analisados para obter os fatores de conversão, a frequência de aquisição de dados e o comprimento mínimo das parcelas. As Figuras 60 a 71 ilustram estes ensaios e os Quadros 20 a 24 mostram os dados e as análises estatísticas.



Figura 60. Equipamento fazendo testes preliminares em superfície rígida e solo firme



Figura 61. Colocação de lastros para ensaios do equipamento

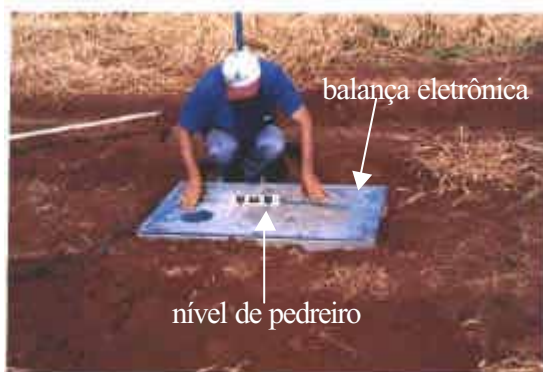


Figura 62. Nivelamento e instalação da balança para medição da carga vertical no rodado



Figura 63. Pesagem da carga vertical no rodado do equipamento



Figura 64. Seleção de velocidade do equipamento para ensaios preliminares na pista de ensaio



Figura 65. Ensaio piloto em superfície rígida com pneu BPAF-1



Figura 66. Ensaio piloto em superfície rígida com pneu BPAF-2



Figura 67. Equipamento realizando ensaio piloto em solo descoberto com pneu BPAF-1



Figura 68. Ensaio piloto em solo descoberto com pneu BPAF-2



Figura 69. Ensaio piloto em solo coberto com palhada utilizando pneu BPAF-2

Com a realização da calibração dos sensores e do ensaio piloto foi possível calcular os fatores de conversão para cada frequência de aquisição de dados e elaborar o Quadro 20 a seguir.

Quadro 20. Fatores de conversão para cada variável em função da frequência de aquisição

Variável (Sensor)	Frequência						constante do sensor
	10 Hz	5 Hz	2,5 Hz	1,7 Hz	1,3 Hz	1Hz	
Força	5078,76	5078,76	5078,76	5078,76	5078,76	5078,76	330,7
Torque	321,39	321,39	321,39	321,39	321,39	321,39	17,6
Termopar	0,9897	0,9897	0,9897	0,9897	0,9897	0,9897	5,0614
Rot.(entr)	10	5	2,5	1,6667	1,25	1	0
Rot(pneu)	10	5	2,5	1,667	1,25	1	0
Radar *	0,372	0,186	0,093	0,062	0,0465	0,0372	0
Radar **	0,378	0,189	0,0945	0,063	0,04725	0,0378	0
Diesel	36	18	9	6	4,5	3,6	0

* Superfície rígida

** Solo descoberto

6.6.1 Programa utilizado no "Micrologger" e forma de transferência no computador

Para o "Micrologger" gravar os sinais recebidos dos sensores foi necessário elaborar um programa (instruções de: monitoramento, fator de conversão, local e forma de gravação) e inserir no mesmo. O fluxograma do programa utilizado nos ensaios do equipamento está apresentado na Figura 70 e o programa no APÊNDICE 4.

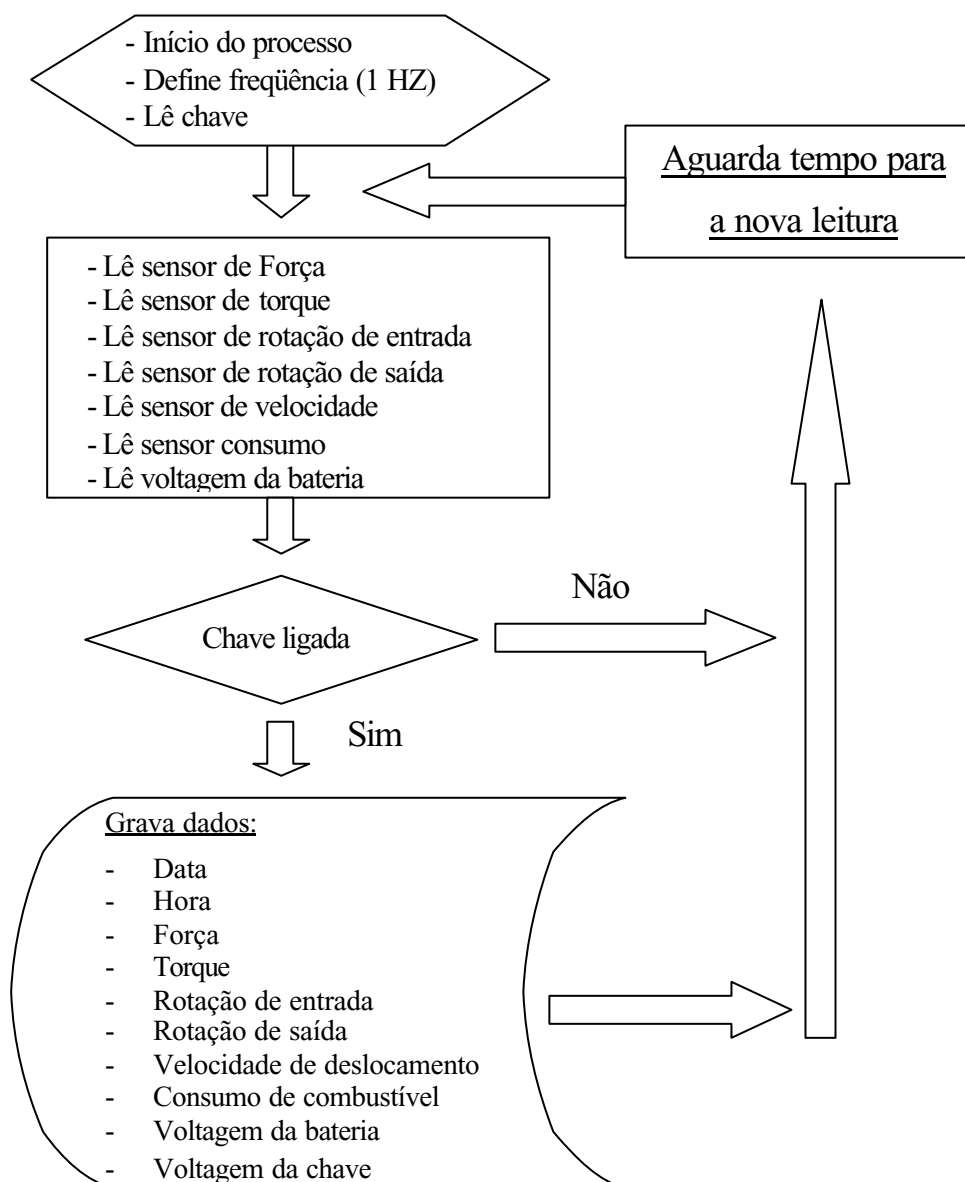


Figura 70. Fluxograma simplificado do programa para o sistema de aquisição de dados.

Os dados registrados no "micrologger" foram transferidos para o disco rígido do microcomputador na forma de arquivos ASCII (texto separado por vírgula), permitindo fazer análises posteriores com auxílio de uma planilha eletrônica.

6.6.2 Análise dos dados coletados no ensaio piloto

O resumo da análise de variância do Quadro 21, mostra que não houve diferenças significativas para comprimentos de parcelas a partir de 10 metros. Devido a este resultado utilizou-se nos ensaios, parcelas de 20 metros de comprimento. A Figura 71 mostra o comportamento dos valores durante um percurso de 50m (detalhes nos APÊNDICES 5 e 6).

Quadro 21. Influência do comprimento da parcela na aquisição dos dados

Comp (m)	Força (N)	Torque (Nm)	Rot. entrada (rpm)	Rot. pneu (rpm)	Velocidade (km/h)	Consumo (l/h)
5	8471,32 A	376,70 A	337,76 A	15,16 A	4,37 A	8,59A
10	8051,38 B	367,27 A	338,38 A	15,07 A	4,37 A	8,57AB
20	8072,72 B	361,99 A	338,63 A	15,28 A	4,37 A	8,53AB
30	8082,12 B	360,19 A	338,77 A	15,43 A	4,37 A	8,50AB
40	8164,28 B	359,95 A	338,84 A	14,50 A	4,38 A	8,44 B
Média	8168,36	365,22	338,48	15,29	4,37	8,52
CV	1,29	2,69	0,51	3,53	0,51	0,87

Em cada coluna para cada fator, médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

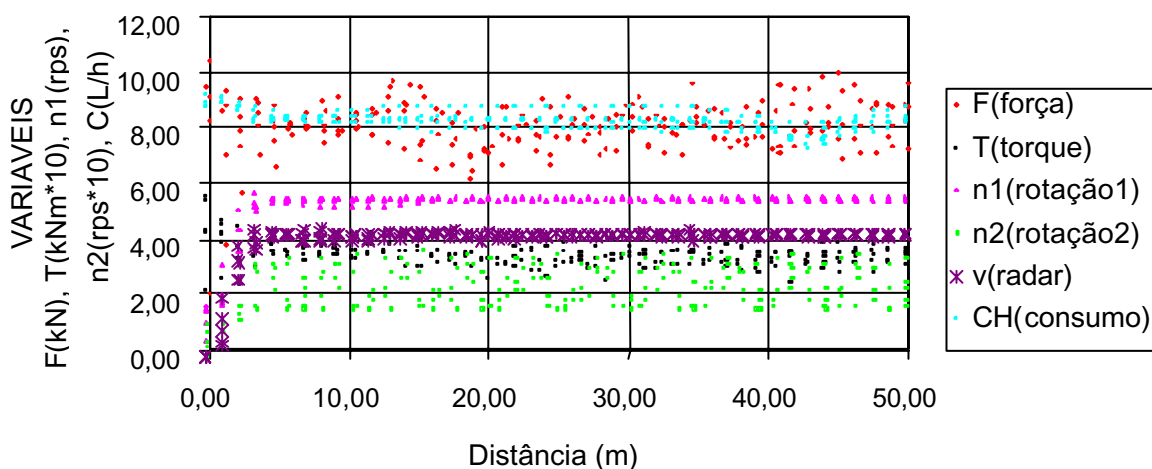


Figura 71. Comportamento dos dados ao longo da parcela de 50m

O resumo da análise de variância do Quadro 22 constata que não houve diferenças significativas entre a frequência de coleta de 1 Hz a 10 Hz, concordando com os resultados obtidos, em condições reais de campo por Silva (1997), o que garante a possibilidade de trabalharmos com uma frequência de 1 Hz nos ensaios. Observa-se também que as diferenças encontradas nas outras frequências são devidas a variabilidade entre os blocos (ver o Quadro de análise de variância do experimento no APÊNDICE 5).

Quadro 22. Influência da frequência de aquisição nos dados

Frequência (Hz)	Força (N)	Torque (Nm)	Rot. entrada (rpm)	Rot. pneu (rpm)	Velocidade (km/h)	Consumo (l/h)
10,0	900,92 AB	362,28 AB	346,62 A	16,48 AB	4,49 A	8,83 A
5,0	909,35 A	364,63 AB	342,81 A	16,76 A	4,44 A	8,46 A
2,5	904,54 AB	364,50 AB	344,35 A	16,63 A	4,46 A	8,57 A
1,7	920,97 A	389,16 AB	344,02 A	16,35 AB	4,45 A	8,45 A
1,3	930,97 A	403,90 A	339,31 A	16,02 AB	4,39 A	8,27 A
1,0	837,09 B	345,28 B	340,86 A	15,56 B	4,40 A	8,47 A
Média	900,64	371,63	343,00	16,30	4,44	8,51
CV	3,86	6,41	1,67	3,17	1,68	3,70

Em cada coluna para cada fator, médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No Quadro 23 observa-se o aumento da carga vertical no pneu devido à perda de sustentação do sistema de levantamento hidráulico do equipamento. Para manter uma carga vertical de 5.000 N no rodado (18.770 N no sistema de levantamento) durante um tempo de 20 segundos (tempo suficiente para percorrer uma parcela de 20m a 4 km/h), o sistema hidráulico apresentou uma perda de sustentação de 210 N e para carga vertical de 23.770 N não houve perda. Isto significa que o sistema de sustentação está apropriado para executar ensaios.

Quadro 23. Perda de sustentação (N) do sistema hidráulico de levantamento do equipamento

Carga no pneu (N)	Tempo (s)						
	0	10	20	30	40	50	60
5.000	5.000	5.110	5.210	5.310	5.410	5.500	5.590
10.000	10.000	10.070	10.140	10.210	10.290	10.370	10.450
15.000	15.000	15.080	15.170	15.260	15.360	15.450	15.560
20.000	20.000	20.100	20.210	20.310	20.430	20.510	20.560
23.770	23.770	23.770	23.770	23.770	23.770	23.770	23.770

O Quadro 24 apresenta o escalonamento de velocidades do equipamento o que permite calcular a patinagem do pneu em ensaio. Nota-se que entre as diversas velocidades obtidas, a máxima foi de 11,25 km/h, velocidades suficientes para o equipamento simular a maioria dos tratores operando no campo.

Quadro 24. Escalonamento de velocidades do equipamento para duas rotações da TDP, com pneu BPAF-2 em pista asfáltica.

Caixa de marchas	TDP 1000rpm (km/h)	TDP 540 rpm (km/h)
111	0,73	< 1,00
112	3,35	1,81
121	0,96	< 1,00
122	3,95	2,12
211	1,12	< 1,00
212	4,57	2,3
221	1,45	0,79
222	5,99	3,27
311	2,03	1,12
312	8,79	4,41
321	2,70	1,47
322	11,25	5,94
R11	1,11	*
R12	4,50	*
R21	1,46	*
R22	5,89	*

* não realizado

6.7 Ensaios realizados com o equipamento no campo

Nos ensaios de campo com o equipamento, foram utilizados diversos tipos de pneus em superfícies como pista de asfalto, pista de terra e pista de ensaio, obtendo-se assim, maior número de dados e maior confiabilidade quanto ao funcionamento do equipamento em diferentes condições de exigências.

As médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os dados obtidos nos ensaios de campo, em pista asfáltica e solo agrícola, estão apresentados nas Figuras 72 a 81.

Os resultados obtidos em um experimento com dois tipos de pneus, radial e diagonal, submetidos a quatro cargas 10.000 N, 13.000 N, 16.000 N e 19.000 N, estão apresentados nos Quadros 25 a 38 e nas Figuras 82 a 87.

As observações obtidas originalmente, os quadros de análises estatísticas e informações complementares encontram-se nos APÊNDICES 5, 6 e 7.

6.7.1 Ensaios realizados no campo

Nos ensaios realizados com o equipamento no campo, foram utilizados dois tamanhos de pneus (BPAF-1 e BPAF-2) normalmente utilizados na maioria dos tratores agrícolas, com pressões e cargas dentro dos limites recomendados pelos fabricantes.

Para avaliar o desempenho dinâmico de rodados agrícolas em condições de campo, foi realizado um ensaio com o pneu BPAF-2, variando-se as cargas verticais e mantendo-se a pressão de inflação fixa. Pode-se observar na Figura 72 que a força de tração e o torque aumentaram com a carga no rodado e o consumo horário e a velocidade não foram afetados pelo aumento da carga.

A Figura 73 apresenta os resultados do ensaio do equipamento em condições de campo, com pneu BPAF-2 sobre superfície sem cobertura e com cobertura do solo. A presença de palha na superfície do solo reduziu a força de tração líquida do rodado

causando um aumento no consumo de combustível do motor. Nas Figuras, 74 a 76 percebe-se diferenças no rastro do pneu conforme a carga imposta no rodado e condições de superfície.

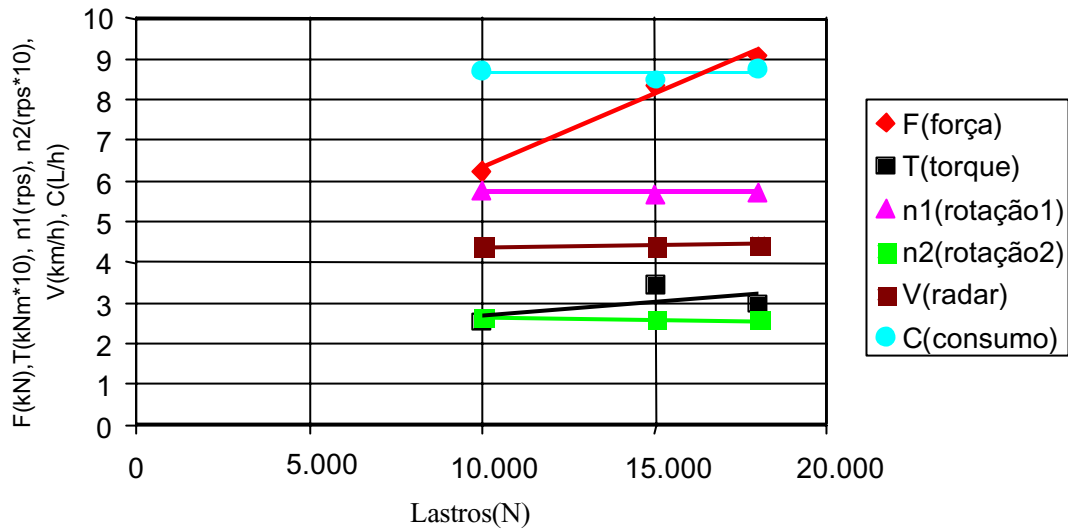


Figura 72. Comportamento do pneu BPAF-2 na pista de ensaio sobre solo descoberto

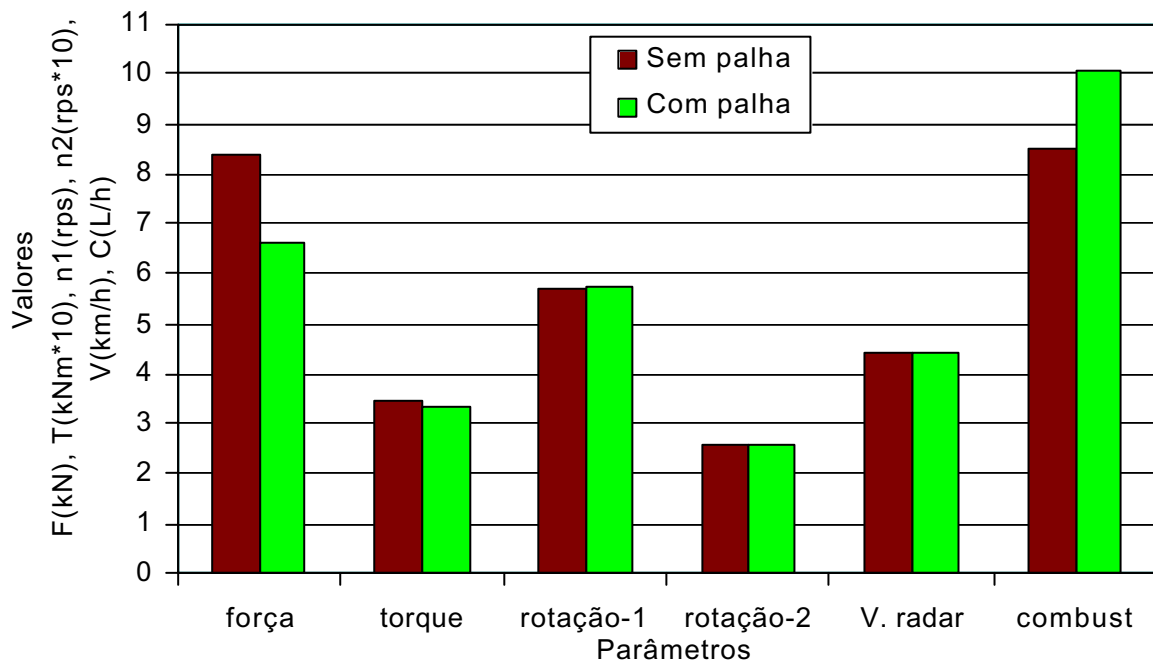


Figura 73. Comportamento do pneu BPAF-2 com e sem cobertura do solo



Figura 74. Rastro deixado pelo equipamento com patinagem alta (pneu BPAF-2)



Figura 75. Rastro deixado pelo equipamento com patinagem baixa (pneu BPAF-2)



Figura 76. Rastro deixado pelo equipamento em superfície coberta

Outra possibilidade de utilização do equipamento é obter o raio de rolamento de pneus agrícolas. Nas Figuras 77 e 78, verifica-se os resultados obtidos de um ensaio em solo compactado com pneu BPAF-2 para avaliar o seu raio de rolamento em função da patinagem e carga. Observa-se que o raio de rolamento diminuiu com a patinagem e com a carga no rodado. Isso ocorre devido a maior deformação do pneu quando se aumenta a patinagem e, principalmente, a carga.

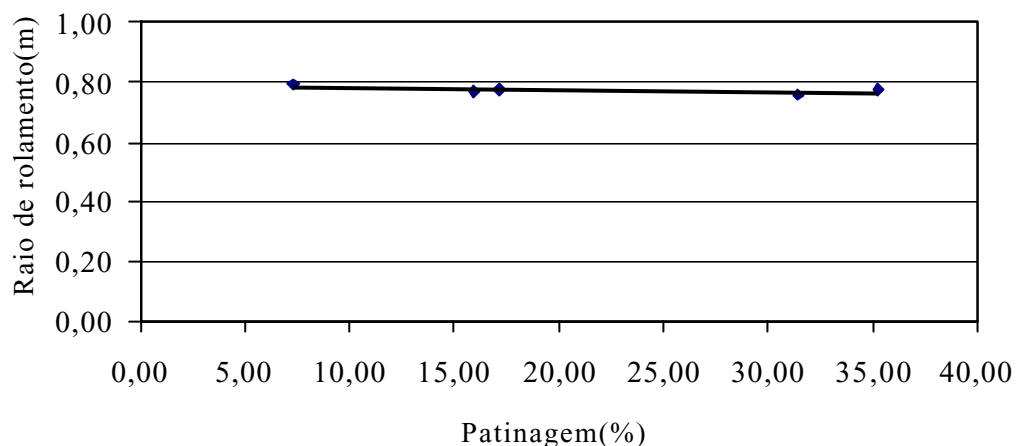


Figura 77. Obtenção do raio de rolamento do pneu BPAF-2 para diversas patinagens com carga fixa de 24.000 N

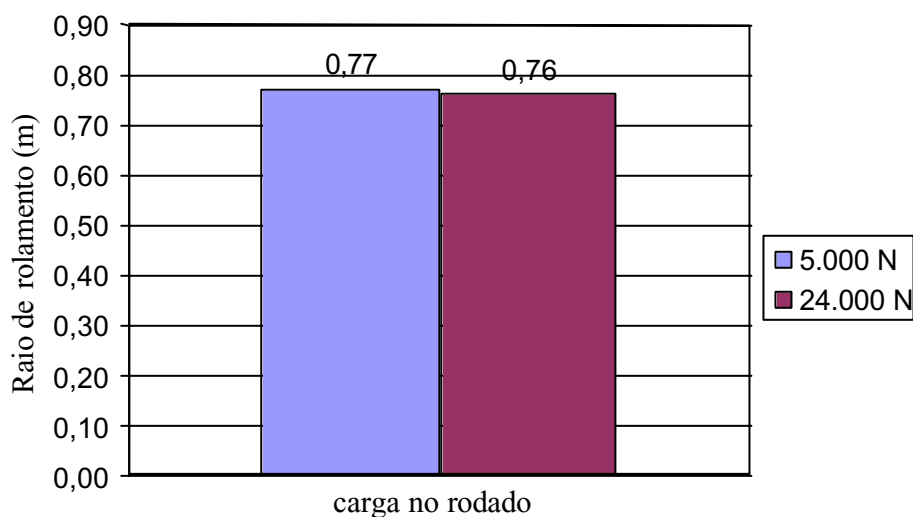


Figura 78. Obtenção do raio de rolamento do pneu BPAF-2 para cargas de 5.000 N e 24.000 N

O equipamento permite conjugar a sua marcha (111,222,312...) com a marcha do trator (A1, A2, B1, C1...) para obter a força de tração, a patinagem, a velocidade, o torque ou a velocidade necessária para o ensaio. Neste caso o próprio trator que fornece energia para o equipamento pode servir de trator de lastro. Na Figura 79, observa-se diferentes comportamentos do pneu BPAF-1 (o menor pneu ensaiado), com a variação da pressão do pneu e marcha do equipamento. Nesta avaliação verificou-se o limite máximo de patinagem (33,77%) para a condição em que o ensaio foi realizado.

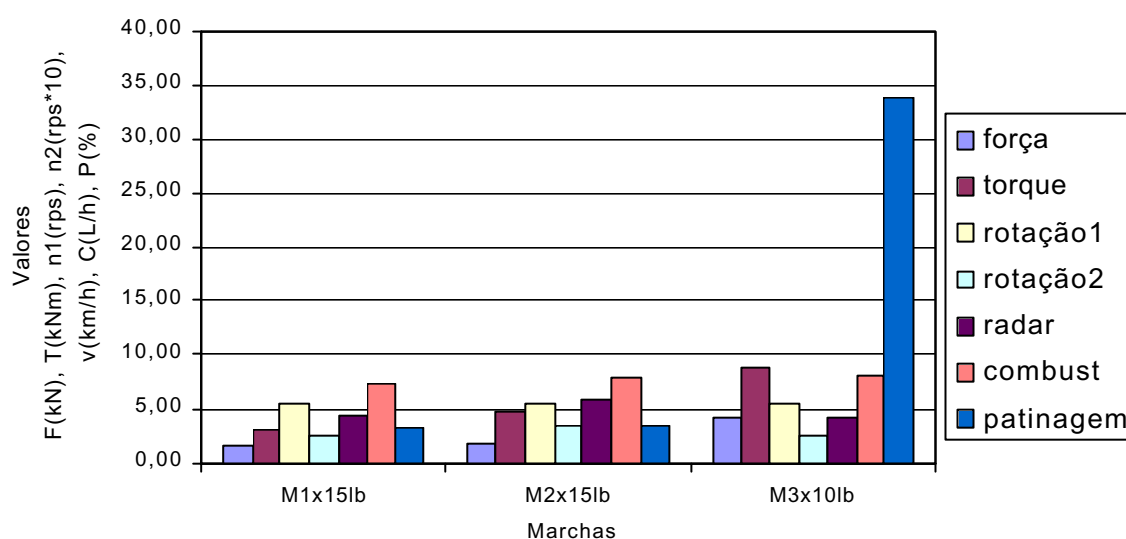


Figura 79. Comportamento do pneu BPAF-1 com carga fixa no rodado de 15.000 N para: marcha M1(A2x222), M2(B1x312), ambos com pressão de 103 kPa (15 psi) e M3(C1x312) com pressão de 69 kPa (10 psi).

Visualiza-se na Figura 80, o comportamento do pneu BPAF-2 para a carga de 10.000 N e de 15.000 N, pressão de 138 kPa (20 psi) e marcha fixa (MA3x212). Nota-se que, o aumento da carga no rodado provocou aumento de torque e de tração líquida do pneu (F).

No Quadro 25, observa-se o resultado das principais combinações de velocidades com as respectivas patinagens, que o equipamento permitiu em condição de solo compactado, utilizando-se o pneu BPAF-2. Estes valores não podem ser considerados constantes, pois variam de acordo com o tipo, diâmetro, pressão e carga no pneu, e também com a superfície em contato.

Quadro 25. Patinagens resultantes das principais combinações de velocidades do trator e do equipamento, utilizando pneu BPAF-2 em solo compactado.

Marcha (equipamento.x trator)	Patinagem (%)	Rotação da TDP (rpm)
222 x A2	3,05	540
312 x A3	3,25	540
312 x B3	3,81	1.000
112 x A2	4,06	1.000
322 x C2	5,04	1.000
212 x A1	6,98	540
212 x A3	9,77	1.000
312 x C1	15,33	1.000
122 x A2	18,70	1.000
322 x B1	22,33	540
222 x B1	22,88	1.000
322 x B3	24,85	1.000
312 x B2	27,30	1.000
312 x A2	28,26	540
322 x A3	28,41	540
212 x A2	29,68	1.000
222 x A1	30,17	540
222 x A3	31,13	1.000

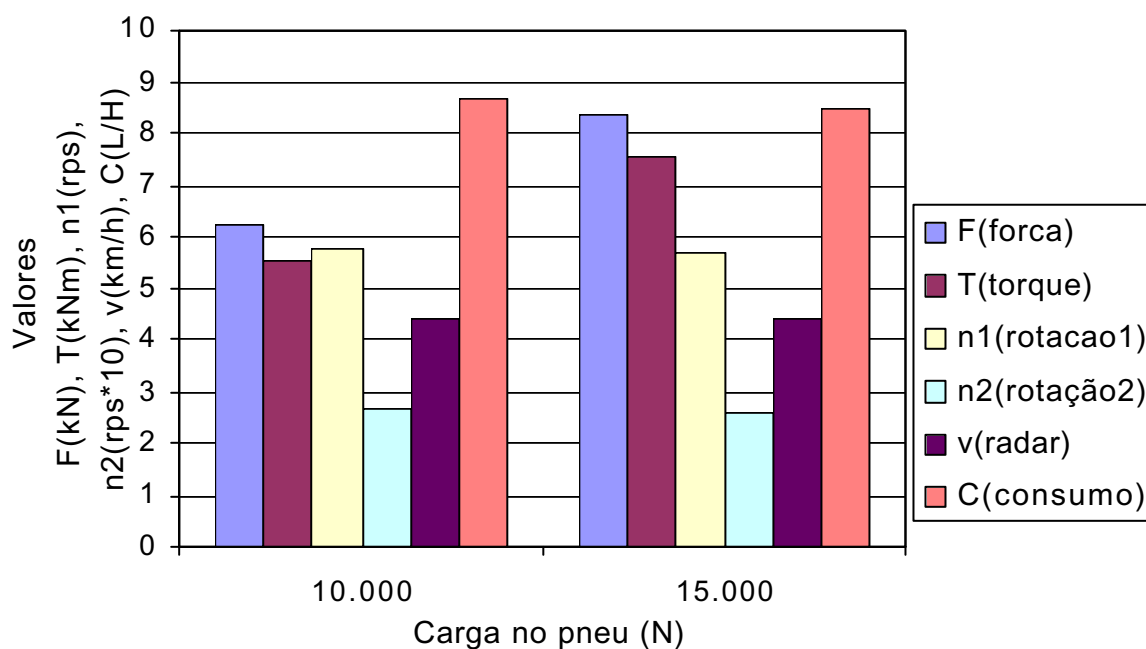


Figura 80. Valores obtidos com o equipamento utilizando pneu BPAF-2 com pressão fixa de 138 kPa (20 psi) sob dois níveis de cargas

Para comparar o desempenho de pneus, os dados obtidos pelo equipamento podem ser utilizados nas diversas equações apresentadas anteriormente e obter outros parâmetros importantes na avaliação de um pneu. Na Figura 81, observa-se o comportamento do pneu anterior (BPAF-2) quanto à patinação, raio de rolamento, tração bruta, resistência ao rolamento, coeficiente de tração bruta, coeficiente de tração líquida, eficiência tratorária e consumo específico de combustível. O equipamento permitiu, com a mudança de cargas no pneu, um aumento da resistência ao rolamento e da tração bruta. Observa-se também que o consumo específico e o coeficiente de tração bruta diminuíram com o aumento da carga no pneu.

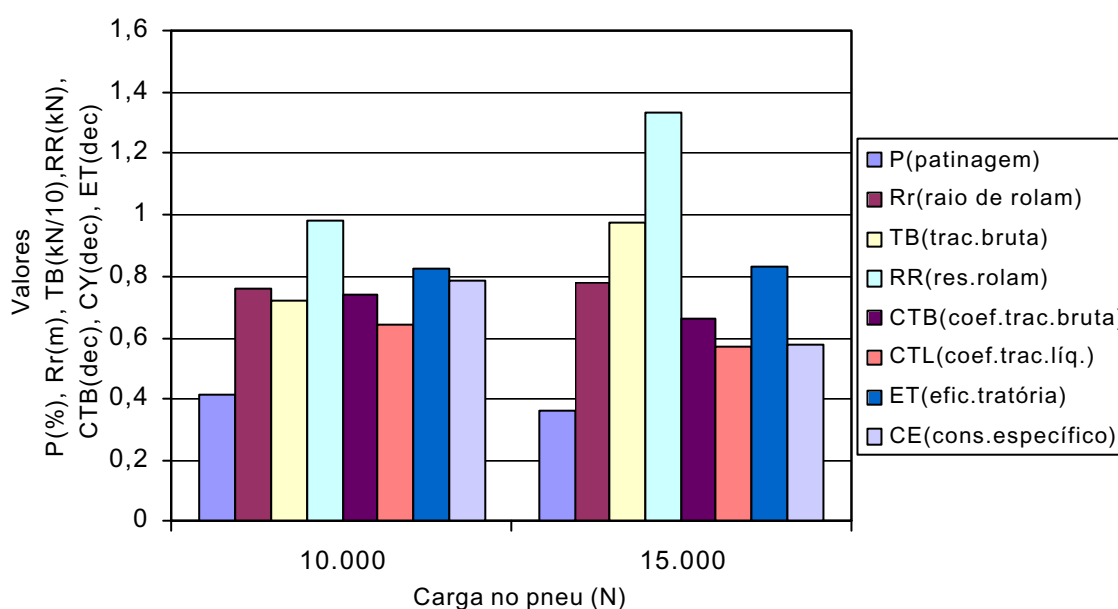


Figura 81. Efeito dinâmico do pneu BPAF2, com pressão fixa de 138 kPa (20 psi) para dois níveis de cargas verticais

6.7.2 Experimento

Com o equipamento construído e ensaiado, o mesmo foi submetido para realizar um experimento no campo e avaliar o desempenho dinâmico de dois tipos de pneus (Pn) submetidos a 4 cargas (C) na pista de ensaio do NEMPA. Os resultados deste experimento são apresentados nos Quadros 26 a 31.

No experimento foi realizada a avaliação da resistência do solo à penetração. O teor de água no momento da avaliação era de 15,57% na profundidade de 0 a 15 cm e de 17,60% na profundidade de 15 a 30 cm. Os valores médios de índice de cone obtidos e analisados são apresentados nos Quadros 32 a 38.



Figura 82. Pneu radial (a) e pneu diagonal (b) utilizados no experimento de campo



Figura 83. Vista lateral (a) e vista traseira (b) do equipamento durante o experimento na pista de ensaio do NEMPA.

6.7.2.1 Desempenho dinâmico do pneu

Para avaliar o desempenho dinâmico do pneu, os ensaios foram realizados na pista de ensaio sobre solo solto, utilizando o pneu radial e diagonal em condições diferentes de lastragem. Os resultados da análise de variância do Quadro 26 indicam que não houve diferenças significativas entre os dados de rotação, comprovando que todas as parcelas do experimento foram realizadas na mesma rotação do motor. Observa-se, ainda, que o tipo de pneu utilizado influenciou apenas no consumo horário de combustível e a carga no pneu (lastro) foram a maior responsável pelas diferenças encontradas no experimento. Houve também diferenças significativas devido à interação entre o tipo de pneu e a carga utilizada.

Quadro 26. Resultado da análise de variância (quadrado médio) referente à força líquida (FL), torque no eixo do torçômetro (Tt), rotação no eixo do torçômetro (nt), velocidade do radar (Vr), consumo horário de combustível (CH) e consumo específico (CE), em dois tipos de pneus (Pn): radial e diagonal, submetidos a quatro cargas (C): 10.000 N, 13.000 N, 16.000 N e 19.000 N.

Causas da Variação	G L	Quadrado médio					
		FL	Tt	nt	Vr	CH	CE
Pn	1	2625675,95 ^{ns}	12554,97 ^{ns}	5,56 ^{ns}	0,0038 ^{ns}	1,3838*	37976,41 ^{ns}
C	3	101490299,33**	331813,95**	15,64 ^{ns}	0,1871**	0,4332**	2235476,54**
Pn x C	3	10948103,45**	47762,88**	52,44 ^{ns}	0,0516**	0,0804 ^{ns}	146415,35 ^{ns}
B	4	3269780,54 ^{ns}	11050,50 ^{ns}	19,57 ^{ns}	0,0051 ^{ns}	0,3100 ^{ns}	389732,74*
R (a)	4	71133,64	2094,22	60,61	0,0275	0,1789	34563,99
R (b)	24	840126,37	2334,55	25,26	0,0085	0,0620	125651,41
CV(a)		12,46	12,14	2,28	4,09	4,36	22,91
CV(b)		13,54	12,81	1,48	2,27	2,57	43,68

^{ns} : não significativo (P>0,05)

* : significativo (P<0,05)

** : significativo (P<0,01)

CV: coeficiente de variação (%)

GL: graus de liberdade

No Quadro 27, verifica-se que, mesmo sendo, o consumo horário de combustível maior para o pneu radial, o consumo específico não sofreu alteração em função do tipo de pneu. Este resultado não correspondeu aos encontrados por Lanças et al. (1997), Cordeiro (2000), Lopes (2000) e Corrêa (2000), que encontraram economia de combustível no pneu radial. O equipamento utilizado no presente ensaio trabalhou com apenas um pneu, enquanto que nos experimentos realizados pelos autores citados, foram realizados com quatro pneus, por isso o motor do trator utilizado não foi adequado para as exigências em que foram submetidas. O trator apresentou potência elevada para a exigência do equipamento, ocultando a resposta do consumo de combustível.

A utilização de lastros mais pesados no pneu de 19.000 N, em comparação com lastro de 13.000 N, resultou em um aumento de força de tração líquida de 6.956 N, correspondente a 188% de acréscimo, 397 N.m (204%) de torque e 0,3 km/h (7,1%) de velocidade de deslocamento e reduziu 1.056 g/kW.h (74%) do consumo específico de combustível, o que está de acordo com todos os autores citados anteriormente.

Quadro 27. Médias dos valores de força (FL), torque (Tt), rotação (nt), velocidade (vr), consumo horário (CH) e consumo específico (CE) da utilização de dois tipos de pneus (Pn): radial e diagonal, submetidos a diferentes níveis de cargas (C): 10.000 N, 13.000 N, 16.000 N e 19.000 N.

Causas da Variação	Força líquida (N)	Torque no torçômetro (N.m)	Rotação no torçômetro (rpm)	Velocidade do radar (km/h)	Consumo de combustível (L/h)	Consumo específico (g/kW.h)
Pneu Radial	7025,26 ^a	394,80 ^a	340,38 ^a	4,05 ^a	9,88 ^a	842,39 ^a
Pneu Diagonal	6512,85 ^a	359,37 ^a	341,13 ^a	4,07 ^a	9,51 ^b	780,77 ^a
Carga 10.000 N	4693,72 ^c	261,97 ^c	342,31 ^a	3,96 ^c	10,00 ^a	928,40 ^b
Carga 13.000 N	3691,18 ^c	194,10 ^d	339,25 ^a	3,94 ^c	9,65 ^b	1426,38 ^a
Carga 16.000 N	8043,95 ^b	461,43 ^b	340,67 ^a	4,08 ^b	9,52 ^b	521,19 ^{b,c}
Carga 19.000 N	10647,38 ^a	590,85 ^a	340,78 ^a	4,24 ^a	9,61 ^b	370,35 ^c

Em cada coluna para cada fator, médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nota-se na interação entre os fatores do Quadro 28 que para carga vertical no pneu de 16.000 N, o pneu radial proporcionou maiores valores de força líquida,

torque e velocidade. Para uma carga vertical no pneu de 10.000N, o pneu diagonal respondeu com maiores valores de força líquida, torque e velocidade.

No pneu radial com cargas verticais de 16.000 N ou 19.000 N ocorreram maiores valores de força líquida, torque e velocidade do que quando utilizadas cargas de 10.000 N ou 13.000 N.

O pneu diagonal com carga vertical de 19.000 N ofereceu maiores valores de força líquida, torque e velocidade do que quando utilizadas cargas de 10.000 N, 13.000 N e 16.000 N. Quando foi utilizada carga vertical de 16.000 N, apenas os valores de força e torque foram maiores do que quando utilizadas cargas de 10.000 N ou 13.000 N.

Quadro 28. Interação entre os fatores carga no pneu e tipo de pneu para as variáveis força líquida (FL), torque (Tt) e velocidade do radar (vr).

Causas da Variação	Força líquida (N)	
	Pneu radial	Pneu diagonal
Carga 19.000 N	11107,04 ^{a A}	10187,71 ^{a A}
Carga 16.000 N	9694,34 ^{a A}	6393,56 ^{b B}
Carga 13.000 N	3255,92 ^{b A}	4126,43 ^{c A}
Carga 10.000 N	4043,75 ^{b B}	5343,69 ^{bc A}
Causas da Variação	Torque no torciômetro (N.m)	
	Pneu radial	Pneu diagonal
Carga 19.000 N	603,45 ^{a A}	578,25 ^{a A}
Carga 16.000 N	578,28 ^{a A}	344,57 ^{b B}
Carga 13.000 N	169,99 ^{b A}	218,21 ^{c A}
Carga 10.000 N	227,49 ^{b B}	296,45 ^{bc A}
Causas da Variação	Velocidade do radar (km/h)	
	Pneu radial	Pneu diagonal
Carga 19.000 N	4,23 ^{a A}	4,25 ^{a A}
Carga 16.000 N	4,16 ^{a A}	4,00 ^{b B}
Carga 13.000 N	3,92 ^{b A}	3,96 ^{b A}
Carga 10.000 N	3,87 ^{b B}	4,06 ^{b A}

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em cada linha, para cada fator, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Verifica-se nos resultados da análise de variância do Quadro 29 que o tipo de pneu utilizado influenciou nos valores da patinagem. A carga utilizada no pneu influenciou os valores de todos parâmetros estudados. Houve também diferenças significativas devido a interação entre o tipo de pneu e a carga utilizada para todos parâmetros estudados com exceção do raio de rolamento e eficiência tratória.

Quadro 29. Resultado da análise de variância (quadrado médio) referente ao raio de rolamento (Rr), torque na roda (Tr), patinagem (p), resistência ao rolamento (RR), coeficiente de tração líquida (CTL), coeficiente de tração bruta (CTB) e eficiência tratória (ET), em dois tipos de pneus (Pn): radial e diagonal, submetidos a quatro cargas (C): 10.000 N, 13.000 N, 16.000 N e 19.000 N.

CV	GL	Quadrado médio						
		Rr	Tr	p	RR	CTL	CTB	ET
Pn	1 ¹	404,51 ^{ns}	6311428,58 ^{ns}	140,66 [*]	90054,41 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,046 ^{ns}
C	3	296,05 ^{**}	168986827,52 ^{**}	78,18 ^{**}	35965532,88 ^{**}	0,148 ^{**}	0,416 ^{**}	0,010 [*]
Pn x C	3	42,23 ^{ns}	24282767,48 ^{**}	40,68 ^{**}	6933210,54 ^{**}	0,057 ^{**}	0,175 ^{**}	0,003 ^{ns}
B	4	23,87 ^{ns}	5702067,84 ^{ns}	2,26 ^{ns}	1357692,91 ^{ns}	0,021 ^{ns}	0,054 ^{ns}	0,003 ^{ns}
R (a)	4	34,17	1049330,16	13,01	418045,99	0,004	0,011	0,003
R (b)	24	20,67	1192304,00	4,12	555980,41	0,006	0,013	0,003
CV(a)		0,74	12,07	32,04	16,99	14,35	14,54	7,67
CV(b)		0,57	12,87	18,04	19,59	15,98	16,00	7,97

¹Os valores na vertical de graus de liberdade (GL) para o raio de rolamento (Rr) são: 1;3;3; 2; 2 e 12 respectivamente

^{ns} : não significativo (P>0,05)

* : Significativo (P<0,05)

** :Significativo (P<0,01)

CV: coeficiente de variação

No Quadro 30 observa-se que a patinagem foi maior no pneu radial do que no diagonal e o Quadro 31 acrescenta que isto ocorreu para cargas no pneu de 10.000 N e 13.000 N.

Para carga de 19.000 N do Quadro 32, os valores de torque na roda, resistência ao rolamento, coeficiente de tração líquida, coeficiente de tração bruta e eficiência tratória foram superiores que as demais cargas, enquanto que, os valores de raio de rolamento

e patinagem dos pneus foram menores. Para carga de 10.000 N ocorreram os menores valores de torque na roda e resistência ao rolamento.

Estes resultados confirmam os resultados encontrados pelos autores: Cordeiro (2000); Lopes (2000); Burt & Bailey (1982); Gadanha Júnior (1993) e Milan (1986), os quais destacaram que a lastragem é um fator determinante no desempenho dos pneus, sendo que o seu incremento ocasiona menor patinagem, maior velocidade de deslocamento, maior resistência ao rolamento e menor coeficiente de tração.

Quadro 30. Resultado da análise de variância (quadrado médio) referente ao raio de rolamento(Rr), torque na roda(Tr), patinagem(P), resistência ao rolamento(RR), coeficiente de tração líquida(CTL), coeficiente de tração bruta(CTB) e eficiência tratória(ET) em dois tipos de pneus submetidos a quatro cargas.

Pneu	Rr (mm)	Tr (N.m)	P (%)	RR (N)	CTL (decimal)	CTB (decimal)	ET (decimal)
Radial	798,60 ^a	8883,88 ^a	13,13 ^a	3853,37 ^a	0,47 ^a	0,73 ^a	0,66 ^a
Diagonal	790,38 ^a	8089,43 ^a	9,38 ^b	3758,47 ^a	0,46 ^a	0,72 ^a	0,64 ^a
Carga							
10.000 N	800,56 ^a	5901,43 ^c	12,72 ^{ab}	2765,81 ^c	0,48 ^b	0,76 ^a	0,63 ^b
13.000 N	796,55 ^a	4344,32 ^d	13,78 ^a	1742,73 ^d	0,29 ^c	0,43 ^b	0,70 ^a
16.000 N	796,49 ^a	10397,23 ^b	11,13 ^b	4793,74 ^b	0,51 ^{ab}	0,82 ^a	0,63 ^b
19.000 N	784,34 ^b	13303,64 ^a	7,39 ^c	5921,41 ^a	0,57 ^a	0,89 ^a	0,64 ^{ab}

Em cada coluna para cada fator, médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados apresentados no Quadro 31 mostram que, o pneu radial com cargas aplicadas de 16.000 N e 19.000 N, ocorreram maiores valores de torque na roda, resistência ao rolamento, coeficiente de tração líquida, coeficiente de tração bruta e menores valores de patinagem, enquanto que, no pneu diagonal isto ocorreu apenas com carga de 19.000 N.

Os valores de torque na roda, da resistência ao rolamento, do coeficiente de tração líquida e do coeficiente de tração bruta foram maiores no pneu diagonal do que no radial quando se utilizou carga de 10.000 N. O mesmo ocorreu com o pneu radial utilizando-se carga de 16.000 N (Quadro 31).

Para cargas de 13.000 N e 19.000 N o desempenho em ambos os pneus foram semelhantes, com exceção na patinagem, que foi maior para o pneu radial com carga de 13.000 N (Quadro 31).

Quadro 31. Interação entre os fatores pneu e carga no pneu para as variáveis torque na roda (Tr), patinagem (P), resistência ao rolamento (RR), coeficiente de tração líquida (CTL) e coeficiente de tração bruta (CTB).

Causas da Variação	Torque na roda (N.m)	
	Pneu radial	Pneu diagonal
Carga 19.000 N	13596,30 ^{a A}	13010,99 ^{a A}
Carga 16.000 N	13027,41 ^{a A}	7767,05 ^{b B}
Carga 13.000 N	3784,05 ^{b A}	4904,58 ^{c A}
Carga 10.000 N	5127,74 ^{b B}	6675,11 ^{bc A}
Causas da Variação	Patinagem (%)	
	Pneu radial	Pneu diagonal
Carga 19.000 N	8,01 ^{b A}	6,77 ^{c A}
Carga 16.000 N	11,42 ^{b A}	10,84 ^{ab A}
Carga 13.000 N	15,65 ^{a A}	11,92 ^{a B}
Carga 10.000 N	17,44 ^{a A}	7,99 ^{bc B}
Causas da Variação	Resistência ao rolamento (N)	
	Pneu radial	Pneu diagonal
Carga 19.000 N	5682,88 ^{a A}	6159,94 ^{a A}
Carga 16.000 N	6080,06 ^{a A}	3507,42 ^{b B}
Carga 13.000 N	1382,15 ^{b A}	2103,31 ^{c A}
Carga 10.000 N	2268,39 ^{b B}	3263,24 ^{bc A}
Causas da Variação	Coeficiente de tração líquida (decimal)	
	Pneu radial	Pneu diagonal
Carga 19.000 N	0,60 ^{a A}	0,55 ^{a A}
Carga 16.000 N	0,62 ^{a A}	0,41 ^{b B}
Carga 13.000 N	0,26 ^{c A}	0,32 ^{b A}
Carga 10.000 N	0,41 ^{b B}	0,55 ^{a A}
Causas da Variação	Coeficiente de tração bruta (decimal)	
	Pneu radial	Pneu diagonal
Carga 19.000 N	0,90 ^{a A}	0,88 ^{a A}
Carga 16.000 N	1,01 ^{a A}	0,63 ^{b B}
Carga 13.000 N	0,37 ^{c A}	0,49 ^{b A}
Carga 10.000 N	0,64 ^{b B}	0,88 ^{a A}

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em cada linha, para cada fator, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

6.7.2.2 Avaliação da resistência do solo à penetração

A análise do índice de cone do solo antes do tráfego (carga = 0 N) em três áreas amostradas, está apresentado no Quadro 32. Verifica-se que não houve diferenças significativas entre as áreas, nas camadas do solo de 0 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm, 20 cm a 30 cm e 30 cm a 40 cm, portanto, para comparar a resistência do solo à penetração do solo antes e depois do tráfego, foi considerada a média dos valores das três áreas como o índice de cone para carga 0 N.

Quadro 32. Resultado da análise de variância (quadrado médio) referente ao índice de cone antes do tráfego dos pneus (carga = 0 N), em três áreas, nas profundidades de 0 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm, 20 cm a 30 cm e 30 cm a 40 cm.

Causas da variação	G L	Quadrado médio			
		0 cm a 10 cm	10 cm a 20 cm	20 cm a 30 cm	30 cm a 40 cm
Áreas	2	1198,12 ^{ns}	219930,79 ^{ns}	642143,39 ^{ns}	1034824,92 ^{ns}
Bloco	4	3578,50 ^{ns}	764447,96 ^{ns}	825835,67 ^{ns}	195522,18 ^{ns}
Resíduo	8	6420,96	373383,65	676196,78	467672,90
CV		41,90	72,38	28,51	20,23

^{ns} : não significativo (P>0,05)

* : significativo (P<0,05)

** : significativo (P<0,01)

CV: coeficiente de variação (%)

GL: graus de liberdade

Verifica-se no Quadro 33 que o tipo e a carga no pneu, a profundidade da camada e a interação desses fatores influenciaram nos valores de índice de cone, indicando que houve variação na resistência à penetração do solo, devido ao tráfego dos pneus e a profundidade do solo.

Quadro 33. Resultado da análise de variância (quadrado médio) referente ao índice de cone com dois tipos de pneus (radial e diagonal), submetidos a cinco cargas: 0 N, 10.000 N, 13.000 N, 16.000 N e 19.000 N, nas profundidades de 0 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm, 20 cm a 30 cm e 30 cm a 40 cm.

Causas da variação	G L	Quadrado médio
Pneu	1	847986,13 [*]
Carga	4	5947913,73 ^{**}
Pneu x Carga	4	771839,31 ^{ns}
Camada	3	104632994,85 ^{**}
Pneu x Camada	3	759244,43 [*]
Carga x Camada	12	971993,18 [*]
Pneu x Carga x Camada	12	420978,53 [*]
Bloco	4	209808,93 ^{ns}
Resíduo (a)	4	40445,50
Resíduo (b)	32	392192,05
Resíduo (c)	120	221222,04
CV(a)		8,23
CV(b)		25,61
CV(c)		19,24

^{ns} : não significativo (P>0,05)

* : significativo (P<0,05)

** : significativo (P<0,01)

CV: coeficiente de variação (%)

GL: graus de liberdade

Observa-se no Quadro 34 que o índice de cone depois do tráfego com pneu diagonal foi maior do que com pneu radial. Estas diferenças confirmam os resultados encontrados pela JOHN DEERE (1993), GOODYEAR (1994), Upadhyaya & Wulfsohn (1990) e Corrêa et al. (1997b). Vale ressaltar que de acordo com as recomendações do fabricante, a pressão de inflação do pneu diagonal (124 kPa) foi maior do que a pressão do pneu diagonal (110 kPa).

Todas as cargas modificaram a condição inicial do solo sendo que a carga de 13.000 N causou menor compactação do solo, como verificados por Marshall & Raney (1960) e Camargo & Alleoni (1997).

As camadas de 20 cm a 30 cm e de 30 cm a 40 cm apresentaram maiores valores de índice de cone seguidas de 10 cm a 20 cm e de 0 cm a 10 cm, confirmando os resultados obtidos por Souza et al., 1987.

As Figuras 84 e 85 mostram com maiores detalhes o comportamento do índice de cone com o tipo de pneu e com as cargas aplicadas no pneu de 0 cm a 40 cm de profundidade.

Quadro 34. Médias dos valores de índice de cone nas profundidades de 0 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm, 20 cm a 30 cm e 30 cm a 40 cm, de dois tipos de pneus submetidos a cinco níveis de cargas(C): 0 N, 10.000 N, 13.000 N, 16.000 N e 19.000 N.

Causas da variação	Média do índice de cone (kPa)
Pneu Diagonal	2510,16 ^a
Pneu Radial	2379,93 ^b
Carga 19.000 N	2683,49 ^{ab}
Carga 16.000 N	2808,43 ^a
Carga 13.000 N	2350,16 ^b
Carga 10.000 N	2557,91 ^{ab}
Carga 0 N	1825,25 ^c
Camada 30 - 40 cm	3645,20 ^a
Camada 20 - 30 cm	3503,02 ^a
Camada 10 - 20 cm	2080,41 ^b
Camada 0 - 10 cm	551,55 ^c

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

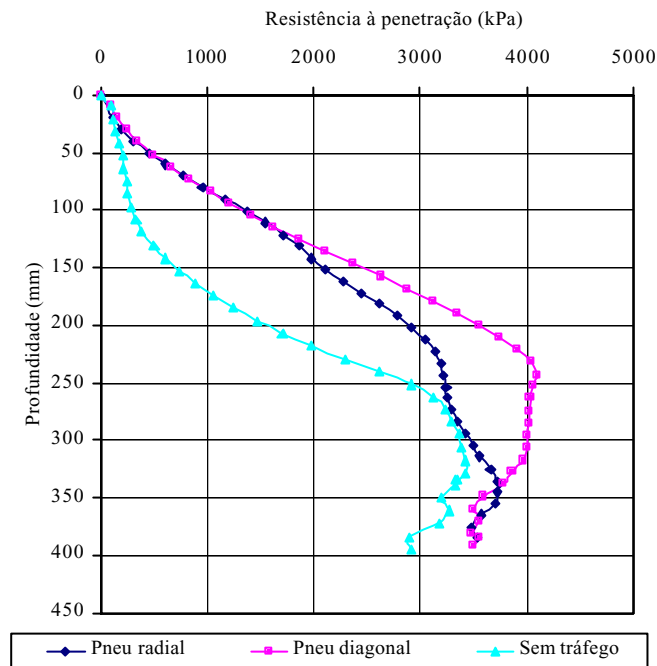


Figura 84. Resistência do solo à penetração quanto ao tráfego com pneu radial, diagonal e sem tráfego na profundidade de 0 cm a 40 cm.

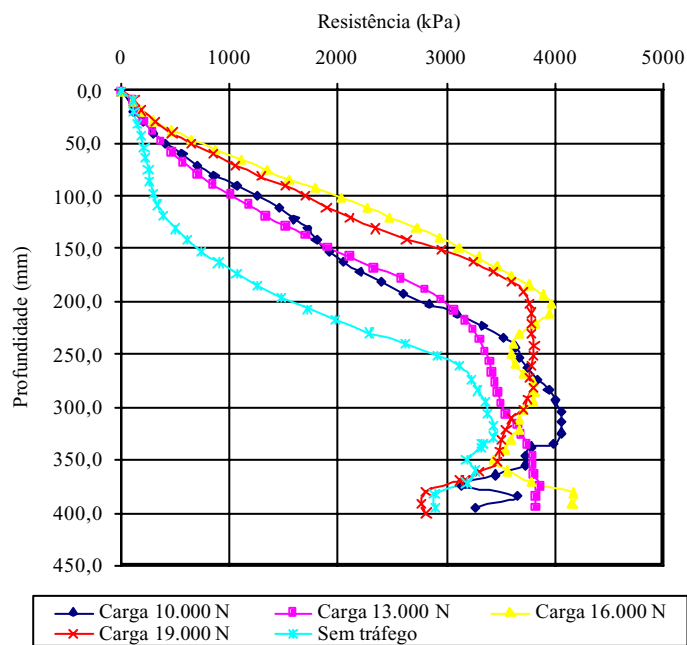


Figura 85. Resistência do solo à penetração quanto à carga nos pneus na profundidade de 0 cm a 40 cm de profundidade.

O Quadro 35 mostra que ocorreram diferenças significativas nos valores de índice de cone entre as camadas do solo com tráfego de pneu radial e também com o pneu diagonal. Observa-se que o tipo de pneu utilizado influenciou nos valores de índice de cone para a camada de 20cm a 30 cm.

Quadro 35. Resultado do desdobramento da análise de variância (quadrado médio) referente ao índice de cone em cinco camadas (0 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm, 20 cm a 30 cm e 30 cm a 40 cm) com dois tipos de pneus.

Causa da variação	G L	Quadrado médio
Camadas x pneu radial	3	45989767,49**
Camadas x pneu diagonal	3	59402471,79**
Pneus x camada 0 cm a 10 cm	1	147618,96 ^{ns}
Pneus x camada 10 cm a 20 cm	1	40533,88 ^{ns}
Pneus x camada 20 cm a 30 cm	1	2817885,77**
Pneus x camada 30 cm a 40 cm	1	119680,82 ^{ns}

^{ns} : não significativo (P>0,05)

* : significativo (P<0,05)

** : significativo (P<0,01)

GL: graus de liberdade

No Quadro 36 nota-se que a camada de 20 cm a 40 cm, sofreu maior compactação do solo para ambos os pneus, no entanto, na camada de 20 cm a 30 cm o pneu diagonal ocasionou maior compactação. Seraut (1990), afirmou que a pressão na superfície do solo é semelhante à pressão de inflação do pneu e que a pressão dentro do solo, a 30 cm, tem relação direta com àquela usada no pneu, os resultados encontrados confirmaram a observação feita pelo autor.

Os valores de índice de cone foram maiores na camada de 10 cm a 20cm do que na camada de 0 cm a 10 cm para ambos os pneus.

Quadro 36. Médias dos valores de índice de cone (kPa) resultantes da interação entre camadas do solo (0 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm, 20 cm a 30 cm e 30 cm a 40 cm) e tipo de pneu (radial e diagonal).

Causas da variação	Pneu	
	Radial	Diagonal
30 cm - 40 cm	3596,28 ^{a A}	3694,13 ^{a A}
20 cm - 30 cm	3265,63 ^{a B}	3740,42 ^{a A}
10 cm - 20 cm	2051,94 ^{b A}	2108,89 ^{b A}
0 cm - 10 cm	605,88 ^{c A}	497,21 ^{c A}

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em cada linha, para cada fator, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O Quadro 37 mostra que em todas as camadas do solo estudadas, os valores de índice de cone foram influenciados pelas cargas utilizadas no pneu. Ocorreram diferenças significativas nos valores de índice de cone entre as cargas nas camadas de 10 cm a 20 cm e 20 cm a 30 cm.

Quadro 37. Resultado do desdobramento da análise de variância (quadrado médio) referente ao índice de cone em cinco camadas (0 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm, 20 cm a 30 cm e 30 cm a 40 cm) para cinco cargas no pneu (0 N, 10.000 N, 13.000 N, 16.000 N e 19.000 N)

Causa da variação	GL	Quadrado médio
Camadas x carga 0 N	3	2391777,51 ^{**}
Camadas x carga 10.000 N	3	23328547,97 ^{**}
Camadas x carga 13.000 N	3	21056549,29 ^{**}
Camadas x carga 16.000 N	3	20808747,75 ^{**}
Camadas x carga 19.000 N	3	19409345,05 ^{**}
Cargas x camada 0 cm a 10 cm	4	546717,22 ^{ns}
Cargas x camada 10 cm a 20 cm	4	6189330,99 ^{**}
Cargas x camada 20 cm a 30 cm	4	1646565,94 ^{**}
Cargas x camada 30 cm a 40 cm	4	481279,12 ^{ns}

^{ns} : não significativo (P>0,05)

* : significativo (P<0,05)

** : significativo (P<0,01)

GL: graus de liberdade

No Quadro 38 observa-se que nas camadas de 0 cm a 10 cm e de 30 cm a 40 cm a carga utilizada não influenciou nos valores de índice de cone, mas nas camadas de 10 cm a 20 cm a compactação do solo foi maior para a carga de 16.000 N e 19.000 N. Para camada de 20 cm a 30 cm todas as cargas compactaram o solo após o seu tráfego, com exceção da carga de 13.000 N.

Nas camadas de 0 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm e de 20 cm a 40 cm, os valores do índice de cone foram maiores respectivamente para todas as cargas no pneu.

Quadro 38. Médias dos valores de índice de cone resultante da interação entre camadas do solo (0 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm, 20 cm a 30 cm e 30 cm a 40 cm) e carga aplicada no pneu (0 N, 10.000 N, 13.000 N, 16.000 N e 19.000 N).

Causas da variação	Carga				
	19.000 N	16.000 N	13.000 N	10.000 N	0 N
Camada					
30 cm - 40 cm	3508,64 ^{a A}	3767,88 ^{a A}	3625,19 ^{a A}	3943,08 ^{a A}	3381,23 ^{a A}
20 cm - 30 cm	3815,12 ^{a A}	3872,40 ^{a A}	3330,07 ^{a AB}	3613,17 ^{a A}	2884,37 ^{a B}
10 cm - 20 cm	2691,72 ^{b A}	2831,83 ^{b A}	1993,65 ^{b B}	2040,70 ^{b B}	844,17 ^{b C}
0 cm - 10 cm	718,48 ^{c A}	761,61 ^{c A}	451,75 ^{c A}	634,68 ^{c A}	191,23 ^{c A}

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em cada linha, para cada fator, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para melhor visualização das variações da compactação do solo, após o tráfego do pneu em função da carga aplicada, calculou-se o incremento do índice de cone para cada camada com o pneu radial e com o pneu diagonal. Pode se observar nas Figuras 92 e 93 que os maiores incrementos na compactação ocorreram nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, para ambos os pneus, concordando com os resultados obtidos por Ferreira (1998) e Fernandes (1996).

Comparando os pneus, nota-se nas Figuras 86 e 87 que o tráfego com o pneu radial provocou maiores incrementos na camada superficial e menores incrementos na camada inferior. Para a carga de 16.000 N observa-se que o incremento do índice de cone foi maior para o pneu radial. A resposta para este incremento está apresentada nos Quadros 28 e

29, cujos valores de força, torque, velocidade, resistência ao rolamento e tração líquida foram maiores quando comparados com o pneu diagonal.

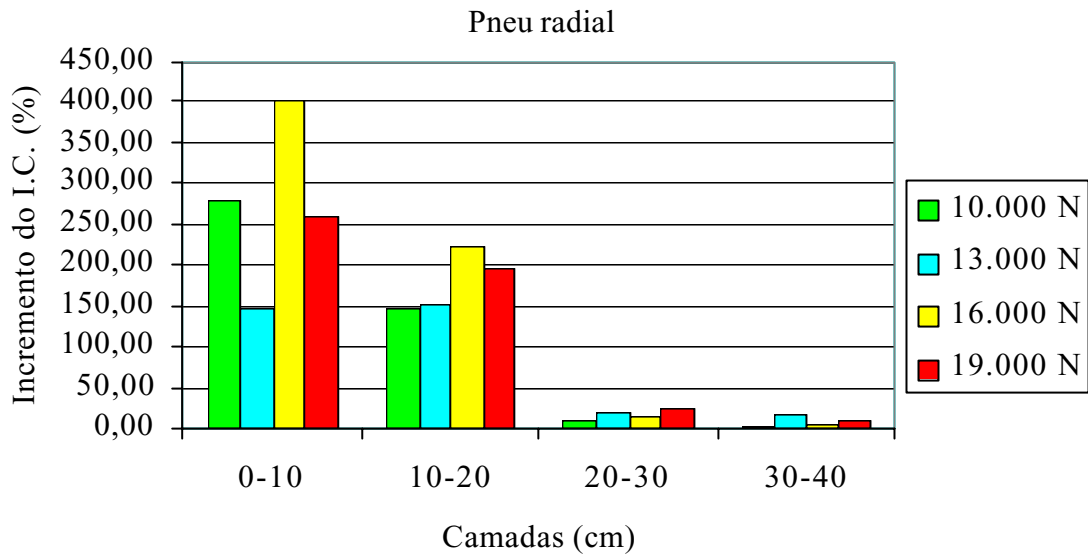


Figura 86. Comportamento das camadas do solo após o tráfego do pneu radial em função da carga aplicada.

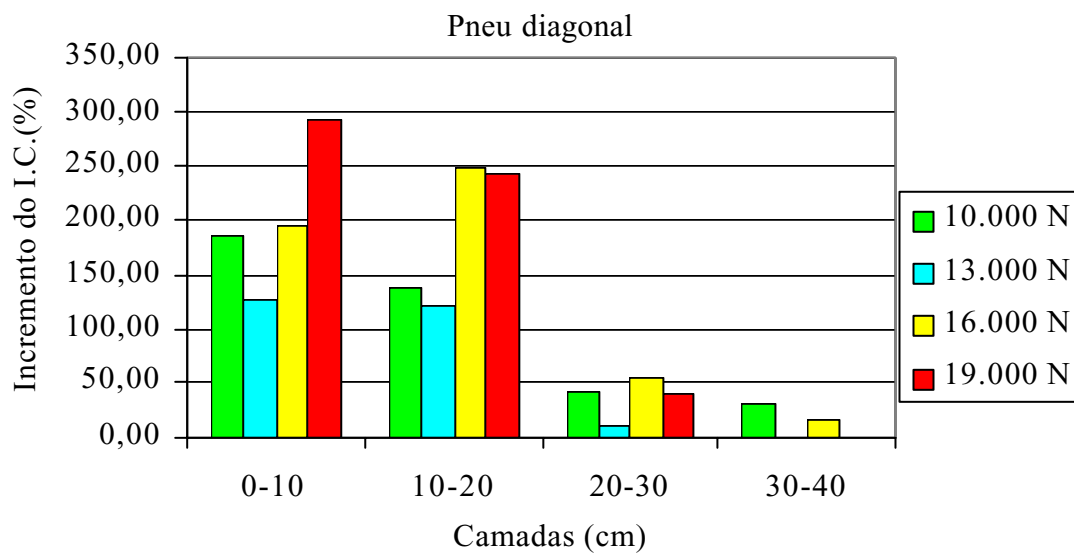


Figura 87. Comportamento das camadas do solo após o tráfego do pneu diagonal em função da carga aplicada.

A partir dos resultados obtidos com o equipamento pode-se estudar o comportamento do pneu para cada condição de trabalho, melhorar o desempenho do trator, aumentar a capacidade de trabalho do conjunto, evitar alterações indesejáveis na estrutura do solo, aumentar a vida útil do pneu , melhorar a qualidade do serviço executado e reduzir o custo.

Sugestões para trabalhos futuros:

- a) testar o novo equipamento para obter a coesão e o ângulo de atrito do solo em nível de campo;
- b) adaptar dispositivos no chassi do equipamento para medir e controlar carga vertical instantaneamente;
- c) ajustar partes constituintes do equipamento para avaliar esteiras de tratores agrícolas; e
- d) realizar pesquisas diversas com pneus agrícolas.

7 CONCLUSÕES

De acordo com as condições em que o experimento foi conduzido e com base nos resultados obtidos, concluiu-se que:

O sistema de transmissão do equipamento, utilizando pneus BPAF-1 e BPAF-2, possibilitou realizar os ensaios com variações suficientes de velocidades (0 a 14 km/h), patinagem (3% a 34%), diâmetro dos pneus mais utilizados nas operações agrícolas (1250 mm a 1722 mm), larguras de pneus de 500 mm a 602 mm e cargas verticais (0 a 24.000 N).

O sistema hidráulico de sustentação do equipamento suportou as cargas impostas (0 N a 23.077 N) e permitiu variar as cargas durante as calibrações e os ensaios de campo.

O comprimento mais adequado da parcela para os ensaios de campo foi de 20m.

A frequência de aquisição dos dados recomendado para as condições em que foram realizadas as calibrações e os ensaios foi de 1Hz.

Os ensaios mostraram que o equipamento permite avaliar o desempenho dinâmico de rodados pneumáticos de tração, em condições de solo agrícola e em pista asfáltica. Permite também comparar diferentes pneus em função da pressão de inflação, patinagem, raio de rolamento e carga no rodado, conforme as condições desejadas na pesquisa.

Por avaliar individualmente o pneu, e possuir um sistema de aquisição de dados eletronicamente, o equipamento proporcionou agilidade e praticidade nos ensaios, demonstrando que o método foi adequado aos propósitos.

No ensaio utilizando pneu radial com pressão de inflação de 110 kPa (16 psi) e o pneu diagonal com 124 kPa (18 psi), não foram verificadas diferenças entre os desempenhos, para a maioria dos parâmetros avaliados.

O desempenho dinâmico dos pneus foi expressivamente melhor para cargas verticais de 16.000 N e 19.000 N sendo que para o pneu radial verificaram-se vantagens, quando utilizou carga vertical de 16.000 N.

O tipo de pneu utilizado apresentou influência significativa na compactação do solo, mostrando que na média dos valores obtidos, o índice de cone com o pneu diagonal (2.510 kPa) foi maior do que o pneu radial (2.380 kPa).

Todas as cargas utilizadas no experimento modificaram a condição inicial do solo, sendo que as cargas mais elevadas (19.000 N e 16.000 N) provocaram maiores valores de índice de cone e seus incrementos. As camadas do solo de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm sofreram maiores incrementos no índice de cone.

Os tratamentos que utilizaram pneu radial com carga de 16.000 N causaram os maiores incrementos do índice de cone do solo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Medição do nível de ruído, no posto de operação, de tratores e máquinas agrícolas*. NORMA NBR 9999. Rio de Janeiro, 1987. 12p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PNEUS E AROS. *Livro de normas técnicas*. São Paulo, 1994. 108p.
- AL-ADAWI, S.S., REEDER, R.C. Compaction and subsoiling effects on corn and soybean yields and soil physical properties. *Trans. ASAE, (Am. Soc. Agri. Eng.)*, v.39, p.1641-9, 1996.
- ALMANAQUE abril: *a sua fonte de pesquisa*. São Paulo: Abril Multimídia, 1996. 1 CD.
- AMARAL, J.R. *Desenvolvimento e construção de um penetrógrafo eletrônico*. Piracicaba, 1994. 103p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Uniform terminology for traction of agricultural tractors, self – propelled implements, and other traction and transport devices. In: *ASAE standards 1984: standards engineering practices and data adopted by the american society of agricultural engineers*. 31 ed. St.Joseph, 1984. p. 194-6 (ASAE S296.2).
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Soil cone penetrometer. In: *ASAE standards 1995: standards engineering practices data*. 42 ed. St. Joseph, 1995. p.591 (ASAE S313.2).

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. General terminology for traction of agricultural tractors, self-propelled implements, and traction and transport devices. In: *ASAE standard 1996: standards engineering practices data*. 43 ed. St. Joseph, 1996a. p.116-8. (ASAE S296.4).
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural machinery management data. In: *ASAE Standard 1996: standards engineering practices data*. 43 ed. St. Joseph, 1996b. p.332-339. (ASAE D497-2).
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Soil cone penetrometer. In: *ASAE Standard 1999: standards engineering practices data*. 46 ed. St. Joseph, 1999a. p.834-5. (ASAE S313.1).
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. *Guarding for agricultural equipment*. In: *ASAE Standard 1999: standards engineering practices data*. 46 ed. St. Joseph, 1999b. p.347-350. (ANSI/ASAE S493).
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTIVOS. Anuário estatístico da indústria automobilística brasileira 2000. São Paulo; 2001. Disponível em: <<http://www.home.com.br/anfavea/index.htm>>. Acesso em: 09 fev. 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR10152(NB95): níveis de ruídos aceitáveis*. Rio de Janeiro, 1987. 4p.
- ATARES, P.V., BLANCA, A.L. *Tratores y motores agrícolas*. Madrid: Grupo Mundi-Prensa, 1996. p.395-413.
- BALASTREIRE, L.A. *Máquinas agrícolas*. São Paulo: Manole, 1990. 310p.
- BARBOSA, J.A., OLIVEIRA, M.L., VILIOTTI, C.A., DIAS, G.P. Resistência ao rolamento de tratores de pneus em diferentes tipos de superfícies. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1997, Campina Grande. _____, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola/Universidade Federal da Paraíba. 1997. (Editado em CD-ROM).
- BARGUER, E.L., LILJEDAHN, J.B., CARLETON, W.M., MCKIBBEN, E.G. *Tratores e seus motores*. São Paulo: Edgar Blucher, 1966. 398p.
- BASHFORD, L.L. Axle power distribution for a front- wheel assist tractor. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.28, p.1385-8, 1985.
- BASHFORD, L.L., AL – AHMED, S., JENANE, C. *Effects of tire size and pressure on tractive performance*. St. Joseph: Am. Soc. Agric. Eng., 1992. 9p. (paper, 92–1011).
- BRIDGESTONE FIRESTONE DO BRASIL INDÚSTRIA E COMÉRCIO. *Pneus para tratores: linha agrícola*. Santo André, 1997. 4p. (catálogo)

- BRIXIUS, W.W. *Traction prediction equations for bias ply tires*. St. Joseph: Am. Soc. Agric. Eng., 1987. 9p. (Paper, 87-1622).
- BRIXIUS, W.W., WISMER, R.D. *The role of slip in traction*. St. Joseph: Am. Soc. Agric. Eng., 1978. 8p. (Paper, 78-1538).
- BRIXIUS, W.W., ZOZ, F.M. *Tires and tracks in agriculture*. Milwaukee: Am. Soc. Agric. Eng., 1976. 12p. (Paper, 760653).
- BURT, E.C., BAILEY, A.C. Load and inflation pressure effects on tires. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.25, p.881–4, 1982.
- BURT, E.C., BAILEY, A.C., PATTERSON, R. M., TAYLOR, J. H. Combined effects of dynamic load and travel reduction on tire performance. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.22, p.40–5, 1979.
- CLARK, S. J., LILJEDAHL, J. B. Model studies of single, dual and tandem wheels. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.12, p.240 – 45, 1969.
- CENTRO NACIONAL DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. *Ensaio de campo com o trator agrícola marca Massey Ferguson modelo M.F. 275*. Sorocaba, 1975. 36p. (Relatório...).
- CAMARGO, O.A., ALLEONI, L.R.R. *Compactação do solo e desenvolvimento das plantas*. Piracicaba: Degaspari, 1997. 132p.
- CAMPBELL SCIENTIFIC. *CR23X micrologger operator's manual*. Logan, 1998. não pag.
- CASTRO NETO, P., NAGAOKA, A.K., LANÇAS, K.P. Agricultura de precisão: sistema de processamento de dados para elaboração de mapas de isocompactação. In: *SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA*, 1, 1999, Botucatu. Anais... Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1999a. v.2, p.449-53.
- CASTRO NETO, P., NAGAOKA, A.K., LANÇAS, K.P. Resistência à penetração do solo antes e após a colheita mecanizada da soja sob diferentes sistemas de manejo. In: *SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA*, 1, 1999, Botucatu. Anais... Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1999b. v.2, p. 444-8.
- CHANCELLOR, W.J. Compaction of soil agricultural equipment. *Bull. Div. Agric. Sci. Univ. Calif.*, n.1881, p.1-53, 1977.
- CORDEIRO, M.A.L. *Estudo do efeito de lastragem no desempenho de um trator agrícola*. Botucatu, 1994. 112p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

- CORDEIRO, M.A.L. *Desempenho de um trator agrícola em função do pneu, da lastragem e da velocidade de deslocamento*. Botucatu, 2000. 153p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- CORRÊA, I.M. *Características de tração de um trator agrícola utilizando-se de pneus radial e diagonal*. Piracicaba, 1993. 100p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- CORRÊA, I.M. *Desempenho operacional de pneus radiais e diagonais em função da pressão de inflação, da condição de superfície do solo e da condição de acionamento da tração dianteira*. Botucatu, 2000. 121p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- CORRÊA, I.M., W.F., MAZIERO, J.V.G., YANAI, K., *Tratores agrícolas: patinagem, patinamento ou deslizamento?*. *Eng. Rur.*, v.6, n.2, p.59-62, 1995a.
- CORRÊA, I.M., W.F., MAZIERO, J.V.G., YANAI, K., *Cálculo da patinagem das rodas motrizes*. *Eng. Rur.*, v.6, n.2, p.63-72, 1995b.
- CORRÊA, I.M., MILAN, M., RIPOLLI, T.C., MAZIERO, J.V.G., YANAI, K., MENEZES, J. F. *Pneu radial e diagonal: desempenho de tração em um trator com tração dianteira auxiliar*. *Eng. Agríc.*, v.15, p.45-60, 1995c.
- CORRÊA, I.M., YANAI, K., MOLINA JÚNIOR, W.F., MAZIERO, J.V.G. *Pneu radial de baixa pressão versus pneu diagonal: desempenho comparativo*. *Eng. Agríc.*, v.16, n.4, p.22-6, 1997a.
- CORRÊA, I.M., YANAI, K., MAZIERO, J.V.G., MOLINA JÚNIOR, W.F. *Trator agrícola equipado alternadamente com pneu radial de baixa pressão e pneu diagonal: desempenho em operação agrícola*. *Eng. Agríc.*, v.17, n.2, p.64-70, 1997b.
- CORRÊA, 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*, v.58, n.1, p.179-84, 1999.
- CURI, P.R. *Metodologia e análise da pesquisa em ciências biológicas*. Botucatu: Tipomic, 1997. 264p.
- DELGADO, L.M. *Agricultura y seguridad*. *Rev. Ext. Agrár.* v.2, p.3-51, 1987.
- DELGADO, L.M. *Laboreo - Solotractor '90*. Madri: Laboreo, 1989. 250p.
- DELGADO, L.M. *Laboreo solotractor'90*. Madrid: Laboreo, 1990. 231p.

- DIAS, G.P., LOPES, A., VIEIRA, L.B., CERON, P.R. Driving tire wear of agricultural tractors as a function of slipping. In: International Conference Agricultural Engineering. *Proceedings...* Madrid: Comisión Espanola de Ingeniería, Universidade Politécnica de Madrid, 1996. p.121.
- DIAS JÚNIOR, M.S. *Notas de aulas de física do solo*. Lavras: Departamento de Física do Solo, Universidade Federal de Lavras, 1996. 168p.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro, 1979. "não pag."
- FAIRES, V.M. *Elementos orgânicos de máquinas*. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1979. 332p.
- FERNANDES, J.C. *Avaliação dos níveis de ruídos em tratores agrícolas e seus efeitos sobre o operador*. Botucatu, 1991. 172p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- FERNANDES, J.C., LANÇAS, K.P., VALARELLI, I.D. *Avaliação do nível de ruído em tratores agrícolas*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19, 1990, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1990. v.2, p658-69.
- FERNANDES, H.C. *Máquinas de exploração florestal: compactação das trilhas e dias potencialmente úteis para o trabalho*. Botucatu, 1996. 145p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- FERREIRA, M.M. *Física do solo*. Lavras: Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1993. 63p.
- FERREIRA, M.C.D. *Compactação do solo por tráfego de máquinas de colheita em um plantio florestal de eucalyptus saligna*. Piracicaba, 1998. 83p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- FERREIRA, M.F., NEUJAHN, E.B., DALLMEYER, A.U., SCHEVEIDER, V., FRANZ, C.A.B. Análise econômica de desgaste para pneus agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas. *Anais...* Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.94-6.
- FRANZ, C.A. *Avaliação do desempenho de pneumáticos para tratores com diferentes níveis de desgaste*. Santa Maria, 1988. 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- GADANHA JÚNIOR, C.D. *Avaliação do comportamento da resistência ao rolamento em função da lastragem, pressão de inflagem e velocidade de um pneu diagonal agrícola em um solo preparado*. Campinas, 1993. 86p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Máquinas Agrícolas) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
- GADANHA JÚNIOR, C.D., MOLIN, J.P., COELHO, J.L. D., YAHN, C.H., TOMIMORI, S.M.A.W. *Máquinas e implementos agrícolas do Brasil*. São Paulo: Núcleo Setorial de Informações em Máquinas Agrícolas, Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul e Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991. 470 p.
- GAMERO, C.A., LANÇAS, K.P. Máquinas de mobilização periódica do solo. In: MIALHE, L.G. *Máquinas agrícolas ensaios & certificação*. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. p.463-514.
- GAMERO, C.A., BENEZ, S.H., FURLANI JUNIOR, J.A. Análise do consumo de combustível e da capacidade de campo de diferentes sistemas de preparo periódico do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 15, 1986, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1986. p1-9.
- GILL, W.R., VANDEN BERG, G.E. *Soil dynamics in tillage and traction*. Washington: Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture. 1968. p. 430-46 (Agriculture Handbook, 316).
- GOODYEAR TIRE & RUBBER. Farm tire handbook. Akron, 1994. 88p.
- GOODYEAR DO BRASIL PRODUTOS DE BORRACHA. *Guia do comprador pneus agrícolas*. São Paulo, 199?. 10p.
- GRISSE, R., TAYLOR, R., WAY, T., BASHFORD, L. *Tractive performance of 18.4R46 and 18.4R42 radial tractor tires*. St. Joseph: Am. Soc. Agric. Eng., 1991. (Paper 91-1589).
- HERMANN, P.R., KRAUSE, R., MATTOS, P.C. Parâmetros para a seleção adequada de tratores agrícolas de rodas. *Bolet. Téc. (Cent. Nac.Eng. Agric.)*. n.1. p.1-4, 1982.
- INOUE, G.H., DIAS, G.P., QUEIROZ, D.M., FREITAS, M.C. Efeito da pressão de enchimento e desgastes das garras e frisos na elasticidade lateral de pneus de tratores agrícolas. In: CONGRESSO ARGENTINO, 4, INTERNACIONAL DE INGENIERIA RURAL, 2, 1996, Neuquen. *Memorias...* Neuquen: Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária, 1996. p.142-6.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 5131: acoustics - tractors and machinery for agricultural and forestry, measuring of noise at the operator's position*. Genebre, 1992. 5p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 4253: agricultural tractors - operator's seating accommodation - dimensions*. Genève, 1977. 4p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 11795: agricultural tractor drive wheel tyres: method of measuring tyre rolling circumference*. Genebre, 1997. 4p.

JOHN DEERE. Tema: *Kraftstoffverbrauch*. Mannheim, 1980. 20p.

JOHN DEERE. *Optimizing your 60 and 70 series 4WD tractors for top performance*. John Deere wanterloo works. AR 113037. 1993. 22p.

KAHIL, M.A. *Avaliação dos níveis de ruído de alguns tratores e equipamentos agrícolas de fabricação nacional*. Botucatu. 1995. 79p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

KOOLEN, A.J., KUIPERS, H. *Agricultural soil mechanics*. Wageningen: Spring-Verlag, 1983. 241p.

LANÇAS, K.P. *Subsolador: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiros e velocidades de deslocamento*. Botucatu. 1987. 112p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

LANÇAS, K.P. *Subsolador: constituição, regulagens, operação e desempenho*. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1991. 47p.

LANÇAS, K.P. *Desempenho operacional de pneus radiais em função da pressão de inflação, da lastragem e do deslizamento das rodas de tratores agrícolas*. Botucatu. 1996a. 172p. Tese (Livre Docência em Mecânica Aplicada/Engenharia Rural) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

LANÇAS, K.P. *Seleção de conjuntos moto-mecanizados para realização de operações agrícolas*. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1996b. 13p.

LANÇAS, K.P. *Diagnóstico e controle localizado da compactação do solo*. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DO AGRONEGÓCIO DO ALGODÃO/SEMINÁRIO ESTADUAL DA CULTURA DO ALGODÃO, 5. 2000, Cuiabá. *Anais...* Cuiabá: Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso, 2000b. p.25-32.

LANÇAS, K.P., UPADHYAYA, S.K. *Pneus radiais para tratores, guia para seleção correta da pressão de inflação*. FCA/UNESP, *Energ. Agric. (Botucatu)*, v.1, n.1, 33p., 1997.

- LANÇAS, K.P., SANTOS, C.A. Penetrômetro hidráulico-eletrônico equipado com DGPS para avaliação da compactação do solo. In: BALBUENA, R. H., BENEZ, S. H., JORAJURÍA, D. *Ingeniería rural y mecanización agrária en el ámbito latinoamericano*. La Plata: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, 1998. p.570-6.
- LANÇAS, K.P., SANTOS FILHO, A.G., UPADHYAYA, S.K. *Implications of using low/correct inflation pressure for radial ply tractor tires*. St. Joseph: Am. Soc. Agric. Eng., 1995. (Paper, 95-056).
- LANÇAS, K.P., CASTRO NETO, P., NAGAOKA, A.K., GUERRA, S. P. S. Índice de cone e mapas de isocompactação do solo agrícola, obtidos com a utilização de um penetrômetro hidráulico-eletrônico e um sistema de posicionamento global diferencial (DGPS). In: BALASTREIRE, L. A. *O estado da arte da agricultura de precisão no Brasil*. Piracicaba, L. A. Balastreire, 2000a. p.113-23.
- LIDA, I. *Ergonomia projeto e construção*. São Paulo. Edgard Blücher, 1990. 466p.
- LILJEDAHL, J.B., TURQUIST, P.K., SMITH, D.W., HOKI, M. *Tractor and their power units*. 4 ed. New York: AVI, 1989. 463p.
- LOPES, A. *Desgaste em pneus do rodado motriz de trator agrícola em função do deslizamento*. Viçosa, 1996. 33p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Mecanização Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa.
- LOPES, A. *Desempenho de um trator agrícola em função do tipo de pneu, na lastragem e da velocidade de deslocamento em um solo argiloso*. Botucatu, 2000. 131p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.
- MAGALHÃES, A.C., LOPES, A., DIAS, G.P., BORGATTO, A. V. A. *Desempenho do rodado motriz em função da altura das garras dos pneus para um solo P V câmbico, fase terraço, arado e gradeado*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24, 1995, Viçosa. *Resumos...* Viçosa: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1995. p.368.
- MACLAURIN, E.B. The use of mobility numbers to describe the in-field tractive performance of pneumatic tyres. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE ISTVS, 10, 1990, Kobe, *Proceedings...* Kobe: International Society of Terrain Vehicles System, 1990. p. 177-86.
- MARXHALL, R.M., RANEY, W.A. Modifying soil profiles. In: *Power to produce - the yearbook of agriculture soil*. Washington, Units States Government. Printing Office, 1960. p.123-8.

- MAZIERO, J.V.G., MIALHE, L.G., CORRÊA, I.M. *Efeito da patinação de roda motriz de um trator agrícola na compactação de solo*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23, 1994, Campinas. Resumos... Campinas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1994. 21p.
- McKYES, E. *Agricultural engineering soil mechanics*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1989. p.222-31.
- MIALHE, L.G. *Manual de mecanização agrícola*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1974. 302p.
- MIALHE, L.G. *Máquinas motoras na agricultura*. São Paulo: Editora Pedagógica Universitária, 1980. v.2, 367p.
- MIALHE, L.G. *Máquinas agrícolas: ensaios & certificação*. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. 723p.
- MILAN, M. *Avaliação de desempenho de 4 modelos de pneumáticos agrícolas em solo de textura média*. Piracicaba, 1986. 119p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- NAGAOKA, A.K. *Desenvolvimento de dois tipos de cortadoras-arrancadoras de feijão e avaliação de seus desempenhos em cultivar com crescimento do tipo III*. Viçosa, 1995. 51p. Tese (Magister Scientiae em Engenharia Agrícola/Mecanização Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa.
- NAGAOKA, A.K., ULLMANN, M. N., SCHUSTER, E. M. *Protótipo de um dinamômetro de absorção por rotação-freio Prony*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25, CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA AGRÍCOLA, 2, 1996, Bauru. Resumos... Bauru: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1996. p.456.
- NIEMANN, G. *Elementos de máquinas*. São Paulo: Edgard Blücher, 1971a. v.1, 220p.
- NIEMANN, G. *Elementos de máquinas*. São Paulo, Edgard Blücher, 1971b. v.2, 207p.
- NIEMANN, G. *Elementos de máquinas*. São Paulo, Edgard Blücher, 1971c. v.3, 170 p.
- ORTOLANI, A.F., COAN, O., BENINCASA, M., BANZATO, D. A., GAMERO, C. A., NATALE, W. *Manejo do solo agrícola durante dez anos com a cultura do milho (Zea mays, L.) - I Efeitos no solo*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20, 1991, Londrina. *Anais...* Londrina: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. 1992. p.738-62.

- PEREZ, M.G., SAAB, S., MELO, W.J., SOUZA, W.J.O., MARTIN NETO, L. Avaliação espectroscópica de efeitos do plantio direto e manejo convencional em amostras de ácido húmico de um latossolo roxo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 6, 1998, Brasília. *Resumos...* Brasília: Associação de Plantio Direto, Disponível em: <<http://www.home.com.br/6enpd/resumos/perez.htm>>. Acesso em: 07 set. 1998.
- PIMENTEL GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. 12. ed. Piracicaba: Nobel, 1987. 468p.
- PIRELLI PNEUS. *Manual técnico: pneus agrícolas*. Santo André. 199?. 15p.
- PROVENZA, F. *Prontuário do projetista de máquinas*. São Paulo: Escola PRO-TEC, 1977. 323p.
- RAPER, R.L., ERBACH, D.C. Bulk density measurement variability with core samplers. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.30, p.878-81, 1987.
- ROBIN, P. *Segurança e ergonomia em maquinaria agrícola: tratores agrícolas*. São Paulo: Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul e Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1987. 24p. (Monografia, 2).
- SALVADOR, N. *Consumo de energia na operação de subsolagem realizada antes e depois de sistemas de preparo periódico do solo*. Botucatu, 1992. 187p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- SÁNCHEZ, V., RENEDO, G. *Dinámica y mecánica de suelos*. Madrid: Ediciones Agrotécnicas, 1996. p.269-303.
- SANTOS, C.A. *Projeto e construção de um penetrômetro hidráulico-eletrônico*. Botucatu, 1998. 105p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- SANTOS, P.I.B. *Determinação da área de contato de um pneu agrícola utilizando o método dos elementos finitos e o método da prensa hidráulica*. Botucatu, 1999. 171p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- SERAUT, A. Le pneumatique basse pression. *Bull. Tech. March. Equip. Agric. CEMAGREF*, Antony, n.50, p33-7, 1990.
- SHIGLEY, J.E. *Elementos de máquinas*. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1984. 348 p.

SHMULEVICH, I., RONAI, D., WOLF, D. A new field single wheel tester. *Terramechanics*, v.33, p.133-41, 1996.

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

SILVA, V.R., RUBIN, R.B., REINERT, D.J., REICHERT, J.M., SOUTO, J. Pressão crítica de pré-adensamento e índice de compressão em função do grau de saturação. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 6, 1998, Brasília. *Resumos...* Brasília: Associação de Plantio Direto, Disponível em: <<http://www.home.com.br/6enpd/resumos/vanderlei.htm>>. Acesso em: 06 set. 1998.

SILVEIRA, G.M. *Os cuidados com o trator*. 2 ed. Rio de Janeiro: Globo, 1988. 246p.

SOUZA, F.L.C., TREIN, C.R., CAMPANI, D.B. Determinação do perfil do solo mobilizado pela ação do subsolador. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 16, 1987, Jundiaí. *Anais...* Jundiaí: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1988. p329-336.

STIPKOVIC FILHO, M. *Engrenagens*. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983. 163p.

TAYLOR, J.H. Lug angle effect on traction performance of pneumatic tractor tires. *Trans. ASAE* (Am. Soc. Agric. Eng.), v.16, p.16-8, 1973.

TIJINK, F.G.J., KOOLEN, A.J. Prediction of tire rolling resistance and soil compaction using cone, shear vane and a falling weight. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL DYNAMICS, 1985, Auburn. *Proceedings...* Auburn: Tillage Laboratory, Agricultural University, 1985. p.800-13.

TORRES, E., SARAIVA, F.O., MOREIRA, J.J.A.A., URCHEI, M.A., HERNANI, L.C., GAUDÊNCIO, C.A., PRIMAVESI, O., FRANZ, C.A.B. Compactação do solo. In: SALTON, J.C., HERNANI, L.C., FONTES, C.Z. *Sistema plantio direto. O produtor pergunta, a EMBRAPA responde*. Dourados: Centro de Pesquisa Agropecuária Oeste-EMBRAPA, 1998. p.103-18.

TRELLEBORG DO BRASIL. *Pneus agrícolas*. São Paulo, 1999. 20p.

UM PNEU certo para cada serviço. In: GUIA rural: tratores e máquinas agrícolas. São Paulo: Abril, 1991. p.87-99.

UNA NORMA ESPAÑOLA. *Tratores agrícolas y forestales, medida del ruido en el puesto del conductor*. NORMA ESPAÑOLA UNE 68-053-86. Madrid, 1986. 5p.

- UPADHYAYA, S.K., WULFSOHN, D. An overview of traction research at University of California, Davis. *Calif. Agric.* v. 43, n.2, p.15-17, 1989.
- UPADHYAYA, S.K., WULFSOHN, D. *Review of traction prediction equations*. St. Joseph: Am. Soc. Agric. Eng., 1990. (Paper 90-1573).
- UPADHYAYA, S.K., WULFSOHN, D. Traction prediction using soil parameters obtained with an instrumented analog device. *J. Terramechanics*, v.30, p.85-100, 1993.
- UPADHYAYA, S.K., WULFSOHN, D., GLANCEY, J.L. Development of a Unique, Mobile, Single Wheel Traction Testing Machine. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.29, p.1243-6, 1986.
- UPADHYAYA, S.K., WULFSOHN, D., MEHLSCHAU, J. *An instrumented device to obtain traction related parameters*. St. Joseph: Am. Soc. Agric. Eng., 1990. (Paper 90-1097).
- VASEY, G.H., NAYLOR, I.T. Field tests on 14-30 tractor tyres. *J. Agric. Eng. Res.*, v.3, p.1-8, 1958.
- VIEIRA, L.B., DIAS, G.P. *Penetrometria e caracterização física do solo*. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais/ Departamento de Engenharia Agrícola/Universidade Federal de Viçosa, 1997. p.1-22. (Caderno didático, 28).
- WISMER, R.D., LUTH, H.J. Off-road traction prediction for wheeled vehicles. *J. Terramechanics*, v.10, n.2, p.49-61, 1973.
- WITNEY, B.D. *Choosing and using farm machines*. Unit States: Longman, 1988. p.61-94.
- WOLF, D., SHMULEVICH, I., MUSSEL, U. Wheel traction prediction on hard soil. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.39, p.1275-83, 1996.
- YANAI, K. *Influência da pressão de inflação e da carga sobre o rodado no desempenho operacional de trator com e sem o acionamento da tração dianteira auxiliar*. Botucatu, 1994. 69p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

APÊNDICES

APÊNDICE 1. Especificações técnicas do equipamento para ensaio dinâmico de rodado agrícola individual.

1.1 Trator a ser acoplado

Potência mínima exigida do motor: 62 kW;

Rotação de entrada: 540 rpm ou 1.000 rpm;

Torque exigido do motor: 469 N.m;

Embreagem exigida: do tipo independente;

Velocidade disponível: de 0 a 15 km/h;

Sistema hidráulico do trator: capacidade de levante de 25.000 N;

engate de 3 pontos, categoria II;

controle remoto externo.

Distância percorrida para estabilização dos sinais dos aparelhos: 10 m

1.2 Equipamento de ensaio de pneu agrícola

Diâmetro do pneu: máximo 2.000 mm;

Largura do pneu: máximo 1.000 mm;

Carga no rodado: máximo 23.700 N;

Ponta de eixo: tipo flange;

Escalonamento de velocidades para um pneu 600/60-38.

Caixa de marchas	TDP 1000rpm (km/h)	TDP 540 rpm (km/h)
111	0,73	< 1,00
112	3,35	1,81
121	0,96	< 1,00
122	3,95	2,12
211	1,12	< 1,00
212	4,57	2,3
221	1,45	0,79
222	5,99	3,27
311	2,03	1,12
312	8,79	4,41
321	2,70	1,47
322	11,25	5,94
R11	1,11	-
R12	4,50	-
R21	1,46	-
R22	5,89	-

1.3 Capacidades dos reservatórios de óleo lubrificante e bicos de graxas

Cruzetas do eixo cardam: 2 bicos

Caixa de transmissão: 2 cárter de 1,5 litros cada

Caixa de marchas e diferencial: 30 L

Redução final: 1,7 L

1.4 Pesos e dimensões

Peso sem lastro: 17.000 N

Peso com lastro: 23.700 kgf

Largura máxima: 3.000 mm

Comprimento total: 3.820 mm

Altura máxima: 2450 mm

APÊNDICE 2. Manual de operação e manutenção do equipamento para ensaio dinâmico de rodado agrícola individual.

2.1 OPERAÇÃO DO EQUIPAMENTO

2.1.1 Acoplamento do equipamento no trator

O equipamento é acoplado no sistema hidráulico de levantamento por três pontos do trator na seguinte seqüência:

- a) braço esquerdo (1^a ponto);
- b) braço direito (2^a ponto);
- c) braço superior (3^a ponto);
- d) mangueiras do controle remoto do equipamento.

Após o acoplamento do sistema hidráulico no trator realiza-se:

- a) acoplamento da luva da árvore cardam à extremidade da árvore da TDP do trator;
- b) centralização do equipamento pelas barras ou correntes estabilizadoras do trator;
- c) certifique-se de que os garfos das juntas universais da árvore cardam estão corretamente posicionados (para 1.000 rpm ou 540 rpm).

Antes de iniciar o trabalho com o conjunto trator-equipamento é importante verificar que:

- a) o trator deverá possuir uma bitola compatível com a largura do equipamento, bem como estar lastrado adequadamente para a operação;
- b) o equipamento deverá estar corretamente centralizado e nivelado para propiciar o seu melhor desempenho.

2.1.2 Colocando o equipamento em funcionamento

Para se colocar o conjunto trator-equipamento em movimento, deve-se consultar antes o manual de instruções, seguindo cuidadosamente as recomendações do fabricante. É essencial que o operador, verifique os instrumentos e controles, inteirando-se de todos os botões, mostradores, alavancas, pedais, etc., a fim de que saiba operar corretamente.

- a) Antes da partida

Deverão ser observados os seguintes pontos:

- alavanca de mudança de marchas em neutro (ponto morto);
- alavanca da TDP do trator desligado;
- controle do freio do trator ativado.

b) Motor em funcionamento

Estando o motor em funcionamento, deve-se observar os seguintes pontos:

- colocar uma aceleração média ao motor, de maneira que o mesmo não fique em marcha lenta ou muito acelerado;
- verificar se todos os instrumentos de medição do motor estão funcionando corretamente;
- verificar se o sistema hidráulico está operando normalmente.

c) Saída

Para dar saída com a marcha do trator livre, realize as seguintes operações em seqüência:

- coloque o acelerador na posição de marcha lenta;
- deixar a marcha do trator em posição neutra;
- selecionar a marcha do equipamento com a TDP desligada;
- manter o pneu do equipamento baixado;
- soltar os freios do trator;
- acionar a TDP do trator e acelere o motor lentamente até atingir a rotação desejada.

Para dar saída com a marcha do trator engatada, realize as seguintes operações em seqüência:

- coloque o acelerador na posição de marcha lenta;
- selecionar uma marcha do trator com o pedal da embreagem acionada;
- selecionar a marcha do equipamento com a TDP desligada;
- manter o pneu do equipamento baixado;
- soltar os freios do trator;
- acionar a TDP do trator e acelere o motor lentamente até atingir a rotação desejada;
- soltar o pedal da embreagem do trator lentamente.

2.1.3 Equipamento em movimento

Alguns cuidados a serem tomados durante a operação do equipamento:

- ao acionar a alavanca do câmbio do equipamento , desligue a TDP e pare completamente o trator;
- não subir encosta ou descer ladeira para evitar acidentes;
- quando ao acionar a alavanca de câmbio a marcha estiver difícil de engrenar, proceda da seguinte maneira: mantenha a alavanca em neutro, engate a uma marcha no trator e solte a embreagem por um instante, pare o trator e pressione novamente a alavanca na posição desejada;
- evitar fazer curva fechada com o pneu do equipamento baixado;
- fazer marcha à ré com o pneu do equipamento baixado;
- transportar o equipamento sempre com a caixa de marchas na posição neutra e TDP desligada.

2.1.4 Parada do equipamento

Ao parar o equipamento com a marcha do trator livre realize em seqüência as seguintes operações:

- leve a alavanca do acelerador para a posição de marcha lenta;
- desligar a TDP;
- acione, vagarosamente e os pedais dos freios até o trator parar;
- desengate a marcha do equipamento, levando a alavanca de mudança de marchas para a posição de neutro (ponto morto);
- solte o pedal da embreagem;
- acione a trava, dos pedais de freio do trator;
- acione o controle de parada do motor;
- desligar a chave.

Ao parar o equipamento com a marcha do trator engatada realize em seqüência as seguintes operações:

- leve a alavanca do acelerador para a posição de marcha lenta;

- desligar a TDP;
- acione o pedal da embreagem do trator e desengate a marcha;
- acione, vagarosamente os pedais dos freios até o trator parar;
- desengate a marcha do equipamento, levando a alavanca de mudança de marchas para a posição de neutro (ponto morto);
- solte o pedal da embreagem;
- acione a trava, dos pedais de freio do trator;
- acione o controle de parada do motor;
- desligar a chave.

2.2 MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO

Antes de acionar o equipamento, faça as verificações de rotina para certificar-se de que o equipamento está em perfeitas condições para o trabalho. Veja os procedimentos a seguir:

2.2.1 Verificações diárias antes do trabalho (10 horas)

- Verifique o nível de óleo das reduções por coroa e pinhão da transmissão;
- Verifique o nível de óleo da caixa de mudança de marchas;
- Verifique o nível de óleo da redução final do equipamento;
- O nível deve estar entre o mínimo e o máximo, se necessário complete-o;
- Inspeccione vazamentos de óleos, os parafusos do cubo da roda, os parafusos do chassi do equipamento, o sistema hidráulico e o sistema de transmissão;
- Inspeccione todas as fiações elétricas e eletrônicas da instrumentação do equipamento;
- Fazer a checagem da instrumentação antes de ir para o campo;
- Engraxar os bicos da cruzeta do eixo cardam;
- Verificar a pressão e o bico do pneu.

2.2.2 Verificações semanais (50 a 60 horas)

- Sistema de transmissão: verificar o nível de óleo
- Sistema hidráulico: verificar manguueiras e vazamentos
- Pneus e rodas: verificar a pressão do pneu e reapertar as porcas das rodas
- Alavanca da caixa de marchas: Examinar as rótulas

2.2.3 Verificações quinzenais (100 a 120 horas)

-Verificar o nível de óleo dos cubos epicíclicos

2.2.4 Verificações semestrais (400 a 500 horas)

-Cubos das rodas dianteiras: Lubrificar

2.2.5 Verificações anuais (750 a 1000 horas)

-Sistema de transmissão: Trocar o óleo e fazer reajustes

-Sistema hidráulico: Trocar o óleo e verificar o filtro

APÊNDICE 3. Memorial de cálculo do projeto do equipamento.

3.1 Cálculos desenvolvidos para obter as velocidades teóricas do equipamento

Desenvolvendo a fórmula (2) tem-se:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n_e}{60 \cdot RT_t}$$

em que:

n_e = rotação de entrada em rpm

RT_t = relação de transmissão total

Para rotação de entrada = 540 rpm e diâmetro do pneu = 2m, tem-se:

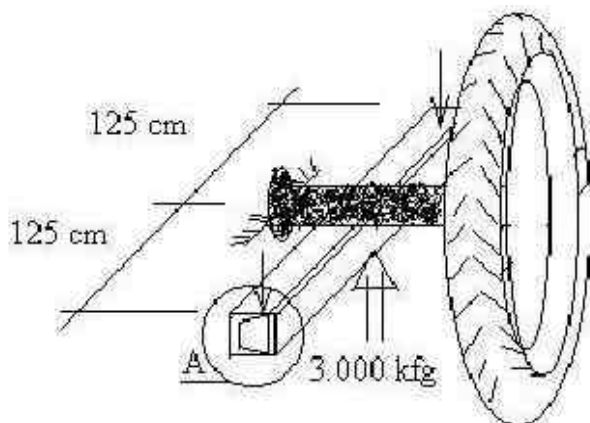
$$v = \frac{56,5487}{RT_t}$$

Para rotação de entrada = 1.000 rpm e diâmetro do pneu = 2m, tem-se:

$$v = \frac{104,7197551}{RT_t}$$

3.2 Chassi

a) Viga suporte do eixo da roda principal (perfil 1+2):



Vista em perspectiva da viga do eixo

Cálculo do momento fletor máximo

$$M_{f_{\max}} = \frac{F \cdot x \cdot b}{4}$$

onde:

Mf_{\max} = momento fletor (kgf.cm)

F = força aplicada (kgf)

b = comprimento (cm)

$$Mf_{\max} = \frac{3.000 \times 250}{4} \Rightarrow Mf_{\max} = 187.500 \text{ kgf} \times \text{cm}$$

Cálculo da tensão admissível

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{\sigma_e}{\text{F.S.}}$$

onde:

σ_{adm} = tensão admissível à flexão (kgf/cm²)

σ_e (aço 1020) = tensão de escoamento (=21 kg/mm² \Rightarrow 2.100 kgf/cm²)

F.S. = fator de segurança (= 3)

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{2.100}{3} \Rightarrow \sigma_{\text{adm}} = 700 \text{ kgf/cm}^2$$

Cálculo da resistência à flexão (wf)

$$wf_1 = \frac{b \times h^2}{6}$$

onde:

wf 1 = módulo de resistência à flexão do perfil 1 (cm³)

b = dimensão da base do perfil (cm)

h = dimensão da altura do perfil (cm)

$$wf_1 = \frac{1,27 \times 20,3^2}{6} \Rightarrow wf_1 = 87,2 \text{ cm}^3$$

wf 2 = módulo de resistência à flexão do perfil 2 (tabelado) = 195 cm³

wf = 87,2 + 195 \Rightarrow wf = 282 cm³

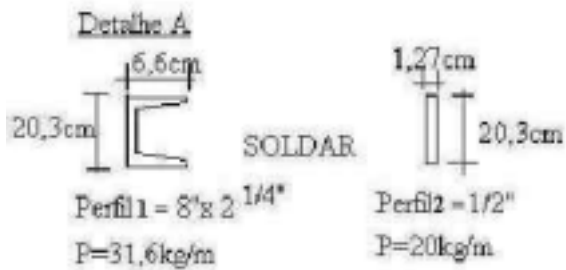
$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{Mf}{wf}$$

onde:

$\sigma_{\text{máx}}$ = tensão máxima (kgf/cm²)

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{187.500}{282} \Rightarrow \sigma_{\text{máx}} = 665 \text{ kgf/cm}^2$$

Como $\sigma_{\text{adm}} = 700 \text{ kgf/cm}^2 > \sigma_{\text{máx}} = 665 \text{ kgf/cm}^2$ OK



Vista em perfil da viga do eixo

Peso Próprio:

$$PP = [(p. \text{ perfil-1}) + (p. \text{ perfil-2}) + (p. \text{ transmissão}) + (p. \text{ oper.} + \text{ inst.})]$$

onde:

PP = peso próprio (kgf)

p.perfil-1 = peso do perfil 1 (kgf)

p.perfil-2 = peso do perfil 2 (kgf)

p. transmissão = peso da transmissão (kgf)

p. oper + inst = peso do operador + peso da instrumentação (kgf)

$$PP = [(10 \times 52 \text{ kg/m} + 20 \times 31,6 + 600 + 100)] = 1.852 \text{ kg}$$

b) Viga do dinamômetro (perfil C)




Vista em perspectiva da viga do dinamômetro

$$Mf = \frac{Fxb}{4} \Rightarrow \frac{2.000 \times 250}{4} \Rightarrow Mf = 125.000 \text{ kgf.cm}$$

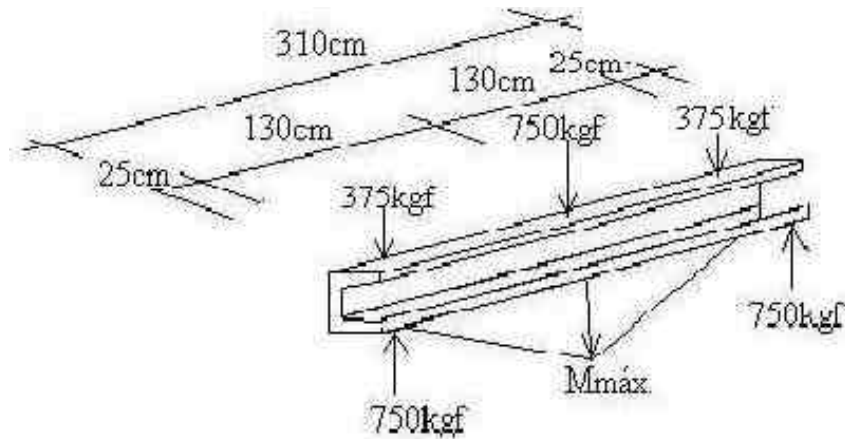
Para $Wf(\text{tabelado}) = 195 \text{ cm}^3$ e $\sigma_{\text{adm}} = 700 \text{ kgf/cm}^2$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{Mf}{wf} \Rightarrow \frac{125.000}{195} \Rightarrow \sigma_{\text{máx}} = 641 \text{ kgf/cm}^2$$

Como $\sigma_{\text{máx}} = 641 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{\text{adm}} = 700 \text{ kgf/cm}^2$ **OK**

Para maior segurança adotar perfil  de 6,6 cm x 20 cm

c) Viga de apoio dos mancais



Vista em perspectiva da viga de apoio dos mancais

$$Mf_{\text{máx}} = \frac{F1 \cdot b}{2} \cdot \frac{F2 \cdot L}{2}$$

onde:

$Mf_{\text{máx}}$ = momento fletor máximo (kgf.cm)

$F1$ = carga concentrada1 (kgf)

b = comprimento da viga/2 (cm)

$F2$ = carga concentrada2 (kgf)

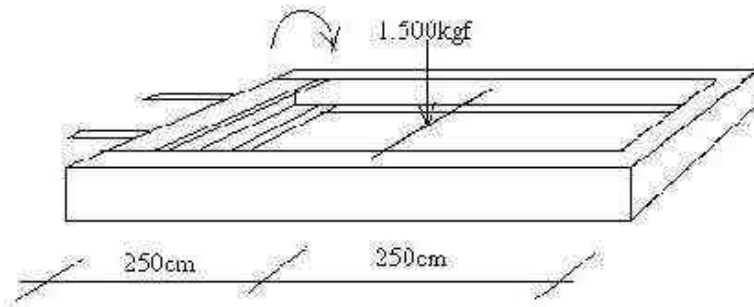
L = comprimento da viga entre as cargas $F2/2$ (cm)

$$Mf_{\text{máx}} = (750 \times 155) - 375 \times 130 \Rightarrow Mf_{\text{máx}} = 67.500 \text{ kgf.cm}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{67.500}{195} \Rightarrow \sigma_{\text{máx}} = 346,15 \text{ kgf/cm}^2$$

Como $\sigma_{\text{máx}} = 346,15 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{\text{adm}} = 700 \text{ kgf/cm}^2$ OK

d) Viga dos três pontos de engate:



Vista em perspectiva da viga dos três pontos

$$Q = F \times R;$$

onde:

Q = torque ou momento torçor (kgf.m)

F = força aplicada (kgf)

R = raio de giro (m)

$$Q = 1.500/2 \times 250 \Rightarrow Mt = 187.500 \text{ kgf.cm}$$

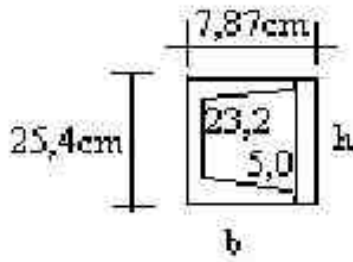
$$\tau_{\text{máx}} = \frac{Q}{wt};$$

onde:

$\tau_{\text{máx}}$ = momento torçor máximo(kgf.cm)

wt = módulo de resistência à torção(cm³)

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{187.500}{632,8} \Rightarrow \tau_{\text{máx}} = 296,3 \text{ kgf/cm}^2$$



Vista de perfil da viga dimensionada

$$wt = \frac{b \cdot h^2}{3 + 1,8 \cdot \frac{b}{h}};$$

em que:

b = largura da base do perfil (cm)

h = altura da base do perfil (cm)

$$wt = \frac{7,87 \times 25,4^2}{3 + 1,8 \times \frac{7,87}{25,4}} - \frac{5 \times 23,2^2}{3 + 1,8 \times \frac{5}{23,2}} \Rightarrow wt = 632,8 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\tau_{adm} = \frac{0,6 \times \tau_e}{FS};$$

onde:

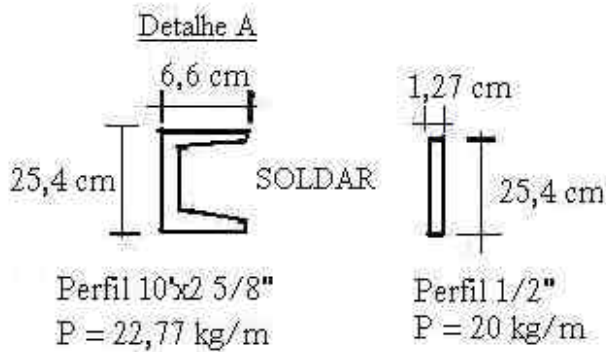
τ_{adm} = tensão admissível à torção (kgf/cm²)

τ_e (aço 1020) = tensão de escoamento (=21 kg/mm² \Rightarrow 2.100 kgf/cm²)


F.S. = fator de segurança (= 3)

$$\tau_{adm} = \frac{0,6 \times \tau_e}{FS} \Rightarrow \frac{0,6 \times 2.100}{3} \Rightarrow \tau_{adm} = 420 \text{ kgf/cm}^2$$

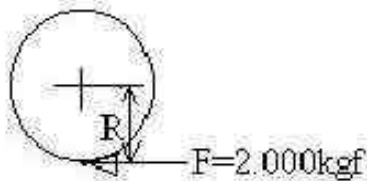
Como $\tau_{adm} = 420 \text{ kgf/cm}^2 > \tau_{m\acute{a}x} = 296,3 \text{ kgf/cm}^2$ OK



Dimensões da viga calculada

Adotar perfil  de 10"x 2 5/8" + 10"x 1/2"

3.3 Dimensionamento das rodas dentadas para corrente de rolo na entrada da caixa de marchas



Reações de forças nas rodas dentadas

O torque no rodado foi obtido pela multiplicação da força aplicada pelo raio do rodado.

$$Q_r = F \times R$$

em que:

Q_r = torque máximo no rodado do equipamento (kgf.m)

F = força aplicada na roda (kgf)

R = raio do rodado (m)

$$Q_r = F \times R \Rightarrow 2.000 \times 1 \Rightarrow Q_r = 2.000 \text{ kgfm}$$

$$Q_e = \frac{Q_r}{RT_{\text{mín}}};$$

onde:

Q_e = torque na engrenagem (kgf.m)

RT_{\min} = relação de transmissão mínima

$$Q_e = \frac{Q_r}{RT_{\min}} = \frac{2.000}{18,1} \Rightarrow Q_e = 110 \text{ kgfm}$$

Para $Q = 1.100 \text{ Nm}$ e $n = 540 \text{ rpm}$

$$Y = \frac{2 \times \pi}{60} \times Q \times n ;$$

Em que:

n = rotação por minuto (rpm)

Y = potência (W)

$$Y = \frac{2 \times \pi}{60} \times Q \times n = \frac{2 \times \pi}{60} \times 1.100 \times 540 \Rightarrow Y = 62.203 \text{ W}$$

$$\boxed{Y = 62 \text{ kW ou } Y = 85 \text{ cv}}$$

$$P_e r = \pi \times D = p \times z \Rightarrow D = \frac{p \times z}{\pi},$$

Em que:

$P_e r$ = perímetro da roda (mm)

D = diâmetro da roda (mm)

p = passo da corrente (mm)

z = número de dentes da roda

$$\boxed{p = 25,4 \text{ mm} \Rightarrow \text{ASA 80 - DUPLA-Z} = 30}$$

$$D_p = \frac{p \times z}{\pi};$$

onde:

D_p = diâmetro primitivo (mm)

$$D_p = \frac{25,4 \times 30}{\pi} \Rightarrow D_p = 242,5 \text{ mm}$$

3.4 Dimensionamento dos mancais de rolamento para as rodas dentadas

Os dados para cálculo e dimensionamento dos rolamentos foram os seguintes: a rotação de saída da TDP para utilização do equipamento foi de 1000 rpm por ser a máxima rotação da TDP na rotação de trabalho. A carga axial e a carga radial foram estimadas em 50 kgf e 250 kgf respectivamente. A vida útil do rolamento foi estimada em 10.000 h devido à vida média prevista para o equipamento.

Dados para cálculos: $n = 1.000$ rpm; $Fr = 250$ kgf; $Fa = 50$ kgf e $Lh = 10.000$ h;

onde:

$n =$ rotação(rpm)

$Fr =$ carga radial(kgf)

$Fa =$ carga axial(kgf)

$Lh =$ vida útil(h)

Então:

Fa/Fr ;

$Fa/Fr = 50/250 = 0,2$

Co/Fa

em que:

$Co =$ capacidade de carga estática (kgf)

Supondo $Co/Fa = 5 \Rightarrow$ na Tabela $\Rightarrow e = 0,35$

como $Fa/Fr < e$; então $x = 1$ e $y = 0$

onde:

$e =$ valor de tabela

$Co = 5 \times Fa \Rightarrow Co = 5 \times 50 \Rightarrow Co = 125$ kgf

a) Carga equivalente (F_e)

$F_e = (x \cdot Fr + y \cdot Fa) \cdot FS$

onde:

$FS =$ fator de segurança (=3)

$F_e = (1 \times 250 + 0 \times 100) \times 3 \Rightarrow F_e = 750$ kgf

b) Capacidade de carga dinâmica (C)

$$Lh = 10^6 \left[\frac{10^6}{60xn} \right] \times (C/Fe)^a \Rightarrow C/Fe = \left(\frac{Lhx60xn}{10^6} \right)^{1/3}$$

onde:

a = constante para rolamentos de esferas = 3

$$C/Fe = \left(\frac{10.000 \times 60 \times 1.000}{10^6} \right)^{1/3} \Rightarrow C/Fe = 8,43$$

Para Fe = 750 kgf $\Rightarrow C = 8,43 \times 750 \Rightarrow C = 6.323$ kgf

c) Especificação do rolamento.

Quadro 19. Especificações do rolamento calculado para as rodas dentadas

Rolamento n^o	C (kgf)	Co (kgf)	Dint (mm)	Dext (mm)	Largura (mm)
6311	7.300	4.300	55	120	29

d) Confirmação dos cálculos

$Co/Fa = 4.300/50 = 86 \Rightarrow e = 0,19 \Rightarrow Fa/Fr = 0,2 > e \Rightarrow x = 0,56; y = 2,28$

Carga equivalente calculada

$Fe = (0,56 \times 250 + 2,28 \times 50) \times 3 = 762$ kgf

como $Fe = 762$ kgf < $C = 7.300$ kgf OK

O rolamento dimensionado é o NSK 6311 ou seja:

2 rolamentos NSK 6311

3.5 Dimensionamento dos mancais sobre as vigas laterais

Para $n = 1$; $Fr = 500$ kgf; $Fa = 500$ kgf e $Lh = 10.000$ h

$Fa/Fr = 500/500 \Rightarrow Fa/Fr = 1$

Supondo $Co/Fa = 5 \Rightarrow$ na tabela $e = 0,35$

Como $Fa/Fr = 1 > e$ então $\Rightarrow x = 56$ e $y = 1,26$

a) Força equivalente

$$Fe = (0,56 \times 500 + 1,26 \times 500) \times 3 \Rightarrow Fe = 2.730 \text{ kgf}$$

b) Carga dinâmica (C)

$$C/Fe = \left(\frac{L \times 60 \times n}{10^6} \right)^{1/3} \Rightarrow C/Fe = \left(\frac{10.000 \times 60 \times 1}{10^6} \right)^{1/3} = 0,84$$

$$\text{Para } Fe = 2.730 \text{ kgf} \Rightarrow C = 0,84 \times 2.730 \Rightarrow C = 2.293 \text{ kgf}$$

c) Especificação do rolamento

Especificações do rolamento calculado para as mancais sobre as vigas

Rolamento	C (kgf)	CO (kgf)	Dint (mm)	Dext (mm)	Largura (mm)
6011	2.880	1.850	55	90	18
6012	3.000	2.000	60	95	18

d) Confirmação dos cálculos

$$Co/Fa = 1.850/500 = 3,7 \Rightarrow e = 0,35$$

$$Fa/Fr = 1 > e \Rightarrow x = 0,56 \text{ e } y = 1,26$$

Carga equivalente

$$Fe = (0,56 \times 500 + 1,26 \times 500) \times 3 \Rightarrow Fe = 2.880 \text{ kgf OK ou seja;}$$

6 rolamentos 6011

APÊNDICE 4. Programa utilizado no "Micrologger" e forma de transferência no computador

Quadro 1. Programa elaborado para aquisição de dados dos sensores

```

;{CR23X}
;Program para uso do equipamento
*Table 1 Program
  01: 1          Execution Interval (seconds)

; ==> Chave
1: Volt (Diff) (P2)
  1: 1          Reps
  2: 15         5000 mV, Fast Range
  3: 10         DIFF Channel
  4: 8          Loc [ Flag1      ]
  5: 1.0        Mult
  6: 0.0        Offset

; ==> Leitura da celula de carga
2: Volt (Diff) (P2)
  1: 1          Reps
  2: 11         10 mV, Fast Range
  3: 12         DIFF Channel
  4: 1          Loc [ forca      ]
  5: 5078.56    Mult
  6: 330.7      Offset

; ==> Leitura do torciometro
3: Volt (Diff) (P2)
  1: 1          Reps
  2: 11         10 mV, Fast Range
  3: 11         DIFF Channel
  4: 2          Loc [ Torque     ]
  5: 321.39     Mult
  6: 17.6       Offset

; ==> Leitura da rotacao de entrada da cx marchas
4: Pulse (P3)
  1: 1          Reps
  2: 1          Pulse Channel 1
  3: 1          Low Level AC, All Counts
  4: 3          Loc [ Rot.entrada ]
  5: 1.0        Mult
  6: 0.0        Offset

; ==> Leitura da rotacao do eixo do torciômetro
5: Pulse (P3)
  1: 1          Reps
  2: 2          Pulse Channel 2
  3: 1          Low Level AC, All Counts
  4: 4          Loc [ Rot.pneu  ]
  5: 10         Mult
  6: 0.0        Offset

```

Continua...

Continuação do Quadro 1

```

; ==> Leitura da velocidade do radar
6: Pulse (P3)
  1: 1      Reps
  2: 3      Pulse Channel 3
  3: 1      Low Level AC, All Counts
  4: 5      Loc [ VeloRadar ]
  5: .0378  Mult
  6: 0.0    Offset

; ==> Leitura do consumo de combustivel do trator
7: Pulse (P3)
  1: 1      Reps
  2: 4      Pulse Channel 4
  3: 1      Low Level AC, All Counts
  4: 6      Loc [ ConsComb ]
  5: 3.6    Mult
  6: 0.0    Offset

; ==> Leitura da carga da bateria
8: Batt Voltage (P10)
  1: 7      Loc [ Bateria ]

9: If (X<=>F) (P89)
  1: 8      X Loc [ Flag1 ]
  2: 4      <
  3: -50    F
  4: 30     Then Do

10: Do (P86)
  1: 10     Set Output Flag High (Flag 0)

11: Set Active Storage Area (P80)
  1: 1      Final Storage Area 1
  2: 1      Array ID

12: Real Time (P77)
  1: 111    Day,Hour/Minute,Seconds (midnight = 0000)

13: Sample (P70)
  1: 8      Reps
  2: 1      -- Loc [ forca ]

14: End (P95)

*Table 2 Program
  02: 0.0000 Execution Interval (seconds)

*Table 3 Subroutines

End Program

```

APÊNDICE 5. Análise de variância dos dados de campo para avaliação do equipamento

ANALISE ESTATÍSTICA DO COMPRIMENTO DA PARCELA

FORÇA

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	4926494.4982	1231623.6245	111.10 **
TRATAMENTOS	4.	610349.2430	152587.3108	13.76 **
RESIDUO	16.	177370.5164	11085.6573	
TOTAL	24.	5714214.2576		

DESVIO PADRAO = 105.2884 ERRO PADRAO DA MEDIA = 47.0864
 MEDIA GERAL = 8168.3636 COEFICIENTE DE VARIACAO = 1.29

TORQUE

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	5265.8677	1316.4669	13.65 **
TRATAMENTOS	4.	996.8156	249.2039	2.58 NS
RESIDUO	16.	1543.2176	96.4511	
TOTAL	24.	7805.9009		

DESVIO PADRAO = 9.8210 ERRO PADRAO DA MEDIA = 4.3921
 MEDIA GERAL = 365.2188 COEFICIENTE DE VARIACAO = 2.69

TDP

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	308.5383	77.1346	25.88 **
TRATAMENTOS	4.	3.8316	.9579	.32 NS
RESIDUO	16.	47.6841	2.9803	
TOTAL	24.	360.0539		

DESVIO PADRAO = 1.7263 ERRO PADRAO DA MEDIA = .7720
MEDIA GERAL = 338.4768 COEFICIENTE DE VARIACAO = .51

PNEU

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	8.1706	2.0427	7.00 **
TRATAMENTOS	4.	.6515	.1629	.56 NS
RESIDUO	16.	4.6697	.2919	
TOTAL	24.	13.4919		

DESVIO PADRAO = .5402 ERRO PADRAO DA MEDIA = .2416
MEDIA GERAL = 15.2872 COEFICIENTE DE VARIACAO = 3.53

RADAR

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	.0506	.0126	24.99 **
TRATAMENTOS	4.	.0003	.0001	.13 NS
RESIDUO	16.	.0081	.0005	
TOTAL	24.	.0589		

DESVIO PADRAO = .0225 ERRO PADRAO DA MEDIA = .0101
MEDIA GERAL = 4.3732 COEFICIENTE DE VARIACAO = .51

DIESEL

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	1.0847	.2712	49.06 **
TRATAMENTOS	4.	.0683	.0171	3.09 *
RESIDUO	16.	.0884	.0055	
TOTAL	24.	1.2414		

DESVIO PADRAO = .0743 ERRO PADRAO DA MEDIA = .0332
MEDIA GERAL = 8.5240 COEFICIENTE DE VARIACAO = .87

TDP

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	148.3635	37.0909	1.13 NS
TRATAMENTOS	5.	171.1253	34.2251	1.05 NS
RESIDUO	20.	653.8854	32.6943	
TOTAL	29.	973.3741		

DESVIO PADRAO = 5.7179 ERRO PADRAO DA MEDIA = 2.5571
MEDIA GERAL = 342.9957 COEFICIENTE DE VARIACAO = 1.67

PNEU

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	5.1020	1.2755	4.79 **
TRATAMENTOS	5.	4.8562	.9712	3.64 *
RESIDUO	20.	5.3297	.2665	
TOTAL	29.	15.2879		

DESVIO PADRAO = .5162 ERRO PADRAO DA MEDIA = .2309
MEDIA GERAL = 16.3013 COEFICIENTE DE VARIACAO = 3.17

RADAR

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	.0210	.0052	.94 NS
TRATAMENTOS	5.	.0357	.0071	1.28 NS
RESIDUO	20.	.1111	.0056	
TOTAL	29.	.1677		

DESVIO PADRAO = .0745 ERRO PADRAO DA MEDIA = .0333
 MEDIA GERAL = 4.4387 COEFICIENTE DE VARIACAO = 1.68

COMBUSTIVEL

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	1.3459	.3365	3.40 *
TRATAMENTOS	5.	.8498	.1700	1.72 NS
RESIDUO	20.	1.9771	.0989	
TOTAL	29.	4.1729		

DESVIO PADRAO = .3144 ERRO PADRAO DA MEDIA = .1406
 MEDIA GERAL = 8.5080 COEFICIENTE DE VARIACAO = 3.70

APÊNDICE 6. Quadro dos dados (médios) coletados na pista de ensaio

PNEU DIAGONAL BPAF-2: 22/02/00

Avaliação do comportamento do equipamento em tiros de 20m (1000 kgf de lastro, solo descoberto, T1)

M212xA3

ensao	forca	torque	rotacao	pneu	radar	combust
R1	493,50	223,32	348,47	16,00	4,38	8,89
R2	614,39	255,99	342,38	15,69	4,32	8,55
R3	648,06	265,62	343,47	15,59	4,33	8,47
R4	677,77	263,35	347,06	16,65	4,42	8,68
R5	688,16	258,72	345,71	15,65	4,45	8,68
Média	624,38	253,40	345,42	15,91	4,38	8,66

PNEU BPAF-2: 22/02/00

Avaliação do comportamento do equipamento em tiros de 20m (1500 kgf de lastro, solo descoberto, T1)

M212xA3

dia juliano	forca	torque	rotacao	pneu	radar	combust
R1	838,82	399,52	341,24	15,82	4,41	8,89
R2	891,24	365,89	341,18	16,24	4,41	8,47
R3	886,35	347,61	332,47	14,94	4,30	7,84
R4	850,12	328,69	343,29	15,29	4,43	8,47
R5	718,93	284,71	346,12	15,53	4,47	8,68
Média	837,09	345,28	340,86	15,56	4,40	8,47

PNEU BPAF-2: 22/02/00

Avaliacao do comportamento do equipamento em tiros de 20m (1800 kgf de lastro, solo descoberto, T1)

M212xA3

ensao	forca	torque	rotacao	pneu	radar	combust
R1	897,59	378,01	349,24	15,71	4,53	9,32
R2	981,18	362,28	345,47	15,88	4,50	8,68
R3	929,41	182,40	342,94	15,29	4,43	8,68
R4	898,13	358,08	342,06	15,38	4,43	8,55
R5	839,18	346,18	343,18	15,53	4,45	8,68
Média	909,10	325,39	344,58	15,56	4,47	8,78

PNEU BPAF-2: 22/02/00

Avaliacao do equipamento em tiros de 20m (1500 kgf de lastro, solo coberto com palha, T1)

M212xA3

ensao	forca	torque	rotacao	pneu	radar	combust
R1	682,64	337,30	344,35	15,59	4,46	10,16
R2	691,65	376,51	341,11	15,33	4,37	10,00
R3	661,73	320,56	345,47	15,88	4,44	10,16
R4	657,16	321,11	336,94	15,35	4,31	9,74
R5	619,11	314,03	345,18	15,53	4,44	10,16
Média	662,46	333,90	342,61	15,54	4,41	10,05

PNEU BPAF-2: 22/02/00

Avaliacao do tempo de varredura em tiros de 20m (1500 kgf de lastro, solo descoberto, M212xA3)

T0,1

ensao	forca	torque	rotacao	pneu	radar	combust
R1	871,27	372,59	349,64	15,99	4,52	9,49
R2	972,23	380,65	340,72	18,08	4,42	8,41
R3	934,33	369,67	346,73	15,94	4,50	8,73
R4	870,66	329,06	350,42	15,88	4,55	8,95
R5	856,13	359,44	345,60	16,49	4,47	8,57
Média	900,92	362,28	346,62	16,48	4,49	8,83

T0,2

ensao	forca	torque	rotacao	pneu	radar	combust
R1	887,01	378,75	345,18	16,61	4,46	8,79
R2	978,07	397,73	340,18	17,23	4,42	8,24
R3	873,56	340,35	342,08	16,55	4,42	8,36
R4	907,43	353,36	341,90	16,43	4,45	8,57
R5	900,67	352,95	344,70	16,96	4,46	8,36
Média	909,35	364,63	342,81	16,76	4,44	8,46

T0,4

ensao	forca	torque	rotacao	pneu	radar	combust
R1	868,52	355,22	340,42	17,44	4,40	8,57
R2	891,17	354,13	340,12	17,20	4,40	8,36
R3	949,83	381,02	347,20	15,67	4,49	8,78
R4	940,32	374,18	343,54	17,13	4,48	8,34
R5	872,85	357,97	350,49	15,73	4,53	8,78
Média	904,54	364,50	344,35	16,64	4,46	8,57

T0,6						
ensao	forca	torque	rotacao	pneu	radar	combust
R1	911,50	386,99	350,49	16,49	4,54	8,79
R2	964,15	393,29	346,99	16,36	4,48	8,44
R3	892,79	374,09	333,25	15,58	4,29	8,07
R4	923,96	401,14	346,75	16,91	4,49	8,57
R5	912,43	390,31	342,62	16,43	4,43	8,36
Média	920,97	389,16	344,02	16,35	4,45	8,45

T0,8						
ensao	forca	torque	rotacao	pneu	radar	combust
R1	878,71	378,92	349,49	15,83	4,52	9,00
R2	978,73	397,48	334,84	17,10	4,33	8,18
R3	948,29	409,70	345,13	16,01	4,46	8,57
R4	947,61	426,54	325,14	15,38	4,22	7,43
R5	901,50	406,85	341,95	15,80	4,41	8,18
Média	930,97	403,90	339,31	16,02	4,39	8,27

T01,0						
ensao	forca	torque	rotacao	pneu	radar	combust
R1	838,82	399,52	341,24	15,82	4,41	8,89
R2	891,24	365,89	341,18	16,24	4,41	8,47
R3	886,35	347,61	332,47	14,94	4,30	7,84
R4	850,12	328,69	343,29	15,29	4,43	8,47
R5	718,93	284,71	346,12	15,53	4,47	8,68
Média	837,09	345,28	340,86	15,56	4,40	8,47

M212xA3	(N)	(kN)	(N)	(kNm*10)	(Nm)	(rps)	(rps*10)	(km/h)	(L/h)	(%)	(m)	(N)	(kN)			
Lastro(kgf)	carga	forca	Líquida	torque	TR	rotacao	pneu	radar	combust	Patinagem	Raio de rol	TraxBruta	Res.rolam	CTB	CTL	ET
1000,00	9810,00	6,24	6243,78	2,53	5500,15	5,76	2,65	4,38	8,66	4,12	0,76	7220,51	976,74	0,74	0,64	0,83
1500,00	14715,00	8,37	8370,92	3,45	7561,55	5,68	2,59	4,40	8,47	3,61	0,78	9708,83	1337,91	0,66	0,57	0,83

APÊNDICE 7. Análise de variância dos dados (médios) do experimento para avaliação de dois tipos de pneus: diagonal x radial

ANÁLISE ESTATÍSTICA DO COMPORTAMENTO DOS PNEUS

FORÇA LÍQUIDA

QUADROS AUXILIARES

TRAT. PRINC.	R E P E T I C O E S					
	1	2	3	4	5	
1	27798.5400	25948.8200	27874.1200	28133.5800	30750.1700	140505.2300
2	24688.3100	21169.7600	25166.0800	29697.5100	29535.3000	130256.9600
TOTAIS	52486.8500	47118.5800	53040.2000	57831.0900	60285.4700	270762.1900

TRAT. PRINC.	TRATAMENTOS SECUNDARIOS				
	1	2	3	4	
1	20218.7300	16279.5900	48471.6900	55535.2200	140505.2300
2	26718.4600	20632.1700	31967.7800	50938.5500	130256.9600
TOTAIS	46937.1900	36911.7600	80439.4700	106473.7700	270762.1900

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	13079122.1461	3269780.5365	4.60 NS
TRATAMENTOS (P)	1.	2625675.9498	2625675.9498	3.69 NS
RESIDUO (A)	4.	2845350.5427	711337.6357	
(PARCELAS)	(9.)	18550148.6386		
TRATAMENTOS (S)	3.	304470897.9888	101490299.3296	120.80 **
INTERACAO P X S	3.	32844310.3608	10948103.4536	13.03 **
RESIDUO (B)	24.	20163032.8444	840126.3685	
TOTAL	39.	376028389.8326		

C.V. PARA PARCELAS = 12.46
 C.V. PARA SUBPARCELAS = 13.54

DESD. DE TRAT. SEC. D. TRAT. PRINC.				
CAUSAS DE VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
S D. P(1)	3	234411514.1895	78137171.3965	93.01 **
S D. P(2)	3	102903694.1602	34301231.3867	40.83 **
RESIDUO (B)	24		840126.3685	

DESD. DE TRAT. PRINC. D. TRAT. SEC.				
CAUSAS DE VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
P D. S(1)	1	4224649.0073	4224649.0073	5.23 *
P D. S(2)	1	1894495.2656	1894495.2656	2.34 NS
P D. S(3)	1	27237904.5288	27237904.5288	33.71 **
P D. S(4)	1	2112937.5089	2112937.5089	2.62 NS
RESIDUO (M)	26		807929.1853	

TORQUE MEDIDO NO EIXO DO TORCIÔMETRO

QUADROS AUXILIARES

TRAT. PRINC.	R E P E T I C O E S					
	1	2	3	4	5	
1	1511.5600	1439.7000	1615.2700	1621.2100	1708.3300	7896.0700
2	1378.1300	1159.8300	1375.3100	1671.6400	1602.5000	7187.4100
TOTAIS	2889.6900	2599.5300	2990.5800	3292.8500	3310.8300	15083.4800

TRAT. PRINC.	TRATAMENTOS SECUNDARIOS				
	1	2	3	4	
1	1137.4500	849.9500	2891.4100	3017.2600	7896.0700
2	1482.2700	1091.0400	1722.8500	2891.2500	7187.4100
TOTAIS	2619.7200	1940.9900	4614.2600	5908.5100	15083.4800

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	44201.9853	11050.4963	5.28 NS
TRATAMENTOS (P)	1.	12554.9749	12554.9749	6.00 NS
RESIDUO (A)	4.	8376.8698	2094.2174	
(PARCELAS)	(9.)	65133.8300		
TRATAMENTOS (S)	3.	995441.8599	331813.9533	142.13 **
INTERACAO P X S	3.	143288.6465	47762.8822	20.46 **
RESIDUO (B)	24.	56029.3081	2334.5545	
TOTAL	39.	1259893.6444		

C.V. PARA PARCELAS = 12.14

C.V. PARA SUBPARCELAS = 12.81

DESD. DE TRAT. SEC. D. TRAT. PRINC.

CAUSAS DE VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
S D. P(1)	3	778667.3679	259555.7893	111.18 **
S D. P(2)	3	360063.1385	120021.0462	51.41 **
RESIDUO (B)	24		2334.5545	

DESD. DE TRAT. PRINC. D. TRAT. SEC.

CAUSAS DE VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
P D. S(1)	1	11890.0832	11890.0832	5.23 *
P D. S(2)	1	5812.4388	5812.4388	2.56 NS
P D. S(3)	1	136553.2474	136553.2474	60.04 **
P D. S(4)	1	1587.8520	1587.8520	.70 NS
RESIDUO (M)	26		2274.4702	

ROTACÃO NO EIXO DO TORCIÔMETRO

QUADROS AUXILIARES

TRAT. PRINC.	R E P E T I C O E S					
	1	2	3	4	5	
1	1381.5100	1350.9900	1368.1100	1360.8500	1346.1400	6807.6000
2	1361.6000	1376.9200	1347.4500	1370.5300	1366.0100	6822.5100
TOTAIS	2743.1100	2727.9100	2715.5600	2731.3800	2712.1500	13630.1100

TRAT. PRINC.	TRATAMENTOS SECUNDARIOS				
	1	2	3	4	
1	1725.9200	1683.9500	1700.0400	1697.6900	6807.6000
2	1697.1900	1708.5600	1706.6700	1710.0900	6822.5100
TOTAIS	3423.1100	3392.5100	3406.7100	3407.7800	13630.1100

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	78.2698	19.5674	.32 NS
TRATAMENTOS (P)	1.	5.5577	5.5577	.09 NS
RESIDUO (A)	4.	242.4583	60.6146	
(PARCELAS)	(9.)	326.2858		
TRATAMENTOS (S)	3.	46.9072	15.6357	.62 NS
INTERACAO P X S	3.	157.3205	52.4402	2.08 NS
RESIDUO (B)	24.	606.3576	25.2649	
TOTAL	39.	1136.8710		

C.V. PARA PARCELAS = 2.28
 C.V. PARA SUBPARCELAS = 1.48

VELOCIDADE DO RADAR

QUADROS AUXILIARES

TRAT. PRINC.	R E P E T I C O E S					
	1	2	3	4	5	
1	16.6000	16.1600	16.4000	15.7700	16.0200	80.9500
2	16.1400	16.3200	16.0600	16.4000	16.4200	81.3400
TOTAIS	32.7400	32.4800	32.4600	32.1700	32.4400	162.2900

TRAT. PRINC.	TRATAMENTOS SECUNDARIOS				
	1	2	3	4	
1	19.3600	19.6200	20.8100	21.1600	80.9500
2	20.2800	19.8200	19.9800	21.2600	81.3400
TOTAIS	39.6400	39.4400	40.7900	42.4200	162.2900

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	.0204	.0051	.19 NS
TRATAMENTOS (P)	1.	.0038	.0038	.14 NS
RESIDUO (A)	4.	.1099	.0275	
(PARCELAS)	(9.)	.1341		
TRATAMENTOS (S)	3.	.5613	.1871	22.07 **
INTERACAO P X S	3.	.1547	.0516	6.08 **
RESIDUO (B)	24.	.2035	.0085	
TOTAL	39.	1.0536		

C.V. PARA PARCELAS = 4.09
 C.V. PARA SUBPARCELAS = 2.27

DESD. DE TRAT. SEC. D. TRAT. PRINC.				
CAUSAS DE VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
S D. P(1)	3	.4660	.1553	18.32 **
S D. P(2)	3	.2500	.0833	9.83 **
RESIDUO(B)	24		.0085	

DESD. DE TRAT. PRINC. D. TRAT. SEC.				
CAUSAS DE VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
P D. S(1)	1	.0846	.0846	6.40 *
P D. S(2)	1	.0040	.0040	.30 NS
P D. S(3)	1	.0689	.0689	5.21 *
P D. S(4)	1	.0010	.0010	.08 NS
RESIDUO(M)	12		.0132	

CONSUMO HORÁRIO DE COMBUSTÍVEL

QUADROS AUXILIARES

TRAT.PRINC.	R E P E T I C O E S					
	1	2	3	4	5	
1	41.3000	39.3400	39.6400	39.5400	37.8100	197.6300
2	38.5500	38.4900	36.9900	38.3200	37.8400	190.1900
TOTAIS	79.8500	77.8300	76.6300	77.8600	75.6500	387.8200

TRAT.PRINC.	TRATAMENTOS SECUNDARIOS				
	1	2	3	4	
1	50.5400	49.1300	49.1900	48.7700	197.6300
2	49.4300	47.4000	46.0400	47.3200	190.1900
TOTAIS	99.9700	96.5300	95.2300	96.0900	387.8200

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	1.2400	.3100	1.73 NS
TRATAMENTOS (P)	1.	1.3838	1.3838	7.73 *
RESIDUO (A)	4.	.7158	.1789	
(PARCELAS)	(9.)	3.3396		
TRATAMENTOS (S)	3.	1.2995	.4332	6.99 **
INTERACAO P X S	3.	.2412	.0804	1.30 NS
RESIDUO (B)	24.	1.4876	.0620	
TOTAL	39.	6.3678		

C.V. PARA PARCELAS = 4.36
 C.V. PARA SUBPARCELAS = 2.57

CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTÍVEL

QUADROS AUXILIARES

TRAT.PRINC.	R E P E T I C O E S					
	1	2	3	4	5	
1	3790.7100	4544.6900	3072.4600	2995.3200	2444.6400	16847.8200
2	2910.5700	4880.4400	2952.3800	2294.9300	2577.0000	15615.3200
TOTAIS	6701.2800	9425.1300	6024.8400	5290.2500	5021.6400	32463.1400

TRAT.PRINC.	TRATAMENTOS SECUNDARIOS				
	1	2	3	4	
1	5205.4900	7842.5900	1999.4800	1800.2600	16847.8200
2	4078.4500	6421.2500	3212.4100	1903.2100	15615.3200
TOTAIS	9283.9400	14263.8400	5211.8900	3703.4700	32463.1400

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	1558930.9751	389732.7438	11.28 *
TRATAMENTOS (P)	1.	37976.4063	37976.4063	1.10 NS
RESIDUO (A)	4.	138255.9700	34563.9925	
(PARCELAS)	(9.)	1735163.3514		
TRATAMENTOS (S)	3.	6706429.6217	2235476.5406	17.79 **
INTERACAO P X S	3.	439246.0382	146415.3461	1.17 NS
RESIDUO (B)	24.	3015633.7610	125651.4067	
TOTAL	39.	11896472.7723		

C.V. PARA PARCELAS = 22.91
 C.V. PARA SUBPARCELAS = 43.68

RAIO DE ROLAMENTO DO PNEU

QUADROS AUXILIARES

TRAT.PRINC.	R E P E T I C O E S			
	1	2	3	
1	3192.8500	3209.5200	3180.7000	9583.0700
2	3156.4200	3162.2300	3165.8900	9484.5400
TOTAIS	6349.2700	6371.7500	6346.5900	19067.6100

TRAT.PRINC.	TRATAMENTOS SECUNDARIOS				
	1	2	3	4	
1	2404.0300	2399.1400	2407.4100	2372.4900	9583.0700
2	2399.3100	2380.1700	2371.5000	2333.5600	9484.5400
TOTAIS	4803.3400	4779.3100	4778.9100	4706.0500	19067.6100

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	2.	47.7316	23.8658	.70 NS
TRATAMENTOS (P)	1.	404.5067	404.5067	11.84 NS
RESIDUO (A)	2.	68.3464	34.1732	
(PARCELAS)	(5.)	520.5847		
TRATAMENTOS (S)	3.	888.1407	296.0469	14.32 **
INTERACAO P X S	3.	126.6953	42.2318	2.04 NS
RESIDUO (B)	12.	248.0712	20.6726	
TOTAL	23.	1783.4920		

C.V. PARA PARCELAS = .74
 C.V. PARA SUBPARCELAS = .57

TORQUE NO PNEU

QUADROS AUXILIARES

TRAT.PRINC.	R E P E T I C O E S					
	1	2	3	4	5	
1	33782.4800	32536.5200	36213.2100	36666.8100	38478.5000	177677.5200
2	31084.3000	26054.0200	30887.6400	37626.1600	36136.5000	161788.6200
TOTAIS	64866.7800	58590.5400	67100.8500	74292.9700	74615.0000	339466.1400

TRAT.PRINC.	TRATAMENTOS SECUNDARIOS				
	1	2	3	4	
1	25638.7100	18920.2700	65137.0600	67981.4800	177677.5200
2	33375.5500	24522.8800	38835.2600	65054.9300	161788.6200
TOTAIS	59014.2600	43443.1500	103972.3200	133036.4100	339466.1400

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	22808271.3629	5702067.8407	5.43 NS
TRATAMENTOS (P)	1.	6311428.5802	6311428.5802	6.01 NS
RESIDUO (A)	4.	4197320.6460	1049330.1615	
(PARCELAS)	(9.)	33317020.5892		
TRATAMENTOS (S)	3.	506960482.5516	168986827.5172	141.73 **
INTERACAO P X S	3.	72848302.4338	24282767.4779	20.37 **
RESIDUO (B)	24.	28615295.9742	1192303.9989	
TOTAL	39.	641741101.5487		

C.V. PARA PARCELAS = 12.07
 C.V. PARA SUBPARCELAS = 12.87

DESD. DE TRAT. SEC. D. TRAT. PRINC.

CAUSAS DE VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
S D. P(1)	3	397462599.4867	132487533.1622	111.12 **
S D. P(2)	3	182346185.4987	60782061.8329	50.98 **
RESIDUO (B)	24		1192303.9989	

DESD. DE TRAT. PRINC. D. TRAT. SEC.

CAUSAS DE VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
P D. S(1)	1	5985869.3186	5985869.3186	5.18 *
P D. S(2)	1	3138923.8812	3138923.8812	2.71 NS
P D. S(3)	1	69178468.3240	69178468.3240	59.81 **
P D. S(4)	1	856469.4902	856469.4902	.74 NS
RESIDUO (M)	26		1156560.5396	

PATINAGEM DO PNEU

QUADROS AUXILIARES

TRAT.PRINC.	R E P E T I C O E S					
	1	2	3	4	5	
1	43.8400	53.1100	47.9800	61.6400	56.0400	262.6100
2	40.2900	36.2700	42.3300	34.4700	34.2400	187.6000
TOTAIS	84.1300	89.3800	90.3100	96.1100	90.2800	450.2100

TRAT.PRINC.	TRATAMENTOS SECUNDARIOS				
	1	2	3	4	
1	87.2000	78.2300	57.1100	40.0700	262.6100
2	39.9500	59.5900	54.2100	33.8500	187.6000
TOTAIS	127.1500	137.8200	111.3200	73.9200	450.2100

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	9.0424	2.2606	.17 NS
TRATAMENTOS (P)	1.	140.6625	140.6625	10.81 *
RESIDUO (A)	4.	52.0324	13.0081	
(PARCELAS)	(9.)	201.7373		
TRATAMENTOS (S)	3.	234.5523	78.1841	18.97 **
INTERACAO P X S	3.	122.0485	40.6828	9.87 **
RESIDUO (B)	24.	98.9309	4.1221	
TOTAL	39.	657.2690		

C.V. PARA PARCELAS = 32.04
 C.V. PARA SUBPARCELAS = 18.04

DESD. DE TRAT. SEC. D. TRAT. PRINC.				
CAUSAS DE VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
S D. P(1)	3	269.9854	89.9951	21.83 **
S D. P(2)	3	86.6154	28.8718	7.00 **
RESIDUO(B)	24		4.1221	

DESD. DE TRAT. PRINC. D. TRAT. SEC.				
CAUSAS DE VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
P D. S(1)	1	223.2563	223.2563	35.19 **
P D. S(2)	1	34.7450	34.7450	5.48 *
P D. S(3)	1	.8410	.8410	.13 NS
P D. S(4)	1	3.8688	3.8688	.61 NS
RESIDUO(M)	13		6.3436	

RESISTÊNCIA AO ROLAMENTO DO PNEU

QUADROS AUXILIARES

TRAT.PRINC.	R E P E T I C O E S					
	1	2	3	4	5	
1	14478.5500	13584.9000	16747.1600	16488.0300	15768.7900	77067.4300
2	14799.6800	12163.8400	13744.4800	18104.6600	16356.8300	75169.4900
TOTAIS	29278.2300	25748.7400	30491.6400	34592.6900	32125.6200	152236.9200

TRAT.PRINC.	TRATAMENTOS SECUNDARIOS				
	1	2	3	4	
1	11341.9500	6910.7600	30400.3100	28414.4100	77067.4300
2	16316.1800	10516.5400	17537.0800	30799.6900	75169.4900
TOTAIS	27658.1300	17427.3000	47937.3900	59214.1000	152236.9200

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	5430771.6267	1357692.9067	3.25 NS
TRATAMENTOS (P)	1.	90054.4061	90054.4061	.22 NS
RESIDUO (A)	4.	1672183.9416	418045.9854	
(PARCELAS)	(9.)	7193009.9743		
TRATAMENTOS (S)	3.	107896598.6437	35965532.8812	64.69 **
INTERACAO P X S	3.	20799631.6152	6933210.5384	12.47 **
RESIDUO (B)	24.	13343529.8474	555980.4103	
TOTAL	39.	149232770.0806		

C.V. PARA PARCELAS = 16.99

C.V. PARA SUBPARCELAS = 19.59

DESD. DE TRAT. SEC. D. TRAT. PRINC.

CAUSAS DE VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
S D. P(1)	3	84621757.1246	28207252.3749	50.73 **
S D. P(2)	3	44074473.1343	14691491.0448	26.42 **
RESIDUO (B)	24		555980.4103	

DESD. DE TRAT. PRINC. D. TRAT. SEC.

CAUSAS DE VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
P D. S(1)	1	2474296.4093	2474296.4093	4.74 *
P D. S(2)	1	1300164.9408	1300164.9408	2.49 NS
P D. S(3)	1	16546268.6033	16546268.6033	31.73 **
P D. S(4)	1	568956.0678	568956.0678	1.09 NS
RESIDUO (M)	27		521496.8041	

COEFICIÊNTE DE TRAÇÃO LÍQUIDA

QUADROS AUXILIARES

TRAT.PRINC.	R E P E T I C O E S					
	1	2	3	4	5	
1	1.8300	1.7200	1.8900	1.8900	2.0800	9.4100
2	1.7200	1.4300	1.7500	2.0900	2.1300	9.1200
TOTAIS	3.5500	3.1500	3.6400	3.9800	4.2100	18.5300

TRAT.PRINC.	TRATAMENTOS SECUNDARIOS				
	1	2	3	4	
1	2.0600	1.2800	3.0900	2.9800	9.4100
2	2.7300	1.6200	2.0400	2.7300	9.1200
TOTAIS	4.7900	2.9000	5.1300	5.7100	18.5300

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	.0834	.0208	4.71 NS
TRATAMENTOS (P)	1.	.0021	.0021	.48 NS
RESIDUO (A)	4.	.0177	.0044	
(PARCELAS)	(9.)	.1032		
TRATAMENTOS (S)	3.	.4435	.1478	26.96 **
INTERACAO P X S	3.	.1708	.0569	10.39 **
RESIDUO (B)	24.	.1316	.0055	
TOTAL	39.	.8491		

C.V. PARA PARCELAS = 14.35

C.V. PARA SUBPARCELAS = 15.98

DESD. DE TRAT. SEC. D. TRAT. PRINC.				
CAUSAS DE VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
S D. P(1)	3	.4347	.1449	26.43 **
S D. P(2)	3	.1796	.0599	10.92 **
RESIDUO(B)	24		.0055	

DESD. DE TRAT. PRINC. D. TRAT. SEC.				
CAUSAS DE VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
P D. S(1)	1	.0449	.0449	8.60 **
P D. S(2)	1	.0116	.0116	2.22 NS
P D. S(3)	1	.1102	.1102	21.13 **
P D. S(4)	1	.0063	.0063	1.20 NS
RESIDUO(M)	26		.0052	

COEFICIÊNTE DE TRAÇÃO BRUTA

QUADROS AUXILIARES

TRAT.PRINC.	R E P E T I C O E S					
	1	2	3	4	5	
1	2.8000	2.6000	3.0000	3.0000	3.1800	14.5800
2	2.7800	2.2600	2.6800	3.3600	3.3000	14.3800
TOTAIS	5.5800	4.8600	5.6800	6.3600	6.4800	28.9600

TRAT.PRINC.	TRATAMENTOS SECUNDARIOS				
	1	2	3	4	
1	3.2200	1.8300	5.0300	4.5000	14.5800
2	4.3900	2.4500	3.1600	4.3800	14.3800
TOTAIS	7.6100	4.2800	8.1900	8.8800	28.9600

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	.2153	.0538	4.86 NS
TRATAMENTOS (P)	1.	.0010	.0010	.09 NS
RESIDUO (A)	4.	.0443	.0111	
(PARCELAS)	(9.)	.2606		
TRATAMENTOS (S)	3.	1.2491	.4164	31.04 **
INTERACAO P X S	3.	.5255	.1752	13.06 **
RESIDUO (B)	24.	.3219	.0134	
TOTAL	39.	2.3570		

C.V. PARA PARCELAS = 14.54

C.V. PARA SUBPARCELAS = 16.00

DESD. DE TRAT. SEC. D. TRAT. PRINC.

CAUSAS DE VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
S D. P(1)	3	1.2248	.4083	30.44 **
S D. P(2)	3	.5497	.1832	13.66 **
RESIDUO (B)	24		.0134	

DESD. DE TRAT. PRINC. D. TRAT. SEC.

CAUSAS DE VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
P D. S(1)	1	.1369	.1369	10.67 **
P D. S(2)	1	.0384	.0384	3.00 NS
P D. S(3)	1	.3497	.3497	27.26 **
P D. S(4)	1	.0014	.0014	.11 NS
RESIDUO (M)	26		.0128	

EFICIÊNCIA TRATÓRIA

QUADROS AUXILIARES

TRAT. PRINC.	R E P E T I C O E S					
	1	2	3	4	5	
1	2.6300	2.8700	2.5800	2.5400	2.6100	13.2300
2	2.4700	2.5800	2.6300	2.4800	2.6400	12.8000
TOTAIS	5.1000	5.4500	5.2100	5.0200	5.2500	26.0300

TRAT. PRINC.	TRATAMENTOS SECUNDARIOS				
	1	2	3	4	
1	3.2200	3.6200	3.0800	3.3100	13.2300
2	3.1000	3.3500	3.2300	3.1200	12.8000
TOTAIS	6.3200	6.9700	6.3100	6.4300	26.0300

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	.0134	.0034	1.35 NS
TRATAMENTOS (P)	1.	.0046	.0046	1.86 NS
RESIDUO (A)	4.	.0100	.0025	
(PARCELAS)	(9.)	.0280		
TRATAMENTOS (S)	3.	.0294	.0098	3.65 *
INTERACAO P X S	3.	.0100	.0033	1.24 NS
RESIDUO (B)	24.	.0645	.0027	
TOTAL	39.	.1319		

C.V. PARA PARCELAS = 7.67
 C.V. PARA SUBPARCELAS = 7.97

APÊNDICE 8. Análise de variância dos dados do experimento para avaliação da compactação do solo em função de dois tipos de pneus submetidos a quatro cargas (lastros) no pneu.

ANALISE ESTATÍSTICA DO ÍNDICE DE CONE DO SOLO DAS PISTAS DE ENSAIO ANTES DO TRÁFEGO DE PNEUS

PROFUNDIDADE DE 0 CM A 10 CM

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	14313.9991	3578.4998	.56 NS
TRATAMENTOS	2.	2396.2400	1198.1200	.19 NS
RESIDUO	8.	51367.6644	6420.9580	
TOTAL	14.	68077.9035		
DESVIO PADRAO =		80.1309	ERRO PADRAO DA MEDIA = 35.8356	
MEDIA GERAL =		191.2307	COEFICIENTE DE VARIACAO = 41.90	

PROFUNDIDADE DE 10 CM A 20 CM

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	3057791.8412	764447.9603	2.05 NS
TRATAMENTOS	2.	439861.5779	219930.7889	.59 NS
RESIDUO	8.	2987069.2241	373383.6530	
TOTAL	14.	6484722.6432		
DESVIO PADRAO =		611.0513	ERRO PADRAO DA MEDIA = 273.2704	
MEDIA GERAL =		844.1687	COEFICIENTE DE VARIACAO = 72.38	

PROFUNDIDADE DE 20 CM A 30 CM

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	3303342.6604	825835.6651	1.22 NS
TRATAMENTOS	2.	1284286.7723	642143.3861	.95 NS
RESIDUO	8.	5409574.2636	676196.7830	
TOTAL	14.	9997203.6963		

DESVIO PADRAO = 822.3119 ERRO PADRAO DA MEDIA = 367.7490
MEDIA GERAL = 2884.3673 COEFICIENTE DE VARIACAO = 28.51

PROFUNDIDADE DE 30 CM A 40 CM

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4.	782088.7332	195522.1833	.42 NS
TRATAMENTOS	2.	2069649.8369	1034824.9184	2.21 NS
RESIDUO	8.	3741383.1691	467672.8961	
TOTAL	14.	6593121.7392		

DESVIO PADRAO = 683.8661 ERRO PADRAO DA MEDIA = 305.8342
MEDIA GERAL = 3381.2313 COEFICIENTE DE VARIACAO = 20.23

ANALISE ESTATÍSTICA DO ÍNDICE DE CONE DO SOLO DAS PISTAS DE ENSAIO DEPOIS DO TRÁFEGO DE PNEUS

INDICE DE CONE

FATOR A=PNEU

FATOR B=CARGA

FATOR C=CAMADA

AN. EXP. PARCELAS SUB-SUB-DIVIDIDAS 2X 5X 4

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA

CAUSA DE VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	4	839235.7092	209808.9273	5.1874 NS
FATOR A	1	847986.1335	847986.1335	20.9661 *
RESID. (A)	4	161781.9567	40445.4892	
PARCELAS	9	1849003.7994		
FATOR B	4	23791654.9358	5947913.7339	15.1658 **
FATOR AXB	4	3087357.2439	771839.3110	1.9680 NS
RESID. (B)	32	12550145.6900	392192.0528	
SUB PARC.	49	41278161.6692		
FATOR C	3	313898984.5415	104632994.8472	472.9773 **
FATOR AXC	3	2277733.2992	759244.4331	3.4320 *
FATOR BXC	12	11663918.1633	971993.1803	4.3937 **
FATOR AXBXC	12	5051742.3062	420978.5255	1.9030 *
RESID. (C)	120	26546645.2008	221222.0433	
SUB SUB PARC.	199	400717185.1801		
MEDIA GERAL DO ENSAIO		2445.0476		
COEFICIENTE DE VARIACAO PARA PARCELA			8.2252	
COEFICIENTE DE VARIACAO PARA SUB PARCELA			25.6131	
COEFICIENTE DE VARIACAO PARA SUB SUB PARCELA			19.2365	

DESDOBRAMENTO DE C D. A

CAUSAS DE VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
C D. A(1)	3	137969302.4721	45989767.4907	207.8896 **
C D. A(2)	3	178207415.3685	59402471.7895	268.5197 **
(C D. A)	(6)	(316176717.8406)		

DESDOBRAMENTO DE A D. C

CAUSAS DE VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
A D. C(1)	1	147618.9581	147618.9581	.8386 NS
A D. C(2)	1	40533.8781	40533.8781	.2303 NS
A D. C(3)	1	2817885.7722	2817885.7722	16.0082 **
A D. C(4)	1	119680.8243	119680.8243	.6799 NS
(A D. C)	(4)	(3125719.4327)		

DESDOBRAMENTO DE C D. B

CAUSAS DE VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
C D. B(1)	3	69985643.9104	23328547.9701	105.4531 **
C D. B(2)	3	63169647.8619	21056549.2873	95.1829 **
C D. B(3)	3	62426243.2644	20808747.7548	94.0627 **
C D. B(4)	3	58228035.1422	19409345.0474	87.7369 **
C D. B(5)	3	71753332.5258	23917777.5086	108.1166 **
(C D. B)	(15)	(325562902.7048)		

DESDOBRAMENTO DE B D. C

CAUSAS DE VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
B D. C(1)	4	2186868.8959	546717.2240	2.0712 NS
B D. C(2)	4	24757323.9498	6189330.9875	23.4476 **
B D. C(3)	4	6586263.7607	1646565.9402	6.2378 **
B D. C(4)	4	1925116.4926	481279.1232	1.8233 NS
(B D. C)	(16)	(35455573.0991)		

APÊNDICE 9. Dados médios de índice de cone e incrementos obtidos no experimento.

QUADRO DOS DADOS (MÉDIOS) DE ÍNDICE DE CONE EM KPA (NAS CAMADAS 0-10CM, 10-20CM, 20-30CM, 30-40CM) COLETADOS ANTES DO TRÁFEGO NA PISTA DE ENSAIO.

Pista (1 e 2) x Carga 0kgf

Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	149,87	986,77	2847,75	2995,00
2	178,80	660,67	3309,70	3391,10
3	184,43	588,65	2761,57	3626,88
4	198,90	338,15	2092,45	3300,75
5	244,16	1646,61	3410,36	3592,42
media	191,23	844,17	2884,37	3381,23

QUADRO DOS DADOS (MÉDIOS) DE ÍNDICE DE CONE EM KPA (NAS CAMADAS 0-10CM, 10-20CM, 20-30CM, 30-40CM) COLETADOS DEPOIS DO TRÁFEGO.

Pneu radial x Carga 1000kgf

Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	825,68	2449,30	2372,77	2579,37
2	526,15	1657,75	3316,12	5246,98
3	766,50	2107,70	3682,83	3451,58
4	979,65	2640,97	3168,03	3073,50
5	522,10	1547,37	2999,65	3056,75
media	724,02	2080,62	3107,88	3481,64

Pneu radial x Carga 1300kgf

Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	377,57	1769,52	3448,60	3653,65
2	349,53	1779,38	2688,05	3478,00
3	504,98	2275,62	3393,68	3339,43
4	546,67	2255,32	3923,18	5360,38
5	564,77	2515,10	3854,22	3644,92
media	468,70	2118,99	3461,55	3895,28

Pneu radial x Carga 1600kgf

Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	1169,48	2780,48	3357,93	2888,30
2	1052,60	2764,02	4043,73	4639,22
3	841,22	2356,57	3021,82	3909,53
4	970,12	2955,57	3100,40	3168,80
5	762,22	2750,50	2847,05	3343,67
media	959,13	2721,43	3274,19	3589,90

Pneu radial x Carga 1900kgf

Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	666,22	2602,38	3302,03	3749,87
2	440,65	2073,72	3135,77	3276,67
3	502,70	2207,67	3669,75	3687,20
4	1019,35	2461,25	3381,38	3364,65
5	802,80	3127,52	4511,83	4088,33

media	686,34	2494,51	3600,15	3633,34
Pneu diagonal x Carga 1000kgf				
Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	402,83	1454,37	3528,53	3193,78
2	447,94	1566,86	3630,81	5561,86
3	376,23	1776,40	4209,30	5622,32
4	424,32	1971,92	4201,28	3679,92
5	1075,42	3234,40	5022,37	3964,70
media	545,35	2000,79	4118,46	4404,51

Pneu diagonal x Carga 1300kgf				
Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	459,61	2116,36	3725,41	3526,86
2	284,83	1885,25	3219,32	2831,10
3	389,80	1567,92	2661,37	3385,90
4	569,12	1868,48	3056,47	3671,17
5	470,63	1903,50	3330,35	3360,45
media	434,80	1868,30	3198,58	3355,09

Pneu diagonal 1600kgf				
Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	687,58	4387,52	3872,87	2960,83
2	396,05	2709,07	4316,25	4262,36
3	465,03	1869,38	5455,30	4482,27
4	553,72	3550,58	4766,02	4344,48
5	718,03	2194,62	3942,63	3679,38
media	564,08	2942,23	4470,61	3945,87

Pneu diagonal 1900kgf				
Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	644,15	2656,68	4597,48	3866,60
2	657,20	2830,58	4122,68	3382,23
3	780,37	2839,68	4057,03	3441,90
4	836,45	3491,23	3611,58	2891,32
5	834,86	2626,53	3761,66	3337,60
media	750,60	2888,94	4030,09	3383,93

MÉDIA DOS VALORES DOS INCREMENTOS DE INDICE DE CONE EM KPA
(0-10CM, 10-20CM, 20-30CM, 30-40CM) COLETADOS NA PISTA DE ENSAIO

Pneu radial x Carga 1000kgf				
Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	675,82	1462,53	-474,98	-415,63
2	347,35	997,08	6,42	1855,88
3	582,07	1519,05	921,27	-175,30
4	780,75	2302,82	1075,58	-227,25
5	277,94	-99,24	-410,71	-535,67
media	532,79	1236,45	223,51	100,41

Pneu radial x Carga 1300kgf

Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	227,70	782,75	600,85	658,65
2	170,73	1118,72	-621,65	86,90
3	320,55	1686,97	632,12	-287,45
4	347,77	1917,17	1830,73	2059,63
5	320,61	868,49	443,86	52,49
media	277,47	1274,82	577,18	514,05

Pneu radial x Carga 1600kgf

Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	1019,61	1793,71	510,18	-106,70
2	873,80	2103,35	734,03	1248,12
3	656,78	1767,92	260,25	282,65
4	771,22	2617,42	1007,95	-131,95
5	518,06	1103,89	-563,31	-248,76
media	767,89	1877,26	389,82	208,67

Pneu radial x Carga 1900kgf

Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	516,35	1615,62	454,28	754,87
2	261,85	1413,05	-173,93	-114,43
3	318,27	1619,02	908,18	60,32
4	820,45	2123,10	1288,93	63,90
5	558,64	1480,91	1101,47	495,91
media	495,11	1650,34	715,79	252,11

Pneu diagonal x Carga 1000kgf

Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	252,97	467,60	680,78	198,78
2	269,14	906,19	321,11	2170,76
3	191,80	1187,75	1447,73	1995,43
4	225,42	1633,77	2108,83	379,17
5	831,26	1587,79	1612,01	372,28
media	354,12	1156,62	1234,09	1023,28

Pneu diagonal x Carga 1300kgf

Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	309,75	1129,59	877,66	531,86
2	106,03	1224,58	-90,38	-560,00
3	205,37	979,27	-100,20	-240,98
4	370,22	1530,33	964,02	370,42
5	226,48	256,89	-80,01	-231,97
media	243,57	1024,13	314,22	-26,14

Pneu diagonal 1600kgf

Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	537,72	3400,75	1025,12	-34,17
2	217,25	2048,40	1006,55	871,26
3	280,60	1280,73	2693,73	855,38
4	354,82	3212,43	2673,57	1043,73
5	473,88	548,01	532,27	86,96
media	372,85	2098,06	1586,25	564,63

Pneu diagonal 1900kgf

Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	494,28	1669,92	1749,73	871,60
2	478,40	2169,92	812,98	-8,87
3	595,93	2251,03	1295,47	-184,98
4	637,55	3153,08	1519,13	-409,43
5	590,70	979,92	351,30	-254,82
media	559,37	2044,77	1145,72	2,70

MÉDIA DOS VALORES DOS INCREMENTOS DE INDICE DE CONE EM PORCENTAGEM
(0-10CM, 10-20CM, 20-30CM, 30-40CM) COLETADOS NA PISTA DE ENSAIO

Pneu radial x Carga 1000kgf

Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	450,95	148,21	-16,68	-13,88
2	194,27	150,92	0,19	54,73
3	315,60	258,06	33,36	-4,83
4	392,53	681,00	51,40	-6,88
5	113,84	-6,03	-12,04	-14,91
media	278,61	146,47	7,75	2,97

Pneu radial x Carga 1300kgf

Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	151,94	79,32	21,10	21,99
2	95,49	169,33	-18,78	2,56
3	173,80	286,58	22,89	-7,93
4	174,84	566,96	87,49	62,40
5	131,31	52,74	13,01	1,46
media	145,10	151,01	20,01	15,20

Pneu radial x Carga 1600kgf

Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	680,34	181,78	17,92	-3,56
2	488,70	318,37	22,18	36,81
3	356,11	300,33	9,42	7,79
4	387,74	774,04	48,17	-4,00
5	212,18	67,04	-16,52	-6,92
media	401,55	222,38	13,51	6,17

Pneu radial x Carga 1900kgf

Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	344,54	163,73	15,95	25,20
2	146,45	213,88	-5,26	-3,37
3	172,56	275,04	32,89	1,66
4	412,49	627,86	61,60	1,94
5	228,81	89,94	32,30	13,80
media	258,91	195,50	24,82	7,46

Pneu diagonal x Carga 1000kgf

Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	168,79	47,39	23,91	6,64
2	150,53	137,16	9,70	64,01
3	103,99	201,78	52,42	55,02
4	113,33	483,15	100,78	11,49
5	340,46	96,43	47,27	10,36
media	185,18	137,01	42,79	30,26

Pneu diagonal x Carga 1300kgf

Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	206,68	114,47	30,82	17,76
2	59,30	185,36	-2,73	-16,51
3	111,35	166,36	-3,63	-6,64
4	186,13	452,56	46,07	11,22
5	92,76	15,60	-2,35	-6,46
media	127,37	121,32	10,89	-0,77

Pneu diagonal 1600kgf

Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	358,80	344,64	36,00	-1,14
2	121,50	310,05	30,41	25,69
3	152,14	217,57	97,54	23,58
4	178,39	950,00	127,77	31,62
5	194,09	33,28	15,61	2,42
media	194,97	248,54	54,99	16,70

Pneu diagonal 1900kgf

Parcela	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1	329,82	169,23	61,44	29,10
2	267,56	328,44	24,56	-0,26
3	323,12	382,41	46,91	-5,10
4	320,54	932,45	72,60	-12,40
5	241,94	59,51	10,30	-7,09
media	292,51	242,22	39,72	0,08

MÉDIA DOS VALORES DOS INCREMENTOS DE INDICE DE CONE EM PORCENTAGEM
(0-10CM, 10-20CM, 20-30CM, 30-40CM) COLETADOS NA PISTA DE ENSAIO

Pneu radial

Carga	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1000kgf	278,61	146,47	7,75	2,97
1300 kgf	145,10	151,01	20,01	15,20
1600 kgf	401,55	222,38	13,51	6,17
1900 kgf	258,91	195,50	24,82	7,46
média	271,04	178,84	16,52	7,95

Pneu diagonal

Carga	0-10kCM	10-20CM	20-30CM	30-40CM
1000kgf	185,18	137,01	42,79	30,26
1300 kgf	127,37	121,32	10,89	0,00
1600 kgf	194,97	248,54	54,99	16,70
1900 kgf	292,51	242,22	39,72	0,08
média	200,01	187,27	37,10	11,57