

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

**CONSTRUÇÃO DE UM INCLINÔMETRO PARA AVALIAR O EFEITO  
DA DECLIVIDADE LATERAL NO DESEMPENHO DE TRATORES  
AGRÍCOLAS**

**FABRÍCIO LEITE**

Tese apresentado à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de  
Botucatu para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia –Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP  
OUTUBRO – 2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**CONSTRUÇÃO DE UM INCLINÔMETRO PARA AVALIAR O EFEITO  
DA DECLIVIDADE LATERAL NO DESEMPENHO DE TRATORES  
AGRÍCOLAS**

**FABRÍCIO LEITE**

**Orientador: Prof. Dr. João Eduardo Guarnetti dos Santos**

**Co-orientador: Prof. Dr. Kléber Pereira Lanças**

Tese apresentado à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de  
Botucatu para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia –Energia na Agricultura.

BOTUCATU – S.P.

OUTUBRO – 2007

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

Leite, Fabrício, 1975-  
L533c      Construção de um inclinômetro para avaliar o efeito da declividade lateral no desempenho de tratores agrícolas / Fabrício Leite . - Botucatu : [s.n.], 2007.  
x, 117 f. : il. color., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2007  
Orientador: João Eduardo Guarnetti dos Santos  
Co-orientador: Kléber Pereira Lanças  
Inclui bibliografia

1. Tratores agrícolas. 2. Inclinômetro. 3. Máquinas - Projetos. 4. Acidentes. I. Santos, João Eduardo Guarnetti. II. Lanças, Kléber Pereira. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

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

TÍTULO: "CONSTRUÇÃO DE UM INCLINÔMETRO PARA AVALIAR O EFEITO  
DA DECLIVIDADE LATERAL NO DESEMPENHO DE TRATORES  
AGRÍCOLAS"

ALUNO: FABRÍCIO LEITE

ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO EDUARDO GUARNETTI DOS SANTOS

Aprovado pela Comissão Examinadora

PROF. DR. JOÃO EDUARDO GUARNETTI DOS SANTOS

PROF. DR. SAULO-FILÍPE SEBASTIÃO GUERRA

PROF. DR. MARCOS ROBERTO BORMIO

PROF. DR. ANTONIO GABRIEL FILHO

PROF. DR. NILSON SALVADOR

Data da Realização: 22 de outubro de 2007.

Aos meus pais e irmãos,  
ao Rodolfo, meu filho.

DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela fé sempre presente;

À Faculdade de Ciências Agronômicas (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;

Ao Professor Doutor João Eduardo Guarnetti dos Santos, pela brilhante orientação, compreensão e dedicação;

Ao Professor Doutor Kléber Pereira Lanças, do Departamento de Engenharia Rural da FCA-UNESP, pela co-orientação segura, atenção, 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 Professor Doutor Saulo Philipe Sebastião Guerra, pela preciosa ajuda, atenção, críticas, sugestões e principalmente pela amizade;

Ao Pós-Doutorando Professor Doutor Antônio Gabriel Filho, pela preciosa ajuda, atenção, críticas, sugestões e principalmente pela amizade;

Ao PICDT/CAPES, pela concessão da bolsa de estudos, a qual permitiu a manutenção e finalização deste trabalho;

Aos docentes do Departamento de Engenharia Rural e do Curso de Pós-Graduação;

Às secretárias do Departamento de Engenharia Rural, Rita de Cássia Miranda e do curso de pós-graduação, Rosângela Cristina Moreci, pela presteza no atendimento;

Aos colegas de curso Juan José Bonnin, Ricardo Carvalho Tosin, Cristiano Alberto de Paula, Leonardo de Almeida Monteiro e Fernando Henrique Campos, pela convivência, incentivo, pelo auxílio nos trabalhos executados do experimento e principalmente pela amizade;

À todos os funcionários de Departamento de Engenharia Rural, pela amizade e serviços prestados;

À todos os colegas de curso;

Ao Benedito Fernando Camargo, funcionário do NEMPA, pela convivência e amizade;

À minha irmã Cristiane Leite Antunes e meu cunhado Ednei Antônio Antunes, que além das constantes ajudas, deram suporte durante a permanência em Botucatu;

Ao meu irmão João Batista Leite Júnior, pelo auxílio e amizade;

À minha irmã Ana Paula Leite de Lima, mesmo que distante, pelo incentivo para a conclusão do curso;

Enfim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho viesse a ser realizado.

## SUMÁRIO

	Página
Lista de figuras. ....	IV
Lista de tabela. ....	VII
Lista de símbolos. ....	X
1 RESUMO. ....	1
2 SUMMARY. ....	3
3 INTRODUÇÃO. ....	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. ....	7
4.1 Acidentes rurais. ....	7
4.2 Estabilidade de tratores agrícolas. ....	11
4.3 Tipos de capotamentos. ....	12
4.3.1 Tombamento lateral. ....	13
4.3.2 Empinamento. ....	14
4.4 Condições de equilíbrio estático. ....	15
4.4.1 Determinação do centro de gravidade. ....	15
4.4.2 Equilíbrio estático longitudinal - trator em nível. ....	17
4.4.3 Equilíbrio estático com o trator em nível e com uma força paralela ao solo, aplicada na barra de tração. ....	18
4.4.4 Forças em equilíbrio estático – tombamento lateral. ....	21
4.5 Desempenho operacional de tratores agrícolas. ....	26
4.5.1 Patinagem. ....	26
4.5.2 Consumo de combustível. ....	29
4.5.3 Tração. ....	32
4.6 Inclinômetros. ....	36
5 MATERIAL E MÉTODOS. ....	39
5.1 Material. ....	39
5.1.1 Tratores Agrícolas. ....	39
5.1.2 Local do experimento. ....	41

5.1.3	Preparo da pista lateral. . . . .	42
5.1.4	Sistema de eletrônico de aquisição de dados e painel de monitoramento dos dados. . . . .	43
5.1.5	Geradores de pulsos. . . . .	43
5.1.6	Velocidade de deslocamento. . . . .	44
5.1.7	Fluxômetro. . . . .	44
5.1.8	Célula de Carga. . . . .	44
5.1.9	Potenciômetro. . . . .	45
5.1.10	Inclinômetro. . . . .	45
5.2	Métodos. . . . .	46
5.2.1	Projeto e desenvolvimento do inclinômetro. . . . .	46
5.2.2	Calibração do inclinômetro. . . . .	47
5.2.3	Determinação do centro de gravidade dos tratores utilizados conforme NBR 12567. . . . .	47
5.2.4	Declividade operacional limite. . . . .	50
5.2.5	Determinação da força de tração na barra. . . . .	51
5.2.6	Consumo horário de combustível. . . . .	52
5.2.7	Determinação da velocidade de deslocamento. . . . .	52
5.2.8	Patinagem. . . . .	52
5.2.9	Determinação da potência disponível na barra de tração. . . . .	53
5.2.10	Transferência de peso. . . . .	53
5.2.11	Carga dinâmica sobre os rodados. . . . .	54
5.2.12	Coefficiente de tração. . . . .	54
5.2.13	Rendimento de tração. . . . .	55
5.3	Delineamento experimental. . . . .	55
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO. . . . .	56
6.1	Construção e calibração do inclinômetro. . . . .	56
6.2	Resultados do Centro de Gravidade (CG) de cada trator avaliado. . . . .	61
6.3	Análise geral dos resultados obtidos para cada trator em todas as inclinações. . . . .	64
6.4	Análise de regressão dos resultados obtidos nas faixas de potência para todas as	

inclinações. ....	73
6.5 Análise de regressão dos resultados obtidos para cada trator nas faixas de inclinação lateral avaliadas. ....	87
7 CONCLUSÕES. ....	103
8 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS. ....	105
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....	106

## LISTA DE FIGURAS

	Página
1 (a) situação de não tombamento (b) iminência de tombamento e (c) tombamento. ..	13
2 (a) situação de não empinamento (b) iminência de empinamento e (c) empinamento	14
3 Triedro de referência (Fonte: Mialhe, 1980). . . . .	16
4 Equilíbrio estático longitudinal do trator em nível. . . . .	17
5 Força paralela ao chão aplicada na barra de tração. . . . .	19
6 Equilíbrio estático – tombamento lateral. . . . .	21
7 Declividade operacional limite. . . . .	23
8 Forças que atuam em uma roda deformável em solo solto. . . . .	33
9 Comboio utilizado nos ensaios. . . . .	40
10 Vista aérea da área experimental. . . . .	41
11 (a) Preparo inicial com plaina da pista lateral (b) Preparo final com plaina da pista lateral (c) Pista lateral plainada (d) Rolo Compactador. . . . .	42
12 Sistema de aquisição de dados e painel eletrônico . . . . .	43
13 Fluxômetro utilizado para avaliação do consumo horário de combustível. . . . .	44
14 Célula de carga instalada na barra de tração do trator. . . . .	45
15 Transferidor desenvolvido para o inclinômetro. . . . .	46
16 Determinação da coordenada x do centro de gravidade. . . . .	48
17 Determinação da coordenada z do centro de gravidade. . . . .	49
18 Determinação da coordenada y do centro de gravidade. . . . .	50
19 (1) Vista frontal do potenciômetro, (2) Vista frontal da chapa de fixação do aparelho na caixa de acrílico, (3) Vista frontal do pêndulo, (4) Vista lateral da bucha de fixação do potenciômetro, (5) Arruela de fixação do potenciômetro, (6) Vista lateral do potenciômetro, (7) Massa de chumbo, (8) e (9) Parafusos de fixação. . . . .	57
20 (1) Vista frontal e (2) Vista lateral do pêndulo utilizado no inclinômetro (cotas em milímetros). . . . .	57
21 (1) Vista frontal e (2) Vista lateral da chapa de fixação do aparelho na caixa de acrílico	

(cotas em milímetros). . . . .	58
22 (1) Vista frontal e (2) Vista lateral do potenciômetro utilizado no inclinômetro (cotas em milímetros). . . . .	58
23 Curva de calibração do inclinômetro. . . . .	59
24 Inclinômetro desenvolvido para determinação da inclinação lateral do terreno. . . . .	60
25 Tempo de resposta apresentado pelo inclinômetro. . . . .	60
26 Curva de estabilidade do inclinômetro para um intervalo de 5 minutos. . . . .	61
27 Centro de gravidade (CG) do trator de 158 kW de potência. . . . .	62
28 Centro de gravidade (CG) do trator de 132 kW de potência. . . . .	62
29 Centro de gravidade (CG) do trator de 118 kW de potência. . . . .	63
30 Centro de gravidade (CG) do trator de 89 kW de potência. . . . .	63
31 Curva de regressão quadrática do consumo horário ( $L.h^{-1}$ ) para todas as inclinações. . . . .	75
32 Curva de regressão quadrática da velocidade ( $km.h^{-1}$ ) para todas as inclinações . . . . .	76
33 Curva de regressão quadrática da patinagem dos rodados lado direito (%) para todas as inclinações . . . . .	78
34 Curva de regressão quadrática da patinagem dos rodados lado esquerdo (%) para todas as inclinações. . . . .	79
35 Curva de regressão quadrática da patinagem dos tratores (%) para todas as inclinações. . . . .	81
36 Curva de regressão quadrática de potência na barra de tração (kW) para todas as inclinações . . . . .	82
37 Curva de regressão quadrática da carga dinâmica (kN) para todas as inclinações. . . . .	84
38 Curva de regressão quadrática de coeficiente de tração para todas as inclinações . . . . .	85
39 Curva de regressão quadrática de rendimento de tração para todas as inclinações . . . . .	87
40 Curva de regressão quadrática de força de tração (kN) para todos os tratores. . . . .	89
41 Curva de regressão quadrática da velocidade de deslocamento ( $km.h^{-1}$ ) para todos os tratores. . . . .	90
42 Curva de regressão quadrática de patinagem dos rodados lado direito (%) para todos os tratores. . . . .	91
43 Curva de regressão quadrática de patinagem dos rodados lado esquerdo (%) para todos	

os tratores. ....	93
44 Curva de regressão quadrática de patinagem (%) para todos os tratores. ....	94
45 Curva de regressão quadrática da potência na barra de tração (kW) para todos os tratores. ....	96
46 Curva de regressão quadrática da transferência de peso (kN) para todos os tratores. .	97
47 Curva de regressão quadrática da carga dinâmica (kN) para todos os tratores . . . . .	98
48 Curva de regressão quadrática do coeficiente de tração para todos os tratores . . . . .	100
49 Curva de regressão quadrática do rendimento na barra de tração para todos os tratores. ....	101

## LISTA DE TABELAS

	Página
1 Características técnicas dos tratores. ....	40
2 Valores médios de força de tração (kN) em todas inclinações avaliadas para os tratores T1 (89 kW), T2 (118 kW), T3 (132 kW) e T4 (158 kW).. ....	65
3 Valores médios de consumo horário (L.h <sup>-1</sup> ) em todas inclinações avaliadas para os tratores T1 (89 kW), T2 (118 kW), T3 (132 kW) e T4 (158 kW). ....	65
4 Valores médios de velocidade (km.h <sup>-1</sup> ) em todas inclinações avaliadas para os tratores T1 (89 kW), T2 (118 kW), T3 (132 kW) e T4 (158 kW). ....	66
5 Valores médios de patinagem dos rodados lado direito (%) em todas inclinações avaliadas para os tratores T1 (89 kW), T2 (118 kW), T3 (132 kW) e T4 (158 kW). .	67
6 Valores médios de patinagem dos rodados lado esquerdo (%) em todas inclinações avaliadas para os tratores T1 (89 kW), T2 (118 kW), T3 (132 kW) e T4 (158 kW). .	68
7 Valores médios de patinagem do trator (%) em todas inclinações avaliadas para os tratores T1 (89 kW), T2 (118 kW), T3 (132 kW) e T4 (158 kW). ....	68
8 Valores médios de potência na barra de tração (kW) em todas inclinações avaliadas para os tratores T1 (89 kW), T2 (118 kW), T3 (132 kW) e T4 (158 kW). ....	69
9 Valores médios de transferência de peso (kN) em todas inclinações avaliadas para os tratores T1 (89 kW), T2 (118 kW), T3 (132 kW) e T4 (158 kW). ....	70
10 Valores médios de carga dinâmica (kN) em todas inclinações avaliadas para os tratores T1 (89 kW), T2 (118 kW), T3 (132 kW) e T4 (158 kW). ....	71
11 Valores médios de coeficiente de tração (adimensional) em todas inclinações avaliadas para os tratores T1 (89 kW), T2 (118 kW), T3 (132 kW) e T4 (158 kW). .	72
12 Valores médios de rendimento de tração (adimensional) em todas inclinações avaliadas para os tratores T1 (89 kW), T2 (118 kW), T3 (132 kW) e T4 (158 kW). .	73
13 Equações de regressão quadrática dos resultados obtidos de força de tração (kN) para todas inclinações nas faixas de potência avaliadas. ....	75
14 Equações de regressão quadrática dos resultados obtidos de velocidade de deslocamento (km.h <sup>-1</sup> ) para todas inclinações nas faixas de potência avaliadas. ....	77

15	Equações de regressão quadrática dos resultados obtidos de patinagem dos rodados lado direito (%) para todas inclinações nas faixas de potência avaliadas. . . . .	78
16	Equações de regressão quadrática dos resultados obtidos de patinagem dos rodados lado esquerdo (%) para todas inclinações nas faixas de potência avaliadas. . . . .	80
17	Equações de regressão quadrática dos resultados obtidos de patinagem dos tratores (%) para todas inclinações nas faixas de potência avaliadas. . . . .	81
18	Equações de regressão quadrática dos resultados obtidos de potência na barra de tração (kW) para todas inclinações nas faixas de potência avaliadas. . . . .	83
19	Equações de regressão quadrática dos resultados obtidos de carga dinâmica (kN) para todas inclinações nas faixas de potência avaliadas. . . . .	84
20	Equações de regressão quadrática dos resultados obtidos de coeficiente de tração para todas inclinações nas faixas de potência avaliadas. . . . .	85
21	Equações de regressão quadrática dos resultados obtidos de rendimento de tração para todas inclinações nas faixas de potência avaliadas. . . . .	87
22	Equações de regressão quadrática da força de tração obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados. . . . .	89
23	Equações de regressão quadrática da velocidade de deslocamento obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados. . . . .	90
24	Equações de regressão quadrática da patinagem dos rodados lado direito obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados. . . . .	92
25	Equações de regressão quadrática da patinagem dos rodados lado esquerdo obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados. . . . .	93
26	Equações de regressão quadrática da patinagem dos rodados lado esquerdo obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados. . . . .	94
27	Equações de regressão quadrática da potência na barra de tração obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados. . . . .	96
28	Equações de regressão quadrática da transferência de peso obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados. . . . .	98
29	Equações de regressão quadrática da carga dinâmica obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados. . . . .	99

30	Equações de regressão quadrática do coeficiente de tração obtido nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados. . . . .	100
31	Equações de regressão quadrática do rendimento na barra de tração obtido nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados. . . . .	102

**LISTA DE SÍMBOLOS**

$a$  = Distância entre eixos de centro a centro dos rodados do trator (m);

$b$  = Distância do centro de gravidade do trator ao rodado traseiro (m);

$c$  = Distância do centro de gravidade do trator ao rodado dianteiro (m);

CG = Centro de gravidade do trator;

$P$  = Força aplicada na barra de tração do trator (kN);

$P$  = Profundidade de preparo ou distância entre o plano do terreno e o plano de apoio das rodados traseiros (m);

$R_1$  = Força de reação do plano de apoio ao rodado dianteiro do trator (kN);

$R_2$  = Força de reação do plano de apoio ao rodado traseiro do trator (kN);

$S$  = Distância de centro a centro dos rodados do trator (m);

$X_1$  = Distância entre eixos de centro a centro dos rodados do trator (m);

$Y$  = Distância vertical do plano de apoio ao centro de gravidade do trator (m);

$Y_1$  = Altura da barra de tração em relação ao plano de apoio (m);

$W$  = Força peso total aplicada no centro de gravidade do trator (kN);

$W_1$  = Força peso aplicada sobre o eixo traseiro do trator (kN);

$W_2$  = Força peso aplicada sobre o eixo dianteiro do trator (kN);

$W_h$  = Componente da força peso no eixo horizontal (kN);

$W_v$  = Componente da força peso no eixo vertical (kN);

$\alpha$  = Ângulo da rampa lateral;

$\alpha_1$  = Ângulo formado entre o plano de nível e o plano do terreno;

$\alpha_e$  = Ângulo formado entre o plano de nível e o plano de apoio dos rodados traseiros;

$\beta$  = Ângulo formado entre o plano do terreno e o plano de apoio dos rodados traseiros.

## 1. RESUMO

Os tratores como fonte de potência, para o tracionamento e/ou acionamento de máquinas e implementos agrícolas dão origem a conjuntos motomecanizados, os quais têm sido utilizados de forma crescente na agricultura brasileira. Apesar do grande avanço tecnológico o aumento do número de tratores agrícolas trouxe aspectos positivos e alguns negativos, entre estes últimos destaca-se o surgimento de uma nova fonte de acidentes de trabalho, cuja importância é dada pelos danos físicos que causam ao operador. Em estudos realizados, desde a década de 70 do século XX até os dias atuais, de 85% em média dos acidentes fatais, envolvendo tratores agrícolas, 70% são devidos a quedas laterais e 15% a quedas para trás.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi projetar e desenvolver um inclinômetro, o qual indica a inclinação do terreno, como sensor de segurança para tratores agrícolas com o intuito de evitar tombamentos laterais, para a preservação do operador e da máquina. Ainda como objetivo deste trabalho foi analisar o desempenho operacional, em uma pista inclinada lateralmente, dos tratores agrícolas avaliados para este trabalho.

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista, *Campus* de Botucatu, em uma pista de ensaio de máquinas, pertencente ao NEMPA (Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais), com 400 metros de comprimento e 20 metros de largura, sendo que a mesma possui uma pista lateral previamente construída. A inclinação da pista foi

de 0,3% no sentido do comprimento e niveladas na largura e a pista lateral apresentando uma declividade de 55,5%.

Foram utilizados quatro tratores 4x2 TDA (Tração Dianteira Auxiliar) com faixas de potência nominal no motor distintas entre si de 89, 118, 132 e 158 kW, avaliados em 6 inclinações laterais 0, 5, 10, 15, 20 e 25 graus, sendo selecionada uma marcha para cada trator, onde foi fixada para a inclinação de 0° a força de tração de 40,0 kN e rotação de trabalho do motor de cada trator correspondente à 540 rpm na TDP. A partir desta marcha selecionada e força pré-fixados, cada trator foi avaliado nas demais inclinações. Todos os tratores estavam equipados com pneus diagonais e lastrados conforme recomendação de fábrica. Os dados coletados para análise do desempenho operacional foram: força de tração, consumo horário de combustível, velocidade, patinagem, potência na barra de tração, transferência de peso, carga dinâmica, e inclinação. Foi utilizado um delineamento em blocos casualizados (DBC) com 6x4, sendo seis (6) inclinações e quatro (4) tratores, com um total de vinte e quatro (24) tratamentos e com três (3) repetições para cada tratamento.

Os resultados obtidos do centro de gravidade (CG), mostraram que nenhum dos tratores ultrapassou os seus respectivos ângulos operacional limite, porém, todos operaram acima de seus ângulos máximo limite, entretanto nenhum dos tratores avaliados demonstrou perigo de capotamento.

Conforme aumentaram as inclinações laterais, houve um decréscimo na força de tração média e um aumento significativo, 174,23% , na patinagem dos tratores. Os tratores T1 e T3 resultaram nos menores rendimentos de tração, ou seja, foram os tratores que perderam menos potência do motor para a barra de tração.

Segundo os resultados obtidos, os parâmetros força de tração e transferência de peso não foram estatisticamente significativos na análise de regressão para cada inclinação lateral entre as faixas de potência do motor avaliadas e o parâmetro consumo horário não foi estatisticamente significativo na análise de regressão para cada trator entre as faixas de inclinação lateral avaliadas.

## CONSTRUCTION OF AN INCLINOMETER TO EVALUATE THE EFFECT OF THE LATERAL STEEPNESS IN THE ACTING OF AGRICULTURAL TRACTORS

Tese (Doutorado Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: FABRÍCIO LEITE

Adviser: JOÃO EDUARDO GUARNETTI DOS SANTOS

Co-adviser: KLÉBER PEREIRA LANÇAS

### 2 SUMMARY

The tractors as potency source, for the traction and/or activate of machines and agricultural implements give origin to groups motor automated, which have been used in a growing way in the Brazilian agriculture. In spite of the great technological progress the increase of the number of agricultural tractors brought positive aspects and some negative, among these last ones he stands out the appearance of a new source of work accidents, whose importance is given by the physical damages that cause to the operator. In accomplished studies, since the decade of 70 of the century XX to the current days, of 85% on average of the fatal accidents, involving agricultural tractors, 70% are back due to lateral falls and 15% to falls.

Therefore the objective of this work was to project and to develop an inclinometer, which indicates the inclination of the land, as sensor of safety for agricultural tractors with the intention of avoiding lateral hollovers, through a resonant sign, for the preservation of the operator and of the machine. Still as objective of this work was to analyze the operational acting, in a sloping track sidelong, of the appraised agricultural tractors for this work.

The experiment was developed in Fazenda Experimental Lageado, belonging to University of Agronomic Sciences of the from São Paulo State University, Campus of Botucatu, in a track of rehearsal of machines, belonging to NEMPA (Nucleus of Rehearsal of Machines and Tires Agroforest), with 400 meters in length and 20 meters of width, and the same possesses a lateral track built previously. The steepness of the track was of 0,3% in the sense of the length and even in the width and the lateral track presenting a steepness of 55,5%.

Four tractors were used 4x2 TDA (Auxiliary Front drive) with strips of nominal potency in the different engine amongst themselves of 89, 118, 132 and 158 kW, appraised in 6 inclinations 0, 5, 10, 15, 20 and 25 degrees, being selected a march for each tractor, where it was fastened for the 0° inclination the force of traction of 40,0 kN and rotation of work of the engine of each tractor corresponding to 540 rpm in TDP. The starting from this selected march and force pre-fastened, each tractor was evaluated in the other inclinations. All of the tractors were equipped with diagonal tires and ballasted according to factory recommendation. The data collected for analysis of the operational acting were: traction force, hourly consumption of fuel, speed, skating, potency in the traction bar, weight transfer, dynamic load, and inclination. A delineate was used casualty block (DBC) with a 6x4, being six (6) inclinations and four (4) tractors, with a total of twenty-four (24) treatments and with three (3) repetitions for each treatment.

The obtained results of the center of gravity (CG), they showed that none of the tractors crossed their respective angles operational limit, however, all operated above their angles maximum limits, however none of the appraised tractors demonstrated hollover danger.

As they increased the lateral inclinations, there was a decrease in the force of medium traction and a significant increase, 174,23%, in the skating of the tractors. The tractors T1 and T3 obtained the smallest traction incomes, in other words, they were the tractors that lost less potency of the engine for the traction bar.

According to the obtained results, the parameters traction force and weight transfer they were not significant statistics in the regression analysis for each lateral inclination among the strips of potency of the engine evaluated and the parameter hourly consumption was not significant statistics in the regression analysis for each tractor among the strips of lateral inclination evaluated.

---

Keywords: Inclinometer, Safety, Performance of tractors.

### 3 INTRODUÇÃO

Segundo dados apresentados pela ANFAVEA (2007), o Brasil passou de uma frota de tratores agrícolas pouco superior a 60.000 unidades em 1960 para quase 340.000 unidades em 2006, o que demonstra a crescente utilização destas máquinas. O aumento do número de conjuntos tratorizados trouxe alguns aspectos negativos, entre os quais se destaca o surgimento de uma nova fonte de acidentes de trabalho, cuja importância é dada pelos danos físicos que causam ao operador.

Acidentes envolvendo máquinas agrícolas com graves conseqüências ao agricultor são comuns no meio rural, apesar de pouco divulgados e de raras estatísticas sobre o assunto. Vários são os fatores potenciais de risco: falta de conhecimento, falta de atenção, operações em terrenos inclinados, velocidades operacionais altas, despreparo do operador. Estudos sobre acidentes com tratores, indicam que a maioria dos acidentes fatais envolvendo tratores, é devido ao empinamento da máquina e tombamentos laterais.

Há vários estudos sobre estabilidade estática de tratores, como a avaliação do centro de gravidade (CG) dos tratores agrícolas, e sendo estes estudos o desenvolvimento de tratores em condições estáticas, entretanto, os tratores são utilizados para trabalharem tracionando e/ou acionando máquinas e implementos em terrenos acidentados, em operações de cultivo da lavoura, tratamentos fitossanitários, colheita e outros, o que para isso necessitam de um vão livre com relação ao solo mais alto, quando comparado com os demais veículos automotores. Isto os tornam mais susceptíveis a tombamentos. Todavia, poucos são os estudos feitos com relação a equipamentos ou sensores de segurança para as condições de

estabilidade em situação dinâmica, ou seja, sensores que indiquem que o trator está na iminência de capotar, ou sobre o seu desempenho operacional em terrenos inclinados.

Existem no mercado equipamentos chamados de inclinômetro que medem a inclinação de um terreno, estabilidade de barragens, ou até para direcionar com precisão veículos espaciais. Estes equipamentos são considerados como rastreadores sem fontes ou sem referencial ou rastreadores inerciais, que medem inclinações a partir de uma posição inicial. O inclinômetro também é encontrado em veículos off-road (veículos especiais fora de estrada), que indica para o piloto a inclinação do terreno e se é possível vencer tal obstáculo.

Por outro lado, o desempenho operacional de tratores agrícolas diminui quando operam em terrenos inclinados, pois, o centro de gravidade destas máquinas é alterado, onde a força normal e de direção geocêntrica direciona-se mais para um dos pontos de apoio da máquina, desequilibrando todo o conjunto, com isto, podendo aumentar a patinação dos rodados, o consumo de combustível, diminuindo a força de tração e conseqüentemente a potência disponível na barra de tração, entre outros parâmetros de desempenho de tratores agrícolas.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho dinâmico de tratores agrícolas com a utilização de um inclinômetro, para que este se torne um item de grande utilidade na segurança de operadores de tratores agrícolas, bem como avaliar e correlacionar as condições de desempenho operacional dos tratores agrícolas em terrenos com inclinação lateral.

## **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 Acidentes rurais**

Uma das principais consequências da modernização da agricultura brasileira foi a substituição progressiva do trabalho manual pelo trabalho mecanizado. A introdução de instrumentos e insumos modernos nas tarefas agrícolas, além de aumentar a produtividade e diminuir os custos de produção, ampliou significativamente os tipos de acidentes de trabalho a que estão sujeitos os trabalhadores rurais (RODRIGUES e DA SILVA, 1986). Se antes os acidentes de trabalho no meio rural estavam restritos basicamente a quedas, ferimentos com ferramentas de trabalho (enxada, facão) e envenenamentos causados por animais peçonhentos, a manipulação de agrotóxicos e a utilização intensa de máquinas agrícolas, ampliou consideravelmente os riscos a que estão sujeitos os trabalhadores rurais em seu trabalho diário (SCHLOSSER et al., 2002). O trator agrícola é, sem dúvida, umas das máquinas mais importantes na agricultura moderna, mas é também, umas das mais perigosas quando não utilizadas de forma conveniente e segura (SANTOS, 2004).

Segundo o artigo, 131 do Decreto nº 2172 de 05 de março de 1997, acidente de trabalho no meio rural é o que ocorre na realização do trabalho rural, a serviço do empregador, provocando lesão corporal, perturbação funcional ou doença que cause a morte ou redução permanente ou temporária da capacidade para o trabalho. De uma maneira geral, conforme expõem Zóccchio (1971) e Santos (2004), o acidente de trabalho no meio rural pode ser considerado como sendo todo o acontecimento que não esteja programado e que

interrompa, por pouco ou muito tempo, a realização de um serviço, provocando perda de tempo, danos materiais e/ou lesão corporal. Neste sentido, o acidente é considerado grave quando resulta no afastamento do trabalhador rural de sua atividade produtiva por um período igual ou superior a 15 dias (SANTOS, 2004).

As causas dos acidentes com conjuntos tratorizados são definidas como sendo as condições ou atitudes inseguras que, se corrigidas a tempo, teriam evitado o acidente (SCHLOSSER e DEBIASI, 2001). O ato inseguro, conforme Zócchio (1971) e Cutuli et al. (1977), é a maneira como as pessoas se expõem, consciente ou inconscientemente, a acidentes. Condições inseguras, segundo os mesmos autores, são as características do meio onde o trabalho é executado que comprometem a segurança do trabalhador. Vários estudos têm indicado que, aproximadamente, 15 e 85% dos acidentes, respectivamente, são causados por condições e atos inseguros, independentemente do setor produtivo considerado (CUTULI et al., 1977; MÁRQUEZ, 1990; SCHLOSSER e DEBIASI, 2001; SANTOS 2004).

Segundo Santos (2004), do total de acidentes fatais ocorridos com operadores de tratores agrícolas, 80% são devidos à falhas humanas (atos inseguros) e 20 % a problemas mecânicos (condições inseguras). Os atos inseguros que mais provocam acidentes são a incapacidade ou ignorância ao perigo (40%); velocidade excessiva (21%); falta de atenção do operador (19%).

De acordo com Márquez (1986), na Espanha e nos demais países europeus, aproximadamente 40% do total de acidentes ocorridos no setor agrícola envolvem máquinas agrícolas e, destes, metade é devido ao uso do trator agrícola. Em uma pesquisa de caracterização dos acidentes graves no trabalho rural, realizada no Estado de São Paulo, Silva e Furlani Neto (1999) concluíram que o trator, a moto-serra, as máquinas e equipamentos agrícolas encontram-se envolvidos, na maior parte dos acidentes graves ocorridos.

Os prejuízos econômicos e sociais advindos dos acidentes com tratores agrícolas também são bastante elevados. Estes ocorrem tanto em termos de danos físicos ao operador como em termos financeiros, para o Estado, sociedade em geral e para o próprio acidentado (SCHLOSSER et al., 2002).

No que se refere aos danos físicos aos trabalhadores, Márquez (1986) explica que mais de 60% das mortes ocorridas em acidentes de trabalho no setor agrícola são consequência da mecanização agrícola. A gravidade dos acidentes com tratores agrícolas é

confirmada por Field (2000), que evidenciou estes resultados em trabalhos realizados no Estado de Indiana, nos Estados Unidos da América, onde encontrou dados demonstrando que entre 500 e 600 pessoas morrem a cada ano naquele Estado, em função de acidentes com tratores agrícolas e que a cada pessoa morta, outras 40, no mínimo, são feridas.

Em relação aos custos financeiros dos acidentes, Monk et al. (1986) expõem que os gastos anuais com os acidentes de trabalho na agricultura, para a economia britânica chegam à cifra de 94 milhões de dólares por ano. Os dados obtidos por Márquez (1990) reforçam a magnitude dos custos destes acidentes. Segundo o autor, o ônus dos acidentes na Europa chega a aproximadamente 5 bilhões de dólares.

Conforme Gerberich et al. (1992), dados do Conselho Nacional de Segurança dos Estados Unidos mostraram uma taxa de acidentes com vítimas fatais na agricultura de 40 mortes para cada 100.000 trabalhadores, enquanto a taxa para todas as outras ocupações de trabalho é de 9 mortes para cada 100.000 trabalhadores.

Segundo Santos (2004) ao analisar o tipo de acidente mais comum devido o uso de tratores agrícolas, 70% é devido à queda lateral do veículo; 15% queda para trás (empinamento); 5,5% queda do operador de trator; 3% choque com outro veículo; 5,5% acidentes com o próprio trator; 0,5% devido a implementos de arrasto ou reboque e 0,5% devido a acidentes com implementos levantados.

No Estado de São Paulo, durante o ano agrícola de 1975/1976, registrou-se um total de 110,7 mil acidentes de trabalho ocorridos em 28,3 mil propriedades agrícolas, sendo que 13,7 mil acidentes foram causados pelo uso de tratores e máquinas agrícolas, resultando na morte de duas mil pessoas (ROBIN, 1987). Sessenta por cento dos acidentes são causados por tombamentos de tratores (DELGADO, 1991).

Corrêa e Ramos (2003) relatam que, a imprudência, o excesso de confiança e a falta de treinamento são as principais causas de acidentes. Segundo os autores, em um levantamento realizado no Estado de São Paulo no ano de 2001, do total de pessoas envolvidas em acidentes 55,6% tinham mais de 10 anos na função de operadores de máquinas e 22,22% do total de entrevistados, participaram de cursos formais de treinamento.

Delgado (1991), estudou acidentes ocorridos com a utilização de tratores agrícolas e verificou que em acidentes fatais ocorridos por mecanização na Alemanha em 1954, 60% foram por tombamentos laterais de tratores. Com o emprego de equipamento de

proteção em tratores contra tombamentos EPCC (Estrutura de Proteção Contra Capotagem), em um período de 10 anos, diminuiu em 50% o número de mortes causadas pela utilização de tratores. O autor relatou também que, metade dos acidentes de tombamento ocorridos em tratores sem estrutura de proteção é fatal.

Conforme Comer et al. (2003), o número de acidentes na agricultura é maior do que nas indústrias e são principalmente ocasionados pelo capotamento de tratores durante operações normais no campo.

A cada ano, aproximadamente 250 pessoas são mortas em acidentes com trator nos Estados Unidos da América (NIOSHI, 2004), constituindo em mais de um terço de todas as fatalidades relatadas durante a produção agrícola, a maioria dos acidentes fatais envolveram tratores sem estrutura de proteção (ARANA et al., 2002).

Entretanto, 200 mortes por ano nos Estados Unidos da América envolveram operadores que não utilizavam cintos de segurança em capotamentos de tratores sem estrutura de proteção, enquanto na Europa foi observada uma redução em fatalidades pelo próprio uso da estrutura de proteção contra capotamento (REYNOLDS e GROOVES, 2000).

Segundo Day (1999), em um estudo realizado na Austrália no período de 1985 à 1996, o trator foi o tipo mais comum de incidentes fatais no meio rural, 72% do total de incidentes fatais, sendo 61% devido ao tombamento lateral dos tratores.

Conforme HSE (2004), em um levantamento sobre acidentes fatais na Grã-Bretanha, o número de capotamentos com tratores aumentou de 22% no ano de 1994 para 33% no ano de 2003.

Segundo Webster e Meringer (2003) a maquinaria agrícola foi responsável por 18,5% dos acidentes da agricultura no Estado de Utah (EUA), estando o trator envolvido em 26% dos casos com máquinas agrícolas, enquanto, Iowa (2003) menciona que os tratores estavam envolvidos em 53% dos acidentes agrícolas fatais ocorridos no Estado de Iowa (EUA).

Conforme BLS (2005) em um censo ocorrido, nos Estados Unidos da América, no ano de 2005 sobre lesões fatais no meio profissional, o trator foi a fonte primária de mortes, com 219 trabalhadores para um total de 770 trabalhadores que sofreram lesões fatais com máquinas em geral. Ainda segundo o mesmo censo, entre os anos de 1992 à 2000, 1894 trabalhadores agrícolas morreram por causa dos tratores, sendo que, 991 destes morreram

devido ao capotamento dos tratores. A maioria destas mortes, envolveu agricultores e trabalhadores rurais com idade acima de 55 anos.

#### **4.2 Estabilidade de tratores agrícolas**

Segundo Hunter (1992), o trator, que ocupa um lugar de destaque no maquinário agrícola, pelo fato de operar em terrenos muitas vezes acidentados, faz com que os limites de segurança sejam facilmente atingidos.

O conhecimento do limite de estabilidade de tratores é de grande importância na segurança das operações agrícolas, a fim de se evitarem acidentes fatais, que ocorrem, principalmente, quando a instabilidade do trator provoca um tombamento lateral (KHOURY JUNIOR et al., 2004). Conforme Mialhe (1980), o estudo das forças em equilíbrio que agem sobre o chassi do trator ajuda na compreensão do desempenho dessas máquinas em sua utilização no campo.

Segundo Mialhe (1996), nomeia-se limites de estabilidade às condições do plano de apoio que permitem o funcionamento estável do espécime, sem sobrecarga dos rodados (principalmente quando pneumáticos) e risco de tombamento, deslocando-se a velocidades normais para realização de operação agrícola. O autor relata ainda que, a avaliação do limite de estabilidade para um dado espécime é sempre referido à uma dada condição de operação, de maneira que máquinas/implementos montados são necessariamente considerados acoplados ao trator (especificado pelo fabricante) e em condições de transporte. Assim, um trator isoladamente poderá mostrar atributos de estabilidade diferente do verificado ao integrar um sistema tratorizado, quando lhe é acoplada uma máquina ou implemento.

Há dois critérios, segundo Mialhe (1980), para se avaliar os limites de estabilidade de máquinas/implementos: a) critério “de pneus” e b) critério “de instabilidade”. De acordo com o primeiro critério, a avaliação visa determinar as condições estáticas limites em função da capacidade de suporte de carga dos pneus que equipam o espécime sob análise. De acordo com o segundo critério, as condições limites são aquelas que determinam instabilidade do espécime em operação, comprometendo o manejo e o pleno desempenho, com segurança.

Quanto maior for a velocidade de deslocamento, mais intensamente se manifesta a ação dos processos dinâmicos, que podem provocar o tombamento lateral de uma máquina. Por isso, recomenda-se que a inclinação do terreno, que interfere na estabilidade dinâmica durante a realização de uma operação, esteja entre 40% e 60% da inclinação-limite máxima determinada em condição estática (CHUDAKOV, 1977; MIALHE, 1980).

Smith e Liljedahl (1972) mostraram que dos tombamentos de tratores analisados, 67% se referem a tombamentos laterais e 33% nos empinamentos. No entanto, dados do Conselho de Segurança Nacional dos Estados Unidos informam que o empinamento tem maior facilidade de apresentar vítima fatal que o tombamento lateral (SMITH e LILJEDAHN, 1972).

Conforme Corrêa e Ramos (2003), os acidentes relatados em um levantamento realizado no Estado de São Paulo, no ano de 2001, estes são geralmente associados ao uso de máquinas agrícolas, estando o trator envolvido em mais da metade dos casos (60,5%), sendo expressivo o índice de tombamentos de tratores agrícolas (28,93% em relação ao total de casos de acidentes e 47,83% em relação ao total de casos com tratores).

### **4.3 Tipos de capotamentos**

Apesar dos conceitos básicos sobre estabilidade de tratores datarem da década de 20, conforme Kim e Rehkugler (1987), somente a partir da década de 60 houve um incremento significativo no estudo da dinâmica do trator e sua estabilidade. Segundo os autores, o trator normalmente opera em diferentes tipos de terreno e condições de trabalho; por isso as publicações sobre a dinâmica do trator e estabilidade estudam o seu comportamento sob várias condições de operação.

Conforme Kim e Rehkugler (1987) os capotamentos de tratores podem ser classificados em duas categorias principais: tombamento lateral e empinamento.

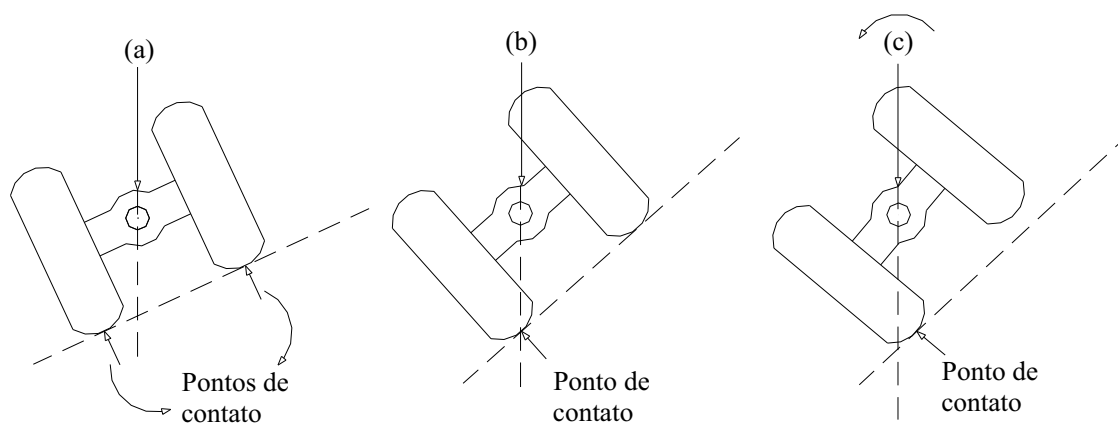
### 4.3.1 Tombamento lateral

De acordo com Kim e Rehkugler (1987), apesar do tombamento lateral do trator poder ser causado por um movimento brusco em terreno nivelado em alta velocidade, ele ocorre mais facilmente em terrenos inclinados.

Segundo Smith e Liljedahl (1972), o tombamento lateral de um trator agrícola convencional ocorre em duas etapas:

1. O trator inicia o tombamento lateral em torno da linha que passa pelo pino central do eixo dianteiro e o ponto de contato de uma das rodas traseiras com o plano de apoio.
2. O trator gira em torno da linha que liga os pontos de contato das duas rodas de mesmo lado com o plano de apoio.

Promersberger e Bishop. (1962) ao analisarem sob o ponto de vista geométrico o tombamento lateral, relatam que, quando a linha de ação da força vertical relativa a massa e que atua no CG, passa entre os pontos de contato das rodas com o plano de apoio, o trator não tomba. Ocorre o tombamento quando aquela linha passar fora dos pontos de contato entre as rodas e o plano de apoio, apresentado na Figura 1.



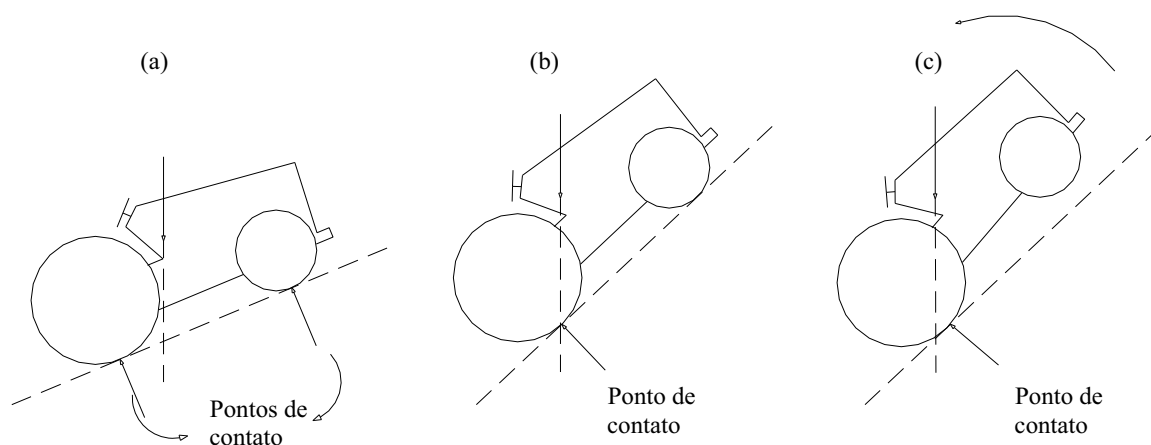
**Figura 1** - (a) situação de não tombamento (b) iminência de tombamento e (c) tombamento

Na Figura 1 (a), a linha de ação da força-peso passa entre os pontos de contato das rodas com o plano de apoio. Nessas condições o trator não tomba. Na Figura 1 (b), a linha de ação da força-peso passa no ponto de contato de uma das rodas com o plano de

apoio. O trator está na iminência de tombar. Na Figura 1 (c), a linha de ação da força-peso passa fora do ponto de contato da roda com o plano de apoio. O trator tomba.

### 4.3.2 Empinamento

Promersberger e Bishop (1962), fazem uma análise geométrica relativa nos casos do trator empinar, não empinar, ou estar na iminência de empinar. Através da Figura 2 pode-se observar os casos citados pelo autor. Na Figura 2 (a), a linha de ação da força-peso aplicada no CG, passa entre os pontos de contato das rodas com o plano de apoio, onde o trator não empina. Na Figura 2 (b), a linha de ação da força-peso passa no ponto de contato da roda com o plano de apoio, onde o trator está na iminência de empinar.



**Figura 2** - (a) situação de não empinamento (b) iminência de empinamento e (c) empinamento.

Na Figura 2 (c), a linha de ação da força-peso passa fora dos pontos de contato das rodas com o plano de apoio. O trator empina. Para Chudakov (1977), existem alguns meios disponíveis para aumentar a estabilidade longitudinal dos tratores e melhorar a sua dirigibilidade, como por exemplo:

- a) lastramento frontal do trator;
- b) aumento, quando possível, da distância entre os eixos, especialmente no caso em que esse aumento ocasionar uma cota mais baixa do CG do conjunto (trator e implemento).

Ainda, segundo Chudakov (1977), é recomendável que de 15% a 20% do peso total do trator permaneça na sua parte frontal. Isso permite manter a sua dirigibilidade.

De acordo com Barger et al. (1966), a estabilidade longitudinal de um trator importa por, no mínimo, duas razões fundamentais: primeiro, pelo perigo à vida e ao equipamento se o trator se torna instável e capota, e segundo pela variação nas relações entre as reações de apoio do solo nas rodas dianteiras e traseiras.

Ainda segundo os mesmos autores, o perigo da capotagem pode ser reduzido por um ou mais dos meios seguintes: localização apropriada do centro de gravidade; localização adequada do engate em relação ao implemento e ao trator; manejo cuidadoso.

#### **4.4 Condições de equilíbrio estático**

##### **4.4.1 Determinação do centro de gravidade**

Segundo Mialhe (1980), considerando o trator no espaço como um corpo livre, por estar sujeito ao campo gravitacional da Terra, passa a atuar no trator uma força,  $W$ , denominada peso, cujo ponto de aplicação é o denominado centro de gravidade, CG. A fim de satisfazer a condição de equilíbrio estático, é necessário aplicar uma força reativa, equilibrante de seu peso, onde esta é exercida pelos apoios ou rodas do trator.

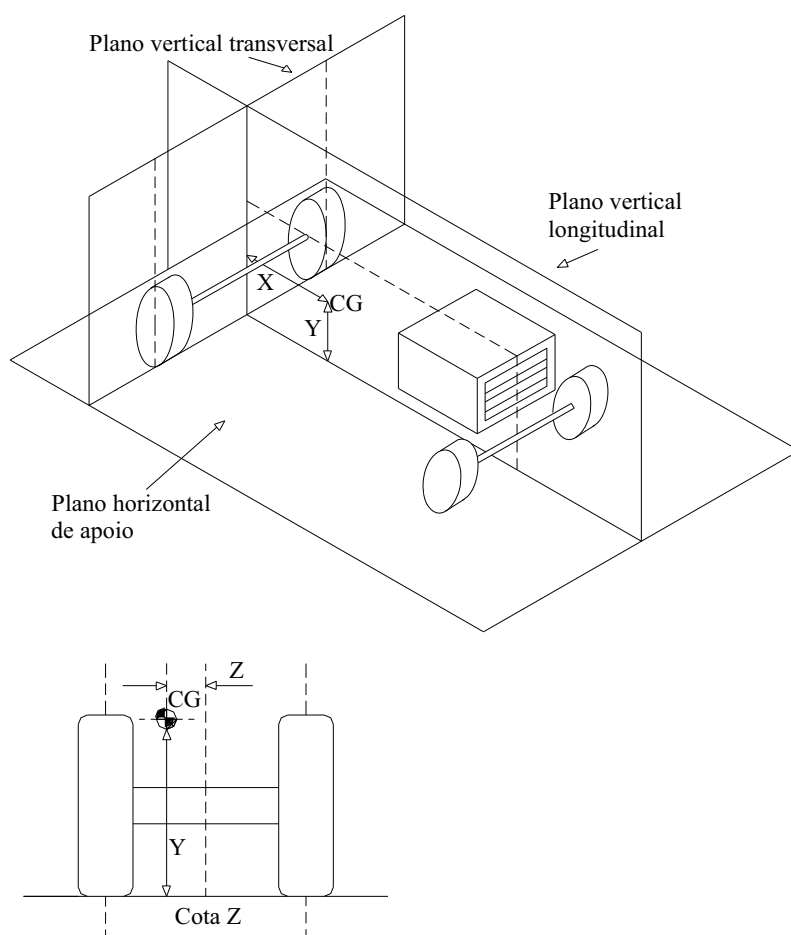
De acordo com Chudakov (1977) e Mialhe (1980) o Centro de Gravidade (CG) é o ponto da máquina onde se aplica o seu peso, cuja direção da força é normal à superfície da Terra e de direção geocêntrica. Sua magnitude depende da aceleração da gravidade e da massa do corpo em questão.

Conforme Barger et al. (1966) e Mialhe (1980), para se definir a posição do Centro de Gravidade (CG) é necessário referi-lo a um triedro constituído de um plano horizontal em nível e de dois planos verticais, um longitudinal e outro transversal. Desta configuração, resulta que, a posição do centro de gravidade é definida por três cotas:

- Cota vertical: representada pela letra  $y$  e expressa em milímetros; é a distância do CG ao plano horizontal de apoio, tomada na perpendicular entre o CG e este plano.
- Cota horizontal longitudinal: representada pela letra  $x$  e expressa em milímetros; é a distância do CG ao plano vertical transversal do triedro.

- Cota horizontal transversal: representada pela letra  $z$  e expressa em milímetros; é a distância do CG ao plano vertical longitudinal do triedro.

A Figura 3 ilustra esse critério de posicionamento do trator no triedro de referência, conforme Mialhe (1980).

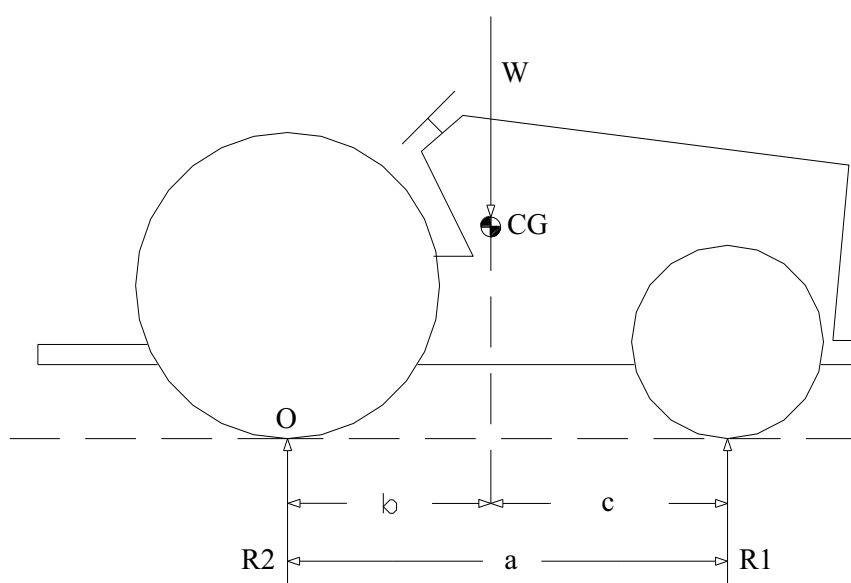


**Figura 3** – Triedro de referência (Fonte: Mialhe, 1980).

Este critério, conforme os mesmos autores, embora convencionalizado para tratores, poderá ser adotado para outros veículos automotores destinados a fins agrícolas, para máquinas automotrizes (com a ressalva de que as rodas motrizes, geralmente, são frontais) e, inclusive, para veículos de transporte não-automotores (caso de carretas de duas e quatro rodas).

#### 4.4.2 Equilíbrio estático longitudinal - trator em nível

Barger et al. (1966) e Mialhe (1980), consideram o trator como um corpo livre, com sua força-peso atuando no CG e com as forças equilibrantes exercidas nas rodas do trator, conforme mostra a Figura 4.



**Figura 4.** Equilíbrio estático longitudinal do trator em nível.

As condições de equilíbrio do trator em nível apresentam as seguintes forças de ação e reação, conforme Equação 1.

$$R_1 + R_2 = W \quad (1)$$

O somatório dos momentos com relação ao ponto O, contato entre o rodado traseiro e o plano de apoio, resultam a Equação 2.

$$\begin{aligned} W \cdot b - R_1 \cdot a &= 0 \\ W \cdot b &= R_1 \cdot a \end{aligned} \quad (2)$$

Observando na Figura (4) que  $a = b + c$ , substituindo então a equação (1) na equação (2) encontra-se a Equação 3.

$$\begin{aligned} (R_1 + R_2) \cdot b &= R_1 \cdot (b + c) \\ R_2 \cdot b &= R_1 \cdot c \end{aligned} \quad (3)$$

Através da equação (4), encontra-se a força de reação do rodado dianteiro do trator.

$$R_1 = W \cdot \frac{b}{a} \quad (4)$$

Substituindo-se a equação (4) na equação (3), obtém-se a força de reação do rodado traseiro do trator.

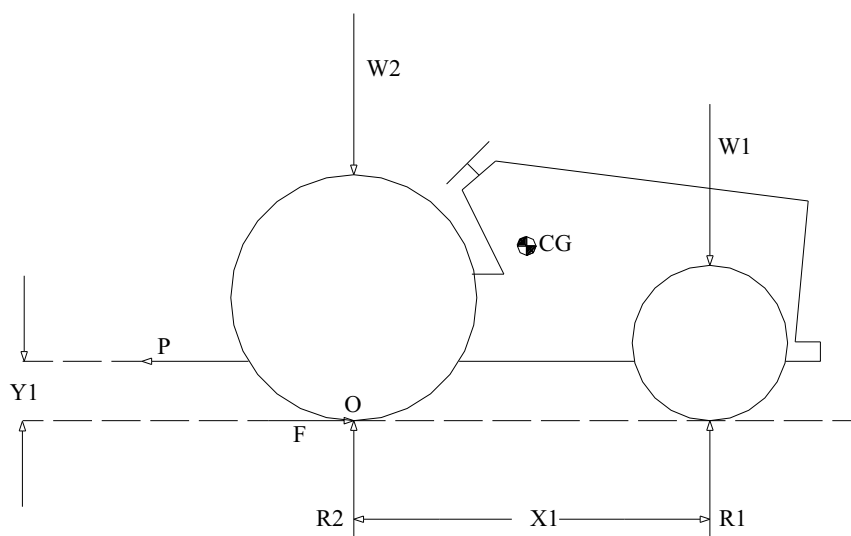
$$R_2 = W \cdot \frac{c}{a} \quad (5)$$

#### **4.4.3 Equilíbrio estático com o trator em nível e com uma força paralela ao solo, aplicada na barra de tração**

Para um estudo inicial das relações entre as forças mais importantes que atuam sobre um trator agrícola, sob condições normais de trabalho, algumas hipóteses simplificadoras são introduzidas por Barger et al. (1966), entre as quais:

- a) Os contatos das rodas com o solo são considerados pontos;
- b) A força aplicada na barra de tração é paralela ao solo;
- c) O trator está em terreno nivelado;
- d) A força devida ao trator é horizontal e aplicada no ponto que a roda traseira toca o plano de apoio.

Na Figura 5, pode-se observar as forças que atuam sobre um trator agrícola, quando aplicada uma força paralela ao solo na barra de tração.



**Figura 5.** Força paralela ao solo aplicada na barra de tração.

Ao considerar o trator como um corpo livre, tem-se a força do trator para deslocar, representado por (F), sendo contrária a força aplicada na barra de tração (P), conforme equação (6).

$$F - P = 0 \quad (6)$$

As condições de equilíbrio de um trator com força paralela ao plano de apoio, aplicada na barra de tração, fornecem as forças de ação e reação conforme a equação (7).

$$R_1 + R_2 - W_1 - W_2 = 0 \quad (7)$$

Além disso o somatório dos momentos com relação a qualquer eixo deve ser nulo. Ao considerar o eixo pelo ponto de contato (O) do rodado traseiro com o solo, Barger et al. (1966) mostraram a partir da equação (8) a força de reação do rodado traseiro.

$$\begin{aligned} W_2 \cdot X_1 - P \cdot Y_1 - R_2 \cdot X_1 &= 0 \\ R_2 &= W_2 - P \cdot \frac{Y_1}{X_1} \end{aligned} \quad (8)$$

Substituindo-se a equação de reação do rodado traseiro (8) na equação (7) do somatório de forças de equilíbrio do trator com força paralela ao plano de apoio, obtém-se a Equação 9.

$$R_1 + W_2 - P \cdot \frac{Y_1}{X_1} - W_1 - W_2 = 0 \quad (9)$$

Desta forma, isolando  $R_1$  do restante da equação (9), encontra-se a força de reação do rodado dianteiro do trator, conforme equação (10).

$$R_1 = W_1 + P \cdot \frac{Y_1}{X_1} \quad (10)$$

A parcela  $P \cdot \frac{Y_1}{X_1}$  observada nas equações (8) e na equação (10) é chamada “transferência de peso”.

Quando  $R_1 = 0$ , significa que não existe nenhuma reação do solo na parte frontal, portanto, o trator está prestes a empinar.

Nessas condições, através da equação (8) encontra-se a força (P) aplicada na barra de tração e paralela ao solo, conforme equação (11).

$$\begin{aligned} W_2 - P \cdot \frac{Y_1}{X_1} &= 0 \\ P &= \frac{W_2 \cdot X_1}{Y_1} \end{aligned} \quad (11)$$

Não há, segundo Barger et al. (1966), realmente uma transferência de peso, mas sim uma mudança nas reações  $R_1$  e  $R_2$  do solo.

A equação (11) mostra que o trator fica mais estável quando aumenta-se  $X_1$ , distância entre eixos, ou diminui-se  $Y_1$ , altura do CG, desde que isso não prejudique o desempenho do trator.

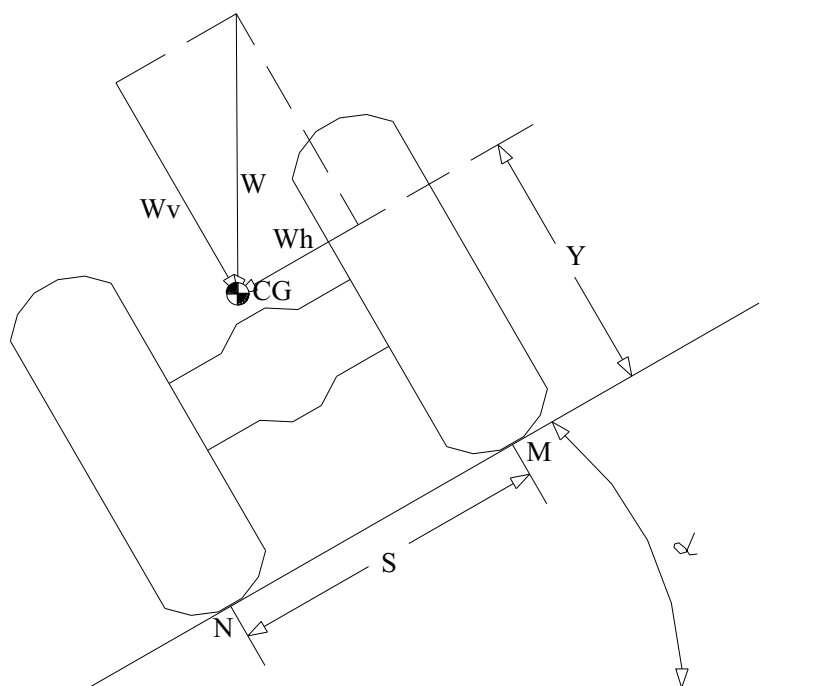
Segundo Mialhe (1980), deverá haver um valor limite de segurança para a magnitude da transferência de peso e cita a ISO Recommendation n.942-ISO/TC22T.166E de dezembro de 1965 a qual estabelece:

$$P \cdot \frac{Y_1}{X_1} \leq 0,8 \cdot W_2$$

significando que no mínimo 20% do peso dianteiro inicial deverá permanecer no eixo dianteiro.

#### 4.4.4 Forças em equilíbrio estático – tombamento lateral

Chudakov (1977) e Mialhe (1980), consideram um trator, visto de sua parte posterior sobre um plano inclinado, admitindo que o CG está no plano vertical longitudinal do trator, conforme mostra a Figura 6.



**Figura 6.** Equilíbrio estático – tombamento lateral.

Chamando  $\alpha$  o ângulo da rampa, conforme definem Chudakov (1977) e Mialhe (1980), declividade do plano de apoio como sendo a tangente desse ângulo, a qual, dada é em forma de porcentagem, conforme equação (12):

$$d = (\text{tg } \alpha) \cdot 100\% \quad (12)$$

Considerando as componentes da força-peso, normal e paralela ao plano de apoio, obtém-se, respectivamente, a componente força-peso no eixo vertical e a componente força-peso no eixo horizontal, conforme equações (13) e (14), respectivamente.

$$W_v = W \cdot \cos \alpha \quad (13)$$

$$W_h = W \cdot \text{sen } \alpha \quad (14)$$

Consideram, ainda segundo o mesmos autores, que o somatório dos momentos das forças aplicadas ao trator em rampa lateral seja em relação ao ponto N, conforme equação (15)

$$\begin{aligned} W_v.Z - W_h.Y &= 0 \\ W_v.Z &= W_h.Y \end{aligned} \quad (15)$$

Substituindo-se a componente da força-peso no eixo vertical, equação(13), e a componente da força-peso no eixo horizontal, equação (14), na equação (15) obtém-se a equação (16).

$$(W.\cos \alpha) . Z = (W.\sen \alpha) . Y \quad (16)$$

Como a cota  $Z = \frac{S}{2}$ , pois o CG foi considerado no plano vertical longitudinal do trator, conforme Figura 3, substituindo-se na equação (16) encontra-se a tangente do ângulo  $\alpha$ , conforme equação (17):

$$\begin{aligned} \frac{S}{2} . (W.\cos \alpha) &= Y . (W.\sen \alpha) \\ \frac{S}{2.Y} &= \frac{W.\sen \alpha}{W.\cos \alpha} \\ \frac{S}{2.Y} &= \text{tg} \alpha \end{aligned} \quad (17)$$

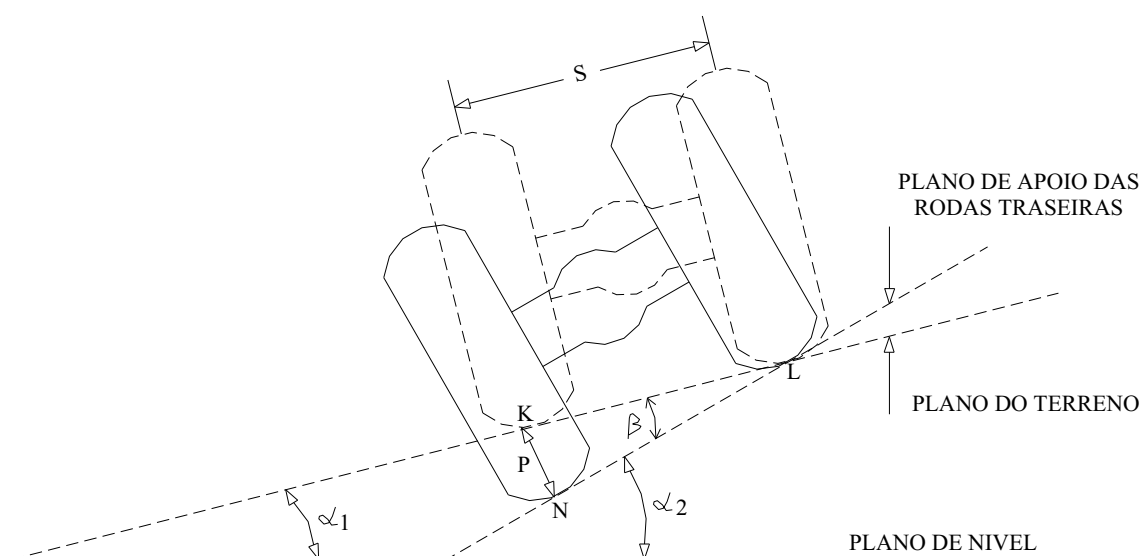
Substituindo-se a equação (17) que é a tangente do ângulo  $\alpha$  na equação (12), obtém-se a declividade máxima (%) em que o trator pode trafegar, conforme equação (18).

$$d(\text{máx}) = \frac{S}{2 * Y} * 100 \quad (18)$$

Segundo Chudakov (1977) e Mialhe (1980), o equilíbrio estático lateral do trator ocorre quando a declividade do plano de apoio for, no máximo, igual ao segundo membro da equação (18), e que ao ultrapassar esse limite, o trator tomba lateralmente.

Na prática, relatam os mesmos autores, muito antes de atingida essa declividade o trator corre sérios riscos de tombar, e que, por isso, há necessidade de se estabelecer uma equação que forneça uma declividade operacional limite do terreno.

Para tanto Mialhe (1980), conceitua a idéia de declividade operacional limite, considerando um trator operando com a roda no interior do sulco, conforme mostra a Figura 7.



**Figura 7.** Declividade operacional limite.

Considerando que o triângulo NKL seja retângulo, entre o plano de apoio das rodas traseiras e o plano do terreno, tem-se a tangente do ângulo  $\beta$ , ângulo formado entre os dois planos, conforme equação (19).

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{P}{S} \quad (19)$$

Além disso, a Figura 7 mostra que o  $\alpha_1$  ângulo formado entre o plano de nível e o plano do terreno é o somatório entre os ângulos  $\alpha_e$ , ângulo formado entre o plano de

nível e o plano de apoio das rodas traseiras, e ângulo  $\beta$ , ângulo formado entre o plano do terreno e o plano de apoio das rodas traseiras, conforme equação (20).

$$\alpha_2 = \alpha_1 + \beta \quad (20)$$

Segundo equação (18) a declividade do plano de apoio ( $d_{pa}$ ) é dada por:

$$d_{pa} = \text{tg } \alpha_2 \quad (21)$$

Através da equação (20) tem-se que:

$$\begin{aligned} \text{tg } \alpha_2 &= \text{tg } (\alpha_1 + \beta) \\ \text{tg } \alpha_2 &= \frac{\text{tg } \alpha_1 + \text{tg } \beta}{1 - \text{tg } \alpha_1 \cdot \text{tg } \beta} \end{aligned} \quad (22)$$

Encontrando o valor de  $\text{tg } \alpha_1$  obtém-se:

$$\text{tg } \alpha_1 = \frac{\text{tg } \alpha_2 - \text{tg } \beta}{\text{tg } \alpha_2 \cdot \text{tg } \beta + 1} \quad (23)$$

Substituindo a equação (19) e equação (21) na equação (23) e considerando-se que  $\text{tg } \alpha_1$  representa a declividade operacional limite ( $dl$ ) do terreno, encontra-se da equação (24) a declividade limite em que o trator pode operar, onde  $P$  representa a profundidade em que a roda do trator trafega em uma operação de preparo do solo, mais ou menos 30 cm de profundidade.

$$dl = \frac{d_{pa} - \frac{P}{S}}{d_{pa} \cdot \frac{P}{S} + 1} \quad (24)$$

Multiplicando-se o numerador e o denominador da equação (24) por  $S$ , que é a distância entre os rodados de centro a centro, obtém-se:

$$dl = \frac{S.d_{pa} - P}{P.d_{pa} + S} \quad (25)$$

Nas condições de equilíbrio estático lateral, pela equação (11) o valor de  $d_{pa}$  será:

$$d_{pa} = \frac{S}{2.Y} \quad (26)$$

Portanto, a equação (25) representa finalmente a declividade operacional limite em que o trator pode operar, conforme equação (27).

$$dl = \frac{\frac{S^2}{2.Y} - P}{\frac{P.S}{2.Y} + S} \quad (27)$$

Como norma de segurança, Chudakov (1977) e Mialhe (1980) recomendam como limite máximo de declividade do terreno, seja o valor da metade do ângulo correspondente a declividade limite operacional ( $dl$ ) na equação (27).

Catâneo (1988) comenta que a troca da menor pela maior bitola aumenta em torno de 30% a declividade do plano de apoio médio, para tratores 4 x 2. No entanto, a utilização de lastros não afeta as declividades médias e nem as declividades operacionais médias dos planos de apoio para as condições de equilíbrio estático lateral. Segundo o mesmo autor, a troca da menor pela maior bitola aumenta o limite da declividade operacional máxima média em torno de 10% para tratores 4 x 2 simples. Assim sendo, conclui que o aumento da bitola é uma prática mais recomendável que a lastragem, relativamente ao equilíbrio lateral.

## 4.5 Desempenho operacional de tratores agrícolas

### 4.5.1 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.

A patinagem dos rodados tratórios ocorre em função de diversos fatores, entre eles o esforço de tração necessário para deslocar determinado implemento e o tipo de superfície que está em contato com a banda de rodagem dos pneus motrizes dos tratores LANÇAS e UPADHYAYA (1997). Os resultados apresentados por HERZOG et al. (2002) corroboram com os fatores já citados e acrescentam que o tipo de pneu, a pressão de inflagem, carga sobre o rodado, tipo da banda de rodagem e condições do solo como textura, declividade e teor de água também afetam a patinagem das rodas motrizes do trator.

Corrêa et al. (1995a) descreveram diversas formas de cálculo de patinagem, sendo a equação (28) uma das formas de descrever.

$$P = \left(1 - \frac{V}{V_0}\right) \cdot 100 \quad (28)$$

Onde:

P = patinagem (%)

$V_0$  = velocidade da roda sem carga ( $\text{m.s}^{-1}$ )

V = velocidade da roda com carga ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Entretanto, Barger et al. (1966) descrevem a forma para o cálculo de patinagem como descrito na equação (29).

$$P = 100 \cdot \left(\frac{R-r}{R}\right) \quad (29)$$

Onde:

P = Patinagem;

R = Total de rotações da roda para percorrer a pista sob carga;

r = Total de rotações da roda para percorrer a pista, a carga nula.

Santos (1993) avaliou o desempenho operacional de um equipamento conjugado, enxada rotativa com hastes escarificadoras e verificou que a patinagem do trator tracionando a haste escarificadora posicionada na parte frontal da enxada rotativa foi 11,64%, diferenciando-se estatisticamente em relação à utilização da haste na parte traseira da enxada rotativa, apresentando uma patinagem de 6,15%. Ainda o mesmo autor, verificou que a patinagem foi maior para a haste equipada com ponteira com asa 10,21%, enquanto que a patinagem para a haste provida de ponteira sem asa foi 7,59%.

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 trafega, da lastragem e da rotação de trabalho.

De acordo com Lanças e Upadhyaya (1997) para que ocorra tração é necessário que ocorra patinagem, entretanto, se esta ultrapassar determinados limites, ocorre perda da aderência e redução da tração.

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 patinagens inferiores a 15%, sendo que para valores acima deste não houve diferenças no comportamento.

Segundo Brixius e Wismer (1978), o movimento relativo entre elementos de tração pneu ou esteira e o solo, é uma das mais significativas variáveis na tração. Estes efeitos no desenvolvimento trativo devem ser definidos para predizer adequadamente o processo de tração.

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

Corrêa et al. (1997) compararam 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. Concluiu que, o pneu radial de baixa pressão desenvolveu até 4,8% a mais de velocidade de deslocamento e de capacidade operacional. A patinação do rodado motriz foi reduzida em até 28,9%.

Segundo Yanai et al. (1999) ao avaliar o desempenho de um trator, com 71 kW de potência máxima no motor, com e sem acionamento da tração dianteira auxiliar (TDA), verificaram que a patinação do trator foi 12,02% sem acionar a TDA, quando ligou a tração dianteira a patinação do trator reduziu para 8,44%. Entretanto, a potência na barra de tração aumentou de 16, 10 kW sem acionamento da tração dianteira para 16,61 kW com acionamento da tração dianteira auxiliar.

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 kN a 22,5 kN. O pneu diagonal com pressão de inflação 124 kPa (18 psi) e carga no pneu traseiro variando de 17 kN a 22 kN apresentou maior capacidade de tração, com menor patinação para os níveis de força de tração na barra com maiores lastragens.

Lopes (2000) encontrou resultados semelhantes entre 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 20,43 kN para o pneu radial, 20,75 kN para o pneu diagonal e 26,22 kN para o pneu BPAF, obtendo patinações 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, patinação 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.

Lanças et al. (2003) em uma avaliação do desempenho de dois tipos de pneus com equipamento para ensaio dinâmico de pneu agrícola individual, verificaram que, no ensaio utilizando pneu radial com pressão de inflação de 110 kPa (16 psi) e o pneu diagonal com 124 kPa (18 psi), para cargas verticais de 10 e 13 kN, a patinagem foi 17,44 e 15,65% respectivamente para o pneu radial, enquanto que, para as mesmas cargas verticais de 10 e 13 kN sobre o pneu diagonal, a patinagem foi 7,99 e 11,92%, respectivamente.

Gabriel Filho et al. (2004) avaliando o desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal, verificaram que a patinagem na área sem cobertura vegetal foi 13,60%, enquanto que na área coberta com aveia foi 20,74%, que, por sua vez, não diferiu significativamente da área coberta com nabo com 17,18% de patinagem.

#### **4.5.2 Consumo 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 ( $L \cdot h^{-1}$ ;  $kg \cdot h^{-1}$ , etc) e em relação ao trabalho mecânico desenvolvido (consumo específico =  $g \cdot cv \cdot h^{-1}$ ;  $g \cdot kW \cdot h^{-1}$ , etc). O consumo horário geralmente é obtido por leitura direta de instrumentos de mensuração que podem ser expressas em termos ponderais ( $kg \cdot h^{-1}$ ) ou volumétrico ( $L \cdot h^{-1}$ ).

Segundo Lopes et al. (2003) a forma mais técnica de se expressar o consumo é unidade de massa por unidade de potência ( $g \cdot kWh^{-1}$ ); esta forma é conhecida como consumo específico e, pelo fato de considerar a massa e a potência, pode ser usada para comparar motores, tratores e equipamentos de tamanho e formas diferentes. O consumo específico comparado com a eficiência de transmissão de potência, é uma medida de avaliação de economicidade de um motor (MIALHE, 1974), sendo obtido conforme equação (30).

$$CE \text{ (g/kW.h)} = \frac{\text{consumo horário (kg/h)} \times 1000}{\text{potência desenvolvida (kW)}} \quad (30)$$

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.

Hunt (1986) analisou consumo de combustível em diferentes sistemas de produção agrícola e concluiu que a adequada racionalização da potência do trator com os diferentes implementos agrícolas, pode acarretar em redução de até 20% no consumo de combustível e o uso de uma marcha adequada para cargas abaixo de 65% de potência do trator, pode gerar uma economia de 15 a 30% no consumo de combustível, e melhora a eficiência tratória em até 20%.

Santos (1993) avaliou o desempenho de um equipamento conjugado, composto por enxada rotativa e hastes escarificadoras e verificou que o consumo horário do trator tracionando o equipamento conjugado com ponteira da haste sem asa foi 10,49 L.h<sup>-1</sup>, não diferenciando estatisticamente da ponteira da haste com asa, que apresentou um consumo horário de 10,38 L.h<sup>-1</sup>. Ainda, o autor verificou que o consumo horário para a operação, haste escarificadora frontal com asa conjugada com enxada rotativa na rotação máxima, foi 12,39 L.h<sup>-1</sup>, enquanto que, o consumo horário para a operação, enxada rotativa na rotação máxima utilizada de forma não conjugada após a operação com haste escarificadora com asa foi 18,21 L.h<sup>-1</sup>.

Segundo Mantovani et al. (1999), o medidor de fluxo de combustível é um sensor lógico e que o seu funcionamento é através de duas engrenagens ovais, uma delas é marcada por um ímã que sensibiliza um sensor indutivo a cada volta, correspondendo 1 ml de volume deslocado.

Conforme Corrêa e Lanças (2000) em uma avaliação do desempenho operacional de pneus radiais de baixa pressão e pneus diagonais em trator 4x2 com tração dianteira auxiliar desligada, foi utilizado um medidor de vazão de combustível, tipo engrenagens ovais, ligados a um totalizador remoto e conversão pulso/sinal analógico,

proporcional a vazão. Nesse modelo de medidor, para cada volta das engrenagens, 1 cm<sup>3</sup> de combustível é deslocado ao mesmo tempo um pulso elétrico, que é convertido e apresentado no indicador digital, em L.h<sup>-1</sup>, L.min<sup>-1</sup> ou volume total no período, conforme seleção de botão na parte frontal do indicador. Ainda segundo os mesmos autores, o consumo específico para o pneu diagonal foi 547 g kW.h<sup>-1</sup>, enquanto que para o pneu radial foi 433 g kW.h<sup>-1</sup>, com pressão correta para cada tipo de pneu.

Levien e Gamero (2000) avaliaram o consumo de combustível de um trator com semeadora-adubadora, na implantação da cultura do milho sob diversos métodos de preparo do solo sem cobertura vegetal, onde verificaram que o consumo para o preparo convencional de 10,08 L.h<sup>-1</sup> não diferenciou em média do plantio direto 9,73 L.h<sup>-1</sup>, diferenciando-se da escarificação, em que a média do consumo foi 10,90 L.h<sup>-1</sup>.

Cordeiro (2000) investigou o desempenho de pneus diagonais, radiais e BPAF e obteve melhor conversão energética de combustível com patinagem de 4% a 11,5 km.h<sup>-1</sup> e 11% para velocidade de 7,5 km.h<sup>-1</sup> no pneu diagonal. Para o pneu BPAF as patinagens 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.

Silva (2003) avaliando o comportamento de dois mecanismos de abertura de sulco, haste tipo facão e disco duplo, em semeadora-adubadora própria para semeadura direta da cultura do milho, verificou a potência média na barra de tração foi de 18,55 kW e o consumo horário foi 13,10 L.h<sup>-1</sup> para o mecanismo tipo facão, enquanto que, para o mecanismo de disco duplo a potência média na barra de tração foi 10,55 kW e o consumo médio horário foi 10,60 L.h<sup>-1</sup>.

Segundo Lopes et al. (2003), foi utilizado um medidor de fluxo de combustível com o objetivo de comparar o consumo de um trator agrícola com 3 tipos de pneus em duas condições de lastragem, com e sem água nos pneus, e quatro velocidades de deslocamento, onde, os resultados evidenciaram que a condição de lastragem com água nos pneus ofereceu menor consumo específico e o aumento da velocidade de deslocamento reduziu o consumo específico.

Conforme Marques e Gamero (2004) em uma avaliação do desempenho operacional de conjuntos tratorizados de três sistemas de manejo do solo em condições de

cobertura de entressafra, utilizando um medidor de fluxo de combustível, verificaram que para o preparo convencional do solo apresentou menor consumo  $11,55 \text{ L.h}^{-1}$ , na operação de semeadura da soja, diferenciando-se do preparo reduzido  $12,92 \text{ L.h}^{-1}$ .

Segundo Barbosa et al. (2005) avaliando o desempenho de um trator agrícola equipado com dois tipos de pneus alternadamente, verificaram que o consumo horário e específico para o pneu radial foi respectivamente,  $13,06 \text{ L.h}^{-1}$  e  $544,47 \text{ g kW.h}^{-1}$ , enquanto que para o pneu diagonal os consumos horário e específico foram maiores,  $13,64 \text{ L.h}^{-1}$  e  $671,80 \text{ g kW.h}^{-1}$ , respectivamente.

### 4.5.3 Tração

Segundo Mialhe (1980), a tração tem sido definida como a força proveniente da interação entre um dispositivo de autopropulsão, tal como roda, esteira ou outro dispositivo qualquer, de mesmo efeito, e o meio no qual age esse dispositivo. Já ASAE S296.4 (1999) define a tração como a força, na direção do deslocamento, produzido por um trator na barra de 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 (MIALHE, 1980).

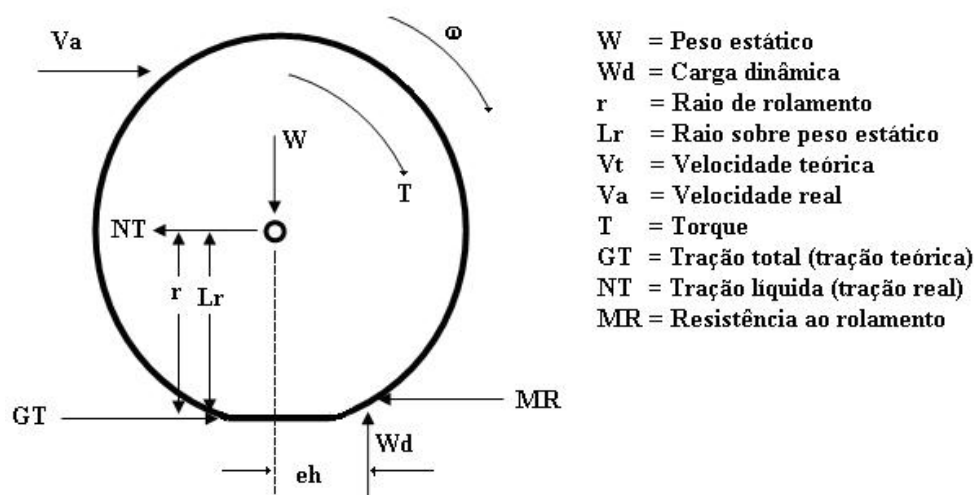
A partir da Segunda Grande Guerra Mundial, houve grande avanço da engenharia, o que contribuiu para um incremento na potência dos tratores, e com isso, intensificou-se os estudos em busca de máquinas e sistemas mais eficientes de tração, como é o caso dos tratores com tração nas quatro rodas. De acordo com Gabriel Filho (2004), 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.

O movimento de uma roda pode ser considerado como a variação de três situações distintas: movida, autopropelida ou motriz. Na primeira situação, não há torque

no eixo da roda, apenas a ação de uma força externa. Na condição de autopropelida, o torque é suficiente apenas para movimentar a roda sem que haja a tração. Quando a roda desenvolve tração, ela passa a ser considerada motriz (WISMER e LUTH, 1974). Segundo os autores, a passagem de uma situação para outra ocorre em função do aumento da patinagem, que será positivo quando houver torque na roda e ela desenvolver tração. A capacidade de tração na roda motriz aumenta conforme aumenta a patinagem até um valor máximo.

De acordo com ZOZ e GRISSO (2003) são três as condições em que uma roda age sobre o solo: roda sólida sobre superfície sólida, roda deformável em superfície sólida e roda deformável em superfície não sólida, ou seja, rodado de borracha sobre solo preparado, sendo esta a condição real de trabalho que se encontra no campo.

BRIXIUS (1987) e ZOZ et al. (2002) explicam que na condição de roda deformável em superfície não sólida, o torque aplicado na roda ( $T$ ) desenvolve a tração total ( $GT$ ) que age em um braço de alavanca ( $r$ ). Parte da tração total é necessária para vencer a resistência ao rolamento ( $MR$ ) que é a resistência ao movimento da roda sobre o solo e o restante é igual à tração útil ( $NT$ ). A Figura 8 mostra as forças envolvidas em uma roda de tração.



**Figura 8** – Forças que atuam em uma roda deformável em solo solto.

Segundo BRIXIUS (1987) a velocidade de deslocamento teórica ( $Vt$ ) depende do raio de rolamento ( $r$ ) e da velocidade de rotação ( $\omega$ ). A potência na árvore motriz é o produto da velocidade teórica e a tração total enquanto que a potência disponível é dada pelo

produto da velocidade real e a tração útil. A razão entre essas potências define a eficiência de tração (TE).

$$TE = (NT Va)/(GT Vt) \quad (31)$$

Dividindo esses termos pela carga dinâmica sobre o rodado temos:

GT/Wd = razão da tração total (GTR)

NT/Wd = razão da tração útil (NTR)

MR/Wd = razão da resistência ao rolamento = GTR-NTR

A TE fica definida pela equação 32.

$$TE = \left( \frac{NTR}{GTR} \right) \left( \frac{Va}{Vt} \right) \quad (32)$$

De acordo com ZOZ et al. (2002) e ZOZ e GRISSO (2003) para se entender a mecânica de tração, é fundamental entender a diferença entre desempenho de tração e o desempenho do trator. Desempenho do trator é proporcional ao desempenho dos mecanismos de tração, mas não igual a ele. A diferença primária é que o desempenho de tração (eficiência) depende de saber a potência disponível no dispositivo de tração. A potência na árvore de tração para um trator é raramente conhecida e não é medido durante os testes oficiais. Além disso, há também outras razões que diferem o desempenho de tração do desempenho de trator, ou seja: o desempenho de tração é determinado para um pneu ou dispositivo de tração. Os mesmos autores comentam ainda que, um trator pode operar com uma combinação de dispositivos de tração diferentes, quer dizer, pneus de tamanho diferentes nas árvores dianteiras e traseiras. Devido à transferência de peso ao operar, até mesmo se um trator tem a mesma configuração de pneus na frente e na parte traseira (tratores 4x4, por exemplo), tanto o peso estático quanto o dinâmico em que os pneus estão operando será provavelmente diferente entre as árvores dianteiras e traseiras, requerendo pressões de pneu diferentes e assim um “dispositivo de tração diferente”.

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) utilizou um subsolador em solo argiloso depois do preparo periódico do solo que obteve uma diminuição de 21,1% na exigência de força de tração, 15,0% da potência exigida na barra, 19,9% na patinagem das rodas, 9,4% no consumo horário de combustível e 22,0% de energia por área trabalhada e um aumento de 8,9% na capacidade de campo efetiva.

Progressos consideráveis têm sido obtidos nas últimas décadas no estudo da tração, explica ZOZ (1997), sendo desenvolvido critérios para avaliar o desempenho do trator com bases nos resultados de testes realizados em pista de concreto. Entretanto é necessário mais estudo para avaliar o desempenho nas condições de campo e com isto fornecer as informações necessárias para estimar esse desempenho.

Para avaliar pneus agrícolas radiais e diagonais a campo, com base em análise de tração, NEUJHR e SCHLOSSER (2001) utilizaram tratores equipados com instrumentação para obtenção de dados. O experimento de tração foi desenvolvido em solo de várzea utilizado no cultivo do arroz irrigado por inundação, durante o período em que se realiza o preparo de verão. Foi comparado o desempenho de dois tipos de pneus, radial e diagonal, em condições de superfície de solo firme e sob preparo convencional e em duas velocidades de deslocamento. Os resultados permitiram concluir que os pneus radiais apresentaram menor resistência ao rolamento, principalmente em velocidades maiores, menores índices de patinagem quando comparados aos pneus diagonais submetidos à mesma força de tração, menor consumo de combustível quando submetidos a forças de tração maiores que 20 kN, maior coeficiente dinâmico de tração e melhor desempenho em tração dentro dos limites de alta eficiência, ou seja, entre 5 e 20% de patinagem.

Conforme Barbosa et al. (2005) ao avaliar o desempenho de um trator agrícola equipado alternadamente com pneus radiais e diagonais, verificaram que o pneu radial proporcionou uma força de tração de 23,13 kN e 20,53 kW de potência na barra de tração, enquanto que o pneu diagonal proporcionou uma força de tração 20,07 kN e 17,32 kW de potência na barra de tração do trator avaliado.

Segundo ASAE D497.4 (1999), a força de tração necessária para a operação de semeadoras de precisão de sementes graúdas, na direção horizontal de deslocamento, já incluída a resistência ao rolamento da máquina, varia de 900 N por linha

quando somente semente e de 3400 N por linha quando a operação for semente, adubação e aplicação de herbicida.

Mantovani et al. (1992) obtiveram valores de força de tração que variaram entre 922 à 2319 N por linha, quando testaram cinco modelos comerciais de semeadoras-adubadoras nacionais de arrasto, com quatro linhas para milho, mecanismo sulcadores de disco duplo para semente e adubo, em solo argiloso, preparado convencionalmente e velocidade de deslocamento entre 4,5 e 6,0 km.h<sup>-1</sup>.

#### **4.6 Inclinômetros**

Segundo Pinho (2005), os inclinômetros medem a inclinação de um objeto a partir de uma posição anterior onde o pêndulo estava parado. Há várias maneiras de implementar um medidor de inclinação. A mais simples delas é construir “pêndulos” utilizando potenciômetros. Estes medidores de inclinação podem, por exemplo, ser usados em veículos para medir aceleração e alterações de direção durante a trajetória. Dependendo da aplicação, estas informações podem ser usadas para a determinação de posição. Outra forma de implementação destes inclinômetros é a utilização de sensores, semelhantes a bússolas, capazes de captar ação do campo magnético da terra.

As chaves de inclinação também medem inclinações como os inclinômetros, porém, de uma maneira digital. O funcionamento está baseado numa estrutura plana, ao redor de pequenos parafusos são colocadas arruelas ou anéis sem que estes se toquem. Se forem colocados contatos elétricos ligados a cada um dos pares e forem ligados em série com eles, fontes e medidores de corrente elétrica, poderemos saber quando ocorre o fechamento ou a abertura do circuito. O fechamento ou a abertura dos contatos se dá colocando-se uma pequena quantidade de mercúrio (Hg) sobre a superfície. Quando a base estiver na horizontal, todas as chaves estarão em curto, quando houver uma inclinação, algumas delas se abrirão. Este processo de abrir-e-fechar chaves permitirá então, determinar a inclinação da base (PINHO, 2005).

Ot e Lladó (2001) desenvolveram um inclinômetro de baixo custo e com uma resolução entre 1° ou 2° sobre um intervalo entre (-45°, +45°) utilizando extensômetros, sendo que o princípio de funcionamento de um extensômetro baseia-se na

variação da resistência de um condutor ou semicondutor quando se submete a um esforço mecânico.

Celeste (2002) implementou um inclinômetro microprocessado, construído a partir de sensores de aceleração com o objetivo de testar acelerômetros fabricados em *chips* em sistemas de navegação inercial como, por exemplo, o que permite a navegação de um robô submarino. O mesmo autor concluiu que é totalmente viável a implementação por apresentar baixo custo, porque pode ser montado em uma simples placa de circuito impresso de pequena dimensão.

De acordo com Warpinski et al. (1997), foi utilizado um inclinômetro para medir a deformação de um reservatório de rocha no Estado do Colorado (EUA) em resposta da abertura por uma fratura hidráulica e confirmar os resultados microsísmicos mensurados. Além disto, o inclinômetro apresentou-se como sendo uma ferramenta útil para medir com precisão a tensão de fechamento encontrada, estimando a distribuição de propagação da fratura.

Segundo Mescheder e Majer (1997), um inclinômetro de dois eixos foi construído com vigas de silício flexíveis de tamanho micro-mecânico. O desenvolvimento do projeto foi assistido pelo método de elementos finitos 3D para simulação do comportamento mecânico e elétrico do sensor. A sensibilidade pode ser facilmente adaptada entre 0,1 e 1 mV por ângulo de inclinação, dependendo da resistividade desejada. O sensor trabalhou com precisão na faixa de  $\pm 80^\circ$  de inclinação.

Bonnifait e Garcia (1999) desenvolveram um sistema tri-dimensional para localizar um robô móvel ao ar livre, o sistema era integrado por dados de dois inclinômetros e um odômetro, abastecido com dados de posição e altitude de alta frequência.

Abreu et al. (1999) desenvolveram um sistema que mede a posição 3D de um veículo de passeio utilizando ondas ultrassônicas e eletromagnéticas, este sistema foi simulado através de um robô móvel equipado com inclinômetro, o qual proporcionou um erro na localização do robô de 1 mm em faixa de trabalho de 5 m.

Gaiber et al. (2002) desenvolveram um sensor capacitivo eletrônico de leitura digital para acelerômetros, giroscópios e inclinômetros, apresentando resultados de resistividade de 0,21%/s e uma não-linearidade de 0,39% em uma faixa de medição de  $\pm 200^\circ$ /s.

Billat et al. (2002) desenvolveram um inclinômetro térmico de fluxo de transporte livre para fluídos, em que o tempo da constante térmica alcançada foi de 110 ms, a curva de resposta para a sensibilidade do sensor em declives foi entre  $-30$  e  $+30^\circ$  de ângulo, com uma sensibilidade de  $0,132 \text{ mV}/^\circ$  e tempo de resposta do sensor de 600ms.

Segundo Bernmark e Wiktorin (2002), acelerômetros triaxiais utilizados como inclinômetro têm sido solicitados para medir, no campo da ergonomia, o movimento e postura de braços do ser humano e que tem sido considerado como instrumento de excelente precisão.

Benz et al. (2005) desenvolveram um inclinômetro capacitivo de fabricação micro-mecânica com conceito inovador de baixo custo baseado na tecnologia do dispositivo modelado interconectar (MID), em que foi fabricado um dispositivo de polímero tri-dimensional pela injeção de eletrólitos niquelado e coberto por uma estrutura de metal, apresentando um erro de 0,2% para uma faixa de leitura de  $-45$  a  $+45^\circ$  de inclinação.

Gimenez e Molin (2006), avaliaram a utilização de um inclinômetro de dois eixos montado sobre um trator agrícola de rodas objetivando elaborar mapas de declividade em duas áreas produtivas de grãos. A análise dos dados demonstrou que o método e as informações geradas permitiram diferenciar as áreas em relação à declividade e com detalhamento adequado para aplicações em agricultura de precisão.

Conforme Gaiotto (2003), a capacidade de vencer fortes inclinações laterais é uma das características mais importantes em um utilitário “fora de estrada”. A abordagem errada de um trecho muito inclinado poderá causar o tombamento do veículo. Isto porque a maioria dos veículos “fora de estrada” possuem o Centro de Gravidade, ou Baricentro, mais alto que os carros de passeio. Portanto, o mesmo autor comenta que pode-se instalar um acessório conhecido como inclinômetro, que mostra as inclinações do terreno em aclives, declives e inclinações laterais e que, existem modelos avulsos vendidos no mercado especializado, e em alguns veículos o equipamento vem montado no painel, como em algumas pick-ups.

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

Neste capítulo serão apresentados primeiro os materiais utilizados e em seguida, os métodos adotados para o desenvolvimento do trabalho, conforme segue:

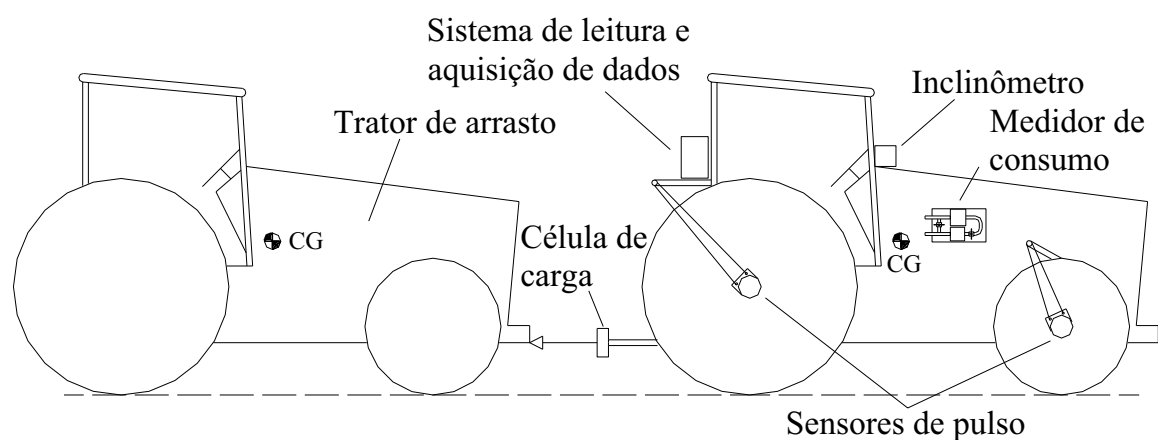
### **5.1 Material**

O material será apresentado em subitens seguindo a sequência em que foram utilizados.

#### **5.1.1 Tratores agrícolas**

Para a avaliação do desempenho operacional em declividade lateral, foram utilizados quatro protótipos\*\* de tratores, onde todos estavam com lastragem líquida igual à 75% da capacidade dos pneumáticos. Na Tabela 1, estão algumas das características técnicas de cada trator avaliado. Para simular a carga tracionada em forma de comboio, foi utilizado trator de 88,94 kW (121cv) para todos os tratores ensaiados, conforme mostra a Figura 9.

\*\* Os tratores utilizados no ensaio não estão à venda no mercado.



**Figura 9** – Comboio utilizado nos ensaios.

**Tabela 1** – Características técnicas dos tratores.

<b>Características Técnicas</b>	<b>Trator 1</b>	<b>Trator 2</b>	<b>Trator 3</b>	<b>Trator 4</b>
<b>Potência nominal (kW)</b>	158	132	118	89
<b>Rotação do motor com carga (rpm)</b>	2000	2000	2100	2100
<b>Distância entre árvores (mm)</b>	3130	2640	2770	2670
<b>Distância entre árvores com o trator em declividade de 30% (mm)</b>	3128	2632	2748	2620
<b>Distância entre rodados (Bitola) (mm)</b>	2000	1673	1700	1800
<b>Carga estática sobre rodado dianteiro (kN)</b>	52,00	41,00	35,00	28,88
<b>Carga estática sobre rodado dianteiro com o trator em declividade de 30% (kN)</b>	51,42	40,54	34,58	28,32
<b>Carga estática sobre rodado traseiro (kN)</b>	71,00	63,00	53,00	43,42
<b>Carga estática total sobre o trator (kN)</b>	123,00	104,00	88,00	72,30
<b>Altura entre o centro da árvore traseira e o solo (mm)</b>	908,00	897,50	917,50	770,00
<b>Altura da barra de tração (mm)</b>	465	465	440	462
<b>Identificação do pneu traseiro (pol.)</b>	30,5L-32	24,5-32	20,8-38	23,1-30
<b>Pressão de pneu traseiro (kPa)</b>	255,96	227,5	199,0	170,6

<b>Lastragem líquida do pneu traseiro (% H<sub>2</sub>O)</b>	75	75	75	75
<b>Dimensões do pneu dianteiro (pol.)</b>	18,4-26	18,4-26	16,9-30	14,9-26
<b>Pressão do pneu dianteiro (kPa)</b>	341,28	227,5	227,5	227,5
<b>Lastragem líquida do pneu dianteiro (% H<sub>2</sub>O)</b>	75	75	75	75
<b>Relação Peso/Potência (kN/kW)</b>	0,78	0,78	0,75	0,81

### 5.1.2 Local do experimento

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista, *Campus* de Botucatu. Os ensaios foram realizados em uma pista, pertencente ao NEMPA (Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais), com 400 metros de comprimento e 20 metros de largura, conforme pode ser visualizado na Figura 10, sendo que a mesma possui uma rampa lateral inclinada. As coordenadas geográficas da área experimental, onde foi realizado o ensaio são: 22°51'S e 48°25'W e a altitude do local é de 770m. O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho com relevo plano e textura argilosa. Foram realizadas amostragens do teor de água e de densidade do solo, nas camadas de 0 a 20 cm, os resultados obtidos foram 19% e 1,58 g.cm<sup>-3</sup>, respectivamente.



**Figura 10** – Vista aérea da área experimental.

### 5.1.3 Preparo da pista lateral

Para a construção da pista lateral, foi utilizado uma plaina acoplada à barra de tração do trator e um rolo compactador com capacidade de  $2,0 \text{ m}^3$  e peso de  $2,5 \text{ kN}$  de água como lastro. A declividade da pista foi de  $0,3\%$  no sentido do comprimento e niveladas na largura e a pista lateral apresentava uma declividade de  $55,5\%$ , declividade esta que possibilitasse as seguintes inclinações  $0, 5, 10, 15, 20$  e  $25$  graus, utilizadas para a realização do presente trabalho. As Figuras 11 (a, b, c, d) mostram o preparo da pista lateral utilizando a plaina e o rolo compactador.



**Figura 11** – (a) Preparo inicial da pista lateral com plaina (b) Preparo final da pista lateral com plaina (c) Pista lateral plainada (d) Rolo compactador.

#### 5.1.4 Sistema eletrônico de aquisição de dados e painel de monitoramento dos dados

Para a aquisição dos sinais gerados pelos sensores instalados nos rodados, no sistema de alimentação e na barra de tração foi utilizado um painel eletrônico com indicador de força instantânea tipo “MICRO-P”. Esses sinais também foram enviados a um sistema eletrônico de aquisição de dados “CR23X - microllogger” da CAMPBELL SCIENTIFIC, com 4 canais contadores de pulso e entrada de 12 canais analógicos diferenciais e 24 não diferenciais, onde foram armazenados. Na Figura 12 pode-se visualizar o sistema de aquisição de dados e o painel eletrônico instalados no trator.



**Figura 12** – Sistema de aquisição de dados e painel eletrônico.

#### 5.1.5 Geradores de pulsos

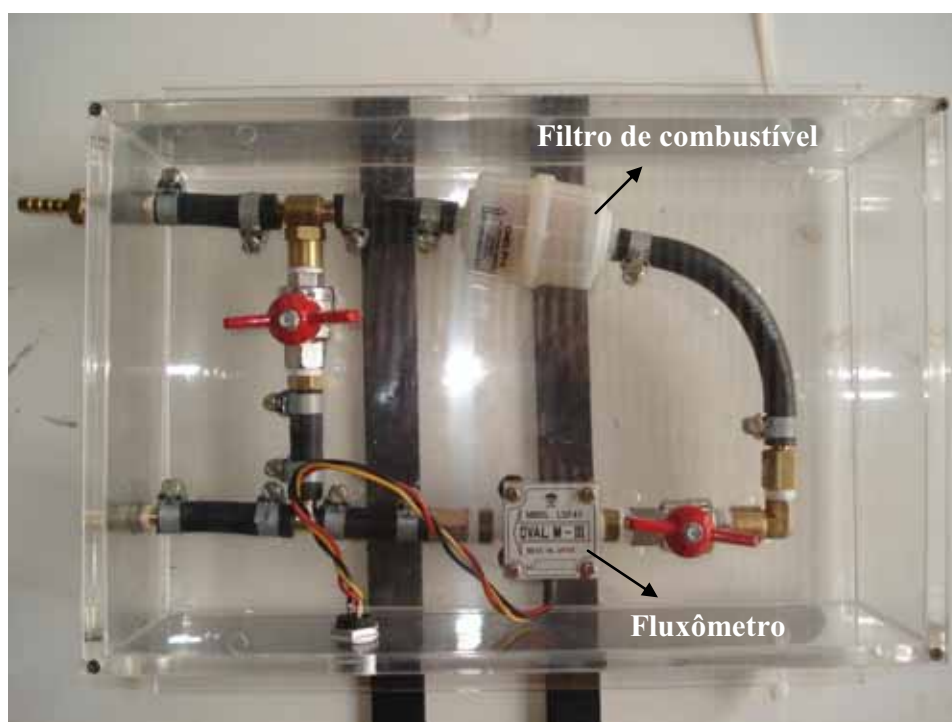
Foram utilizados 4 geradores de pulsos fabricados por S&E Instrumentos de Testes e Medições, modelo GIDP-60-U-12V, que geram uma relação de 60 pulsos por volta, instalados nas rodas dianteiras e traseiras do trator para medir as rotações dos rodados.

### 5.1.6 Velocidade de deslocamento

Para mensurar a velocidade de deslocamento foram utilizados trena, cronômetro para medir o tempo do ensaio e balizas para marcar a distância percorrida.

### 5.1.7 Fluxômetro

Para avaliação do consumo horário de combustível foi utilizado um fluxômetro fabricado pela FLOWMATE OVAL, M-III modelo LSN40, com precisão de 0,01 ml/pulso, conforme Figura 13, o qual emite uma unidade de pulso a cada mililitro de combustível que passa por ele.



**Figura 13** – Fluxômetro utilizado para avaliação do consumo horário de combustível.

### 5.1.8 Célula de carga

Para determinar a força requerida na barra de tração, foi utilizado uma célula de carga marca SODMEX, modelo N400, com sensibilidade de 2,156 mV/V e escala

nominal de 100 kN, a qual mediu a força de tração do trator tracionando outro trator através de um cabo de aço conforme Figura 14.



**Figura 14** – Célula de carga instalada na barra de tração do trator.

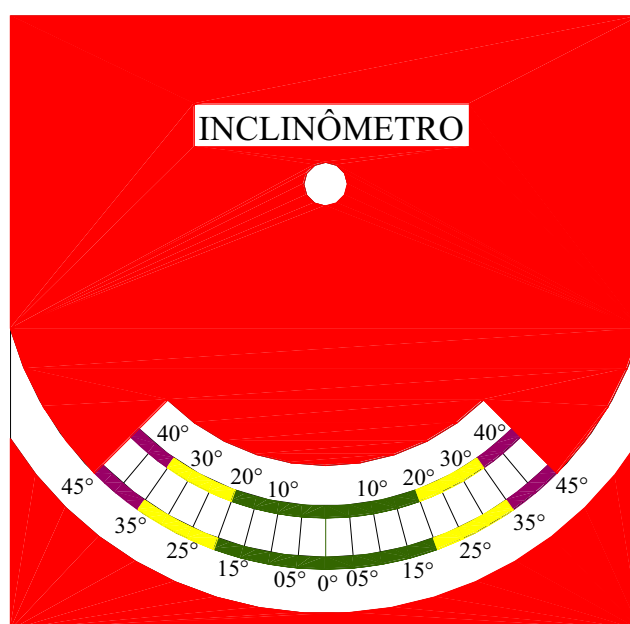
### 5.1.9 Potenciômetro

Para construção do inclinômetro, foi utilizado um potenciômetro de precisão mono-volta, tensão de 1 V<sub>RMS</sub>, frequência de 60 Hz, resistência de 1 a 100 k $\Omega$ , rotação de  $340^{\circ} \pm 4^{\circ}$ , linearidade de  $\pm 0,25\%$  e tolerância decimal de  $\pm 0,005$ .

### 5.1.10 Inclinômetro

Para avaliação da estabilidade dinâmica dos tratores utilizados e ensaiados na pista descrita no sub-ítem 5.1.2, foi desenvolvido no Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA) pertencente à Faculdade de Ciências Agrônomicas Universidade Estadual Paulista, *Campus* de Botucatu, o inclinômetro, utilizando-se um

potenciômetro de precisão munido de um pêndulo na sua extremidade, sendo estes enclausurados em uma caixa de acrílico com transferidor para avaliar a declividade do trator em relação ao terreno no sentido transversal (declividade lateral à direita). O transferidor foi desenvolvido através de programa computacional para desenhos (AutoCAD 2002), onde os ângulos estão representados numericamente e por escala de cores indicativas de trafegabilidade em terrenos inclinados. A faixa verde indicava posição de tráfego normal sem iminência de tombamento, faixa amarela atenção e faixa roxa indicava perigo, ou seja, o trator está em iminência de tombamento. Na Figura 15 pode-se visualizar melhor o transferidor desenvolvido.



**Figura 15** – Transferidor desenvolvido para o inclinômetro.

## 5.2 Métodos

### 5.2.1 Projeto e desenvolvimento do inclinômetro

O projeto do inclinômetro, constituiu na utilização de uma massa de chumbo com 20 g e uma haste de ferro chato, ABNT 1020 de 25,4 mm e espessura de 1 mm, para a fixação do chumbo e formar o pêndulo. O comprimento do pêndulo foi calculado pela Equação 33, conforme Silva (2006).

$$L = (1/4.\pi^2) . (g/f^2) \quad (33)$$

Onde:

L = comprimento do pêndulo (m)

g = aceleração da gravidade (m.s<sup>-2</sup>)

f = frequência de aquisição do sistema de aquisição de dados (s)

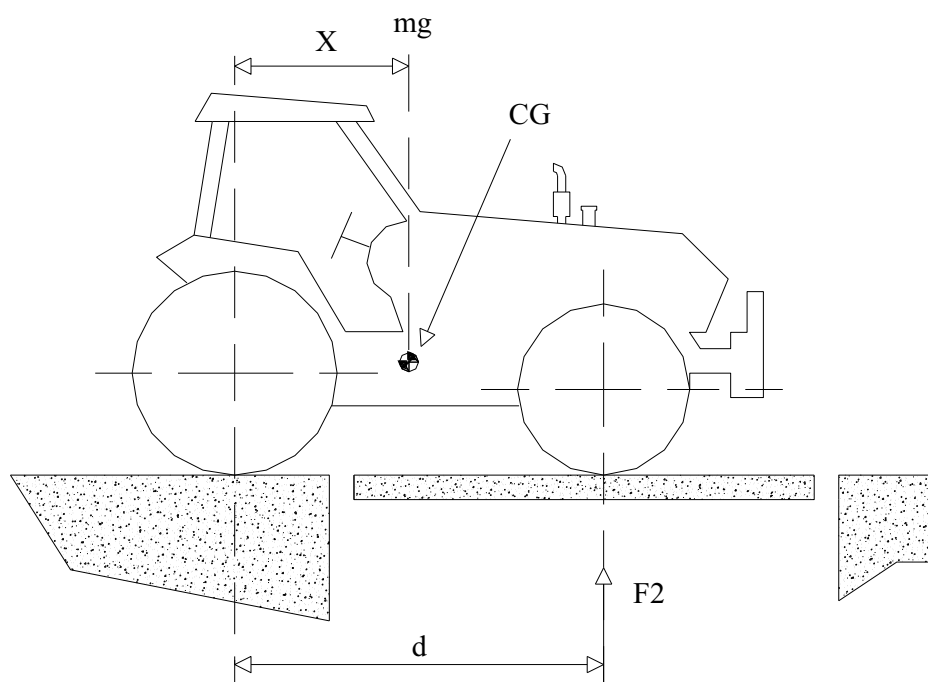
### 5.2.2 Calibração do inclinômetro

O inclinômetro foi calibrado em confronto com uma rampa de madeira com 1030 mm de comprimento, a qual permitia uma regulagem de altura através de uma rosca sem fim com borboleta de fixação, formando desta maneira um triângulo retângulo. Para a determinação da estabilidade do inclinômetro, colocou-se o trator em movimento em uma inclinação lateral com o aparelho instalado e posteriormente, com o trator parado e em marcha lenta coletou-se os dados de inclinação durante cinco minutos. O tempo de resposta foi determinado com o trator deslocando em uma inclinação superior, deslocando-se depois o trator para uma inclinação inferior, onde através dos dados foi verificado qual foi o tempo de resposta do aparelho para mudanças de inclinação.

### 5.2.3 Determinação do centro de gravidade dos tratores utilizados conforme NBR 12567

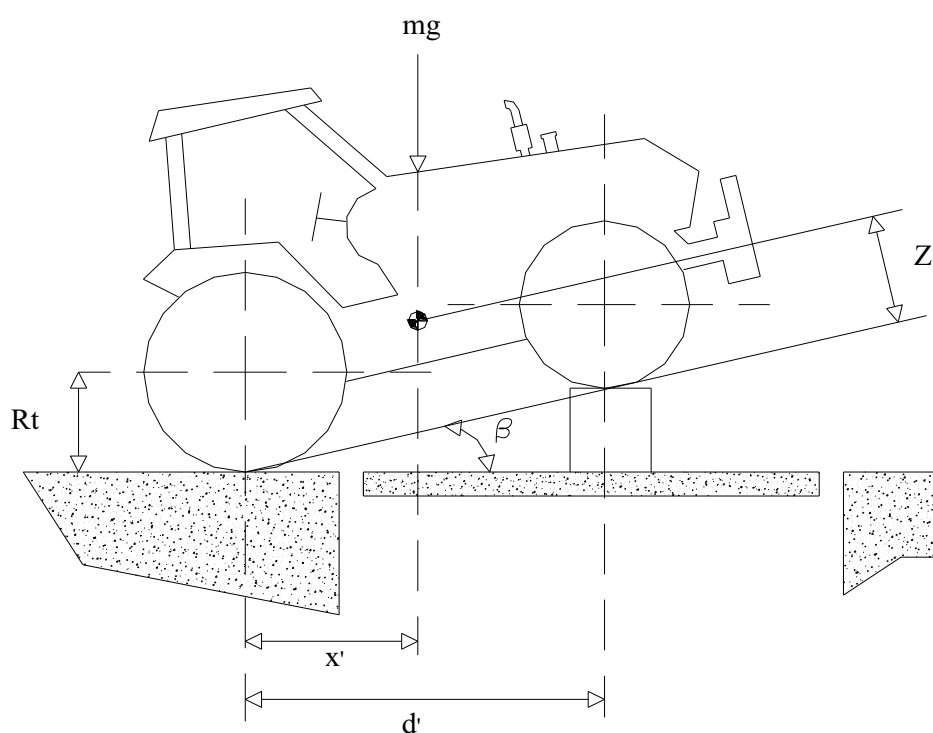
O objetivo da NBR 12567, de abril de 1992, é prescrever o método para determinação do centro de gravidade de tratores agrícolas de rodas, com, pelo menos dois eixos. Onde a coordenada x do centro de gravidade é a distância horizontal do plano de referência transversal traseiro ao centro de gravidade. O procedimento para a determinação da coordenada x é, obter a massa (m) total do trator na balança de plataforma. Sem aplicar os freios, medir a reação F<sub>2</sub> no eixo dianteiro e calcular x a partir da massa e da distância entre eixos do trator, usando a distância entre eixos como valor para d, conforme Figura 16. A coordenada x é calculada conforme a Equação 34.

$$x = \frac{d * F_2}{m * g} \quad (34)$$



**Figura 16** – Determinação da coordenada  $x$  do centro de gravidade

A coordenada  $z$  do centro de gravidade é a distância vertical do plano de apoio ao centro de gravidade. O procedimento de determinação desta coordenada é posicionar o trator com a parte dianteira, ou traseira, sobre a balança, com um ângulo  $\beta$  de  $20^\circ$  a  $25^\circ$  em relação à horizontal. O trator permaneceu nesta posição, apoiado sobre um cavalete de altura conveniente a proporcionar o referido ângulo. A outra extremidade ficou apoiada sobre o plano de apoio (piso fixo). Mediu-se a distância  $d'$ , projeção dos pontos de apoio dianteiro e traseiro do trator com auxílio de uma trena, mediu-se também o ângulo  $\beta$ . Determinou-se a reação  $F_3$ , utilizando-se a balança com capacidade para 30 kN. O cálculo da reação  $F$ , devida somente ao trator, é feito subtraindo-se a massa do cavalete do valor  $F_3$ , de forma que:  $F = F_3 - \text{massa do cavalete}$ . Todas as coordenadas são melhor visualizadas na Figura 17.



**Figura 17** – Determinação da coordenada z do centro de gravidade

$$\text{A distância } x' \text{ é calculada a partir de: } x' = \frac{F * d}{m * g} \quad (35)$$

$$\text{A cota } z \text{ é calculada através de: } z = \frac{x - \left( \frac{x'}{\cos \beta} \right)}{\text{tg} \beta} + Rt \quad (36)$$

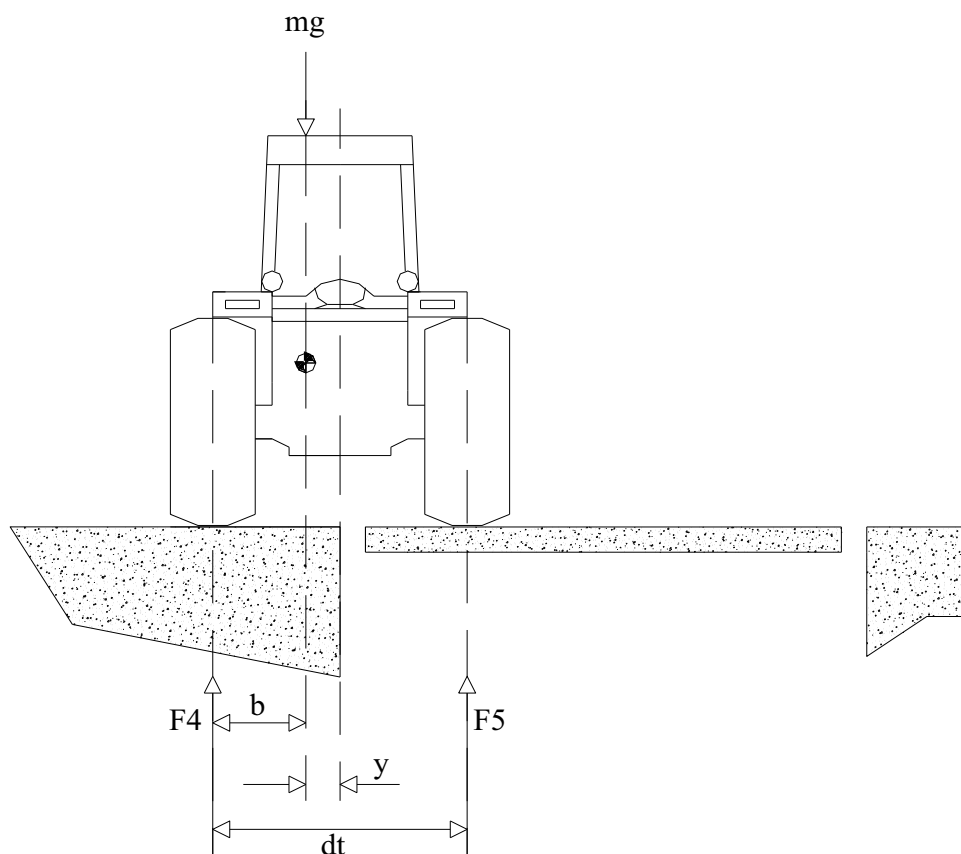
A coordenada y do centro de gravidade é a distância horizontal do plano médio longitudinal ao centro de gravidade. Para a determinação desta coordenada, mediu-se as reações dos lados esquerdo  $F_4$  e direito  $F_5$  das rodas. Calculou-se o afastamento b no centro de gravidade à linha de centro da roda, utilizando-se a bitola dt como braço de momento, pela Equação 37.

$$b = \frac{F_5 * dt}{m * g} \quad (37)$$

A coordenada y do centro de gravidade é dada pela Equação 38.

$$y = \frac{dt}{2} - b \quad (38)$$

Todas as coordenadas para a cota  $y$  estão apresentadas na Figura 18.



**Figura 18** – Determinação da coordenada  $y$  do centro de gravidade

#### 5.2.4 Declividade operacional limite

Os valores da declividade operacional limite foram obtidos através da Equação 39, conforme Mialhe (1980).

$$dl = \frac{\frac{S^2}{2*Y} - P}{\frac{P*S}{2*Y} + S} \quad (39)$$

Onde:

dl = Declividade operacional limite (graus);

P = Profundidade do sulco de preparo (m);

S = Distância de centro a centro entre os rodados (bitola) do trator (m);

Y = Distância do plano de apoio ao centro de gravidade (m).

Conforme já citado no item 3.4.5, Mialhe (1980) recomenda como norma de segurança, que o limite máximo de declividade do terreno, seja o valor da metade do ângulo correspondente a declividade operacional limite. Onde este valor será utilizado através do programa computacional PC 208W como limite para acionamento do sinal sonoro que está ligado ao inclinômetro.

### 5.2.5 Determinação da força de tração na barra

A força de tração na barra dos tratores ensaiados foi fornecida pelo trator de carga. Para dar estabilidade de carga na barra de tração, foi instalado no trator de carga o indicador de força instantânea para que o operador possa ajustar a aceleração e assim estabilizar a carga aplicada na barra de tração do trator ensaiado. Para medir a força de tração, a célula de carga foi instalada entre o trator ensaiado e o trator de carga. Os sinais gerados pela célula de carga foram armazenados no sistema de aquisição de dados e posteriormente descarregados em um computador. Com os valores obtidos, a força de tração média foi determinada pela Equação 40, conforme Gabriel Filho (2007).

$$F_m = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n} \quad (40)$$

Em que:

$F_i$  = força de tração instantânea (kN)

$F_m$  = força de tração média (kN)

n = número de dados registrados

### 5.2.6 Consumo horário de combustível

Para avaliar o consumo horário de combustível foi utilizado o fluxômetro descrito no item 5.1.7, o qual foi instalado em um suporte, no circuito de alimentação de combustível próximo ao filtro de combustível do trator. O gerador registrou uma unidade de pulso a cada mL de combustível que passou por ele. Contabilizando-se a quantidade de pulsos e o tempo gasto para percorrer a parcela, o consumo de combustível foi calculado pela Equação 41, segundo Lopes (2003).

$$C_c = \frac{\sum_p * 3,6}{\Delta_t} \quad (41)$$

em que:

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

$\sum_p$  = somatório de pulsos, equivalente ao somatório de mL de combustível gasto para percorrer a parcela experimental (mL);

$\Delta_t$  = tempo gasto para percorrer a parcela experimental (s);

3,6 = fator de conversão.

### 5.2.7 Determinação da velocidade de deslocamento

Para determinar a velocidade de deslocamento foi medido o tempo necessário para percorrer as parcelas de 25 metros de comprimento. Em cada extremidade da parcela foi colocada uma baliza para que o cronometrista pudesse determinar o momento exato em que o trator iniciou e terminou o percurso.

### 5.2.8 Patinagem

A patinagem da roda foi calculada pela Equação 42, conforme Mialhe (1996).

$$P = \left( \frac{nc - ns}{nc} \right) * 100 \quad (42)$$

Onde:

P = patinagem (%)

nc = giros da roda motriz, com carga

ns = giros da roda motriz, sem carga

O número de giros da roda motriz sem carga (ns) foi obtido durante as calibrações em superfície rígida. O número de giros da roda motriz com carga (nc) foi obtido com o trator no campo.

### 5.2.9 Determinação da potência disponível na barra de tração

A potência disponível na barra de tração, obtida pelo produto da força de tração na barra com a velocidade de deslocamento, segundo Mialhe (1974), conforme Equação 43:

$$PB = \frac{F * V}{3,6} \quad (43)$$

onde:

PB = potência na barra (kW)

F = força de tração (kN)

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

3,6 = fator de conversão

### 5.2.10 Transferência de peso

Os valores de transferência de peso foram obtidos de acordo com a Equação 44, conforme Barger et al. (1966) e Mialhe (1974):

$$T_p = Ft * \left( \frac{y}{De} \right) \quad (44)$$

Em que:

T<sub>p</sub> = Transferência de Peso (kN);

Ft = Força de tração (kN);

y = altura da barra de tração (m);

De = distância entre eixos (m).

### 5.2.11 Carga dinâmica sobre os rodados

Os valores da carga dinâmica são obtidos em função da carga estática sobre os rodados traseiros e a da transferência de peso, conforme a Equação 45, segundo Mialhe (1974).

$$Cd = Pe + \left( \frac{Ft \times y}{De} \right) \quad (45)$$

Em que:

Cd = carga dinâmica sobre o rodado (kN)

Pe = carga estática sobre o rodado (kN)

Ft = força de tração média (kN)

y = altura da barra de tração (m)

De = distância entre eixos (m)

### 5.2.12 Coeficiente de tração

Os valores do coeficiente de tração foram obtidos de acordo com a Equação 46, conforme Barger et al. (1966) e Gabriel Filho et al. (2004).

$$CT = \frac{Ft}{Cd} \quad (46)$$

Em que:

CT = coeficiente de tração

Ft = Força de tração (kN)

Cd – Carga dinâmica sobre os rodados (kN)

### 5.2.13 Rendimento de tração

O rendimento de tração foi obtido pela Equação 47, conforme Mialhe (1974).

$$\text{Rendimento de tração } (\eta_t) = \frac{\text{Potência na barra de tração (kW)}}{\text{Potência no motor (kW)}} \quad (47)$$

### 5.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi realizado com os tratores deslocando-se na inclinação lateral da pista de ensaios, onde estes deslocaram-se longitudinalmente à sua esquerda com relação à inclinação lateral da pista. As inclinações laterais em que os tratores operaram foram 0, 5, 10, 15, 20 e 25 graus. Em todas estas situações, os tratores operaram com carga pré-determinada de tração imposta ao trator tracionado de 40 kN na inclinação de 0 grau. Portanto foi utilizado um delineamento em blocos casualizados (DBC), sendo seis (6) inclinações e quatro (4) tratores, com um total de vinte e quatro (24) tratamentos e com três (3) repetições para cada tratamento. Assim sendo, foram utilizadas setenta e duas (72) unidades experimentais.

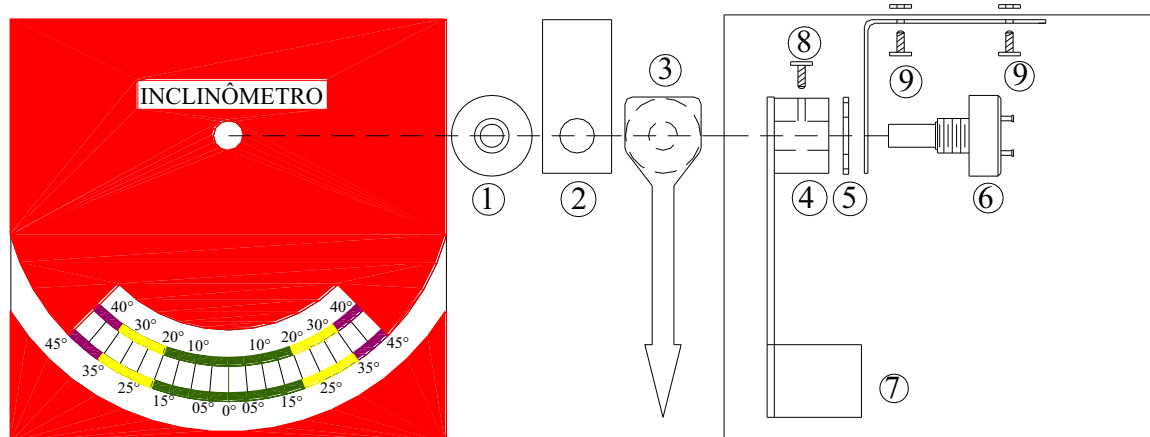
## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados encontrados foram analisados, discutidos e estão apresentados em figuras e tabelas dentro de tópicos, conforme segue:

- Construção e calibração do inclinômetro;
- Determinação do Centro de Gravidade (CG) de cada trator avaliado;
- Análise geral dos resultados obtidos para cada inclinação;
- Análise de regressão dos resultados obtidos para cada inclinação nas faixas de potência avaliada;
- Análise de regressão dos resultados obtidos para cada trator nas faixas de inclinação avaliadas.

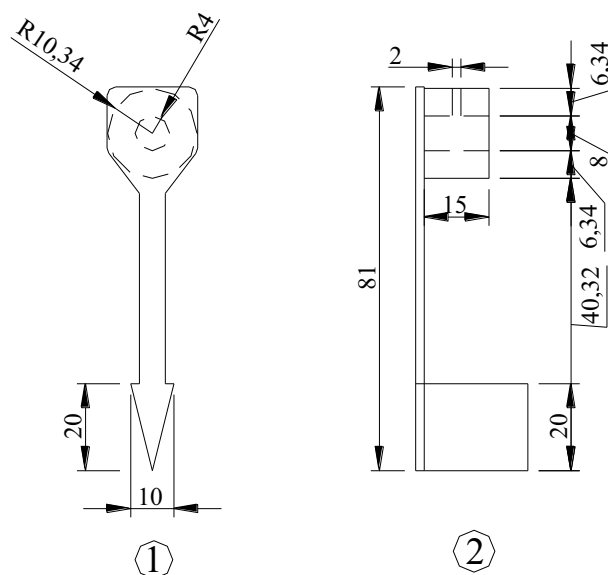
### **6.1 Construção e calibração do inclinômetro**

Neste capítulo, estão apresentados os croqui de projeto de desenvolvimento e calibração do inclinômetro. A Figura 19 apresenta o esquema de montagem do inclinômetro na caixa de acrílico.

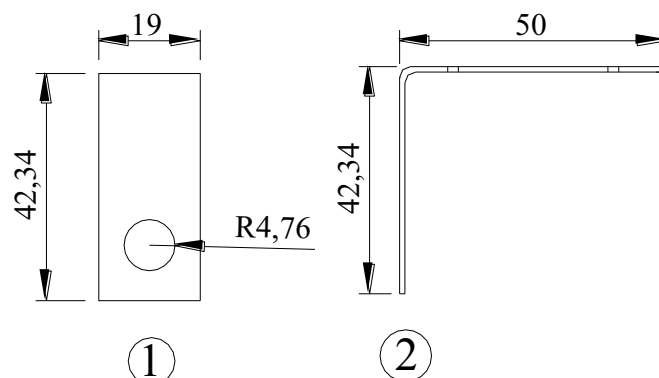


**Figura 19** – (1) Vista frontal do potenciômetro, (2) Vista frontal da chapa de fixação do aparelho na caixa de acrílico, (3) Vista frontal do pêndulo, (4) Vista lateral da bucha de fixação do potenciômetro, (5) Arruela de fixação do potenciômetro, (6) Vista lateral do potenciômetro, (7) Massa de chumbo, (8) e (9) Parafusos de fixação.

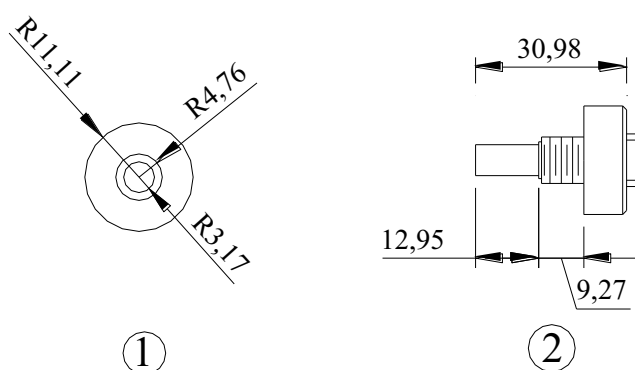
As dimensões da caixa de acrílico, onde foi alojado o inclinômetro, são 120 x 120 x 120 mm. À seguir nas Figuras (20), (21) e (22) estão apresentados os croquis de dimensionamento de todo o aparelho.



**Figura 20** – (1) Vista frontal e (2) Vista lateral do pêndulo utilizado no inclinômetro (cotas em milímetros).

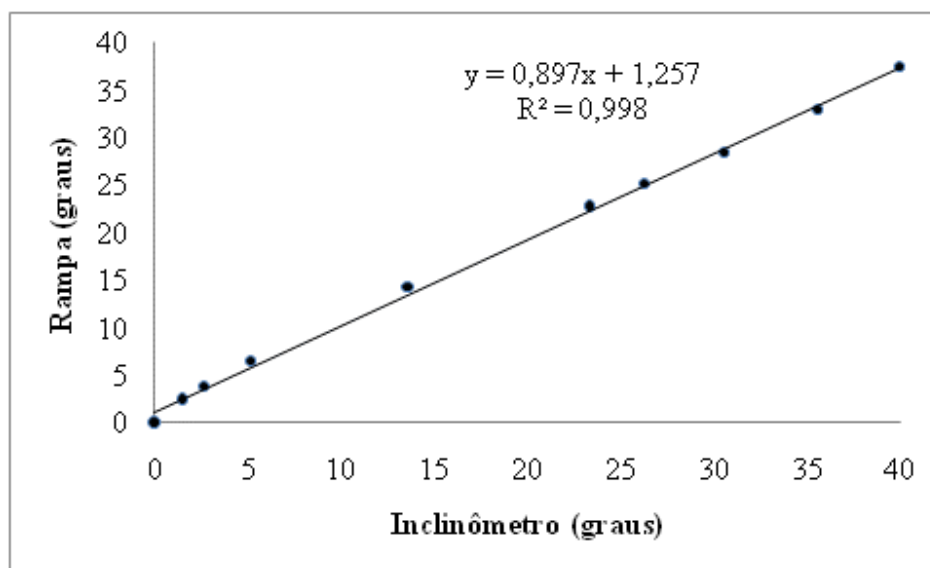


**Figura 21** – (1) Vista frontal e (2) Vista lateral da chapa de fixação do aparelho na caixa de acrílico (cotas em milímetros).



**Figura 22** – (1) Vista frontal e (2) Vista lateral do potenciômetro utilizado no inclinômetro (cotas em milímetros).

O resultado encontrado da calibração do inclinômetro quando comparado à rampa de madeira, graduada com transferidor e onde foi fixado o inclinômetro, gerou um valor de 0,897 graus para o multiplicador (multiply) e +1,257 graus para o offset, os quais foram utilizados no sistema de aquisição de dados, conforme observado na Figura 23.



**Figura 23** – Curva de calibração do inclinômetro.

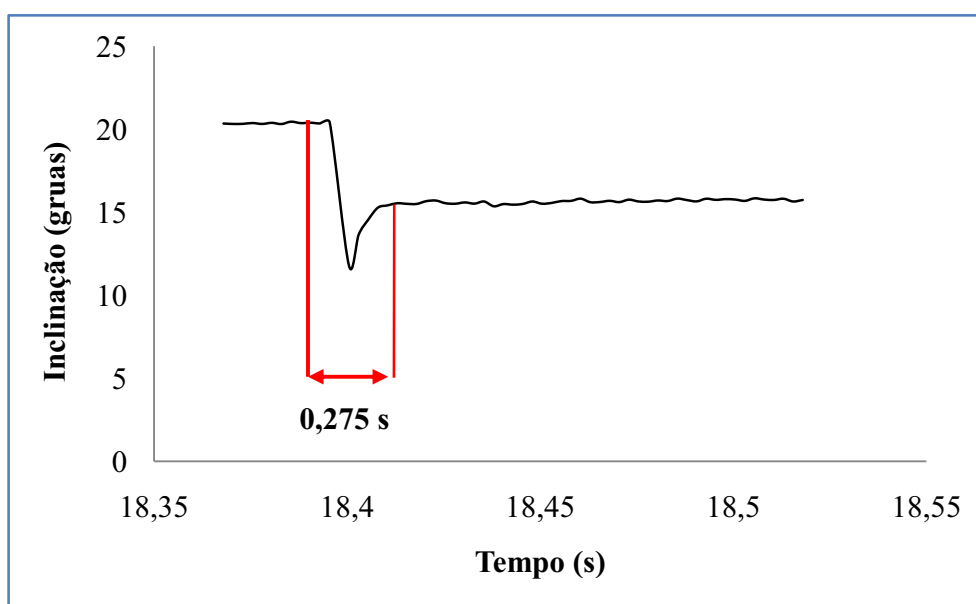
A faixa de leitura do inclinômetro para declives laterais foi de  $-45^{\circ}$  a  $+45^{\circ}$  de inclinação, apresentando um erro de 0,1%, com resolução analógica (transferidor na caixa de acrílico) de  $5^{\circ}$  e resolução digital (datalogger) de  $0,001^{\circ}$ . Um inclinômetro capacitivo de fabricação micro-mecânica, desenvolvido por Benz et al. (2005), apresentou um erro de 0,2% para uma faixa de leitura de  $-45^{\circ}$  a  $+45^{\circ}$  de inclinação.

O tempo de resposta que o inclinômetro apresentou na mudança da inclinação de 20,402 graus para a inclinação de 15,544 graus foi de 0,275s, ou seja, 275 ms conforme pode ser visualizado na Figura 25. Entretanto, Billat et al. (2002) desenvolveram um inclinômetro térmico de fluxo de transporte livre para fluídos, em que o tempo de resposta do sensor foi de 600ms.

O inclinômetro projetado e desenvolvido pode ser melhor visualizado na Figura 24, que mostra como o aparelho foi instalado e fixado sobre o painel de instrumentos de todos os tratores ensaiados.

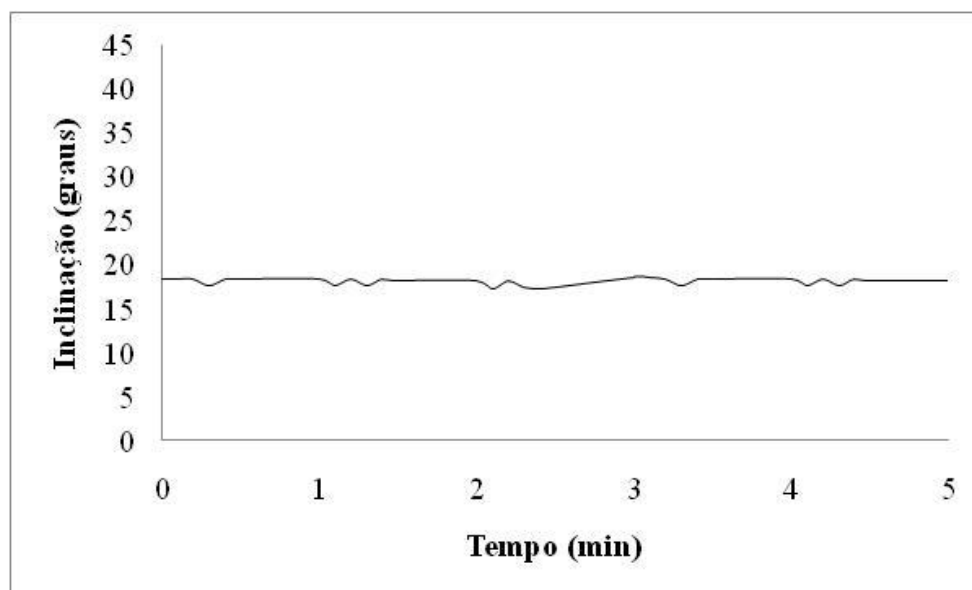


**Figura 24** – Inclinômetro desenvolvido para determinação da inclinação lateral do terreno.



**Figura 25** – Tempo de resposta apresentado pelo inclinômetro.

O inclinômetro apresentou-se com uma oscilação máxima de ângulo de 1,429 graus em um intervalo de 5 minutos de teste, conforme pode ser visualizado na Figura 26.

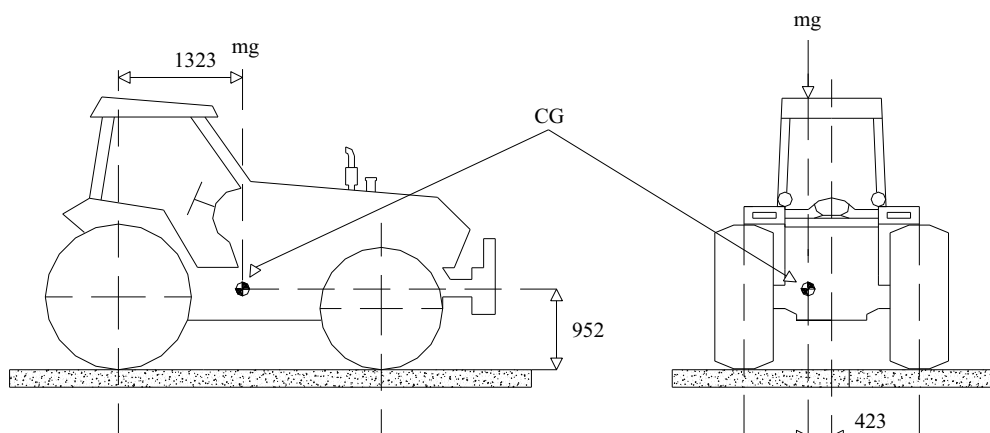


**Figura 26** – Curva de estabilidade do inclinômetro para um intervalo de 5 minutos.

## 6.2 Resultados do Centro de Gravidade (CG) de cada trator avaliado

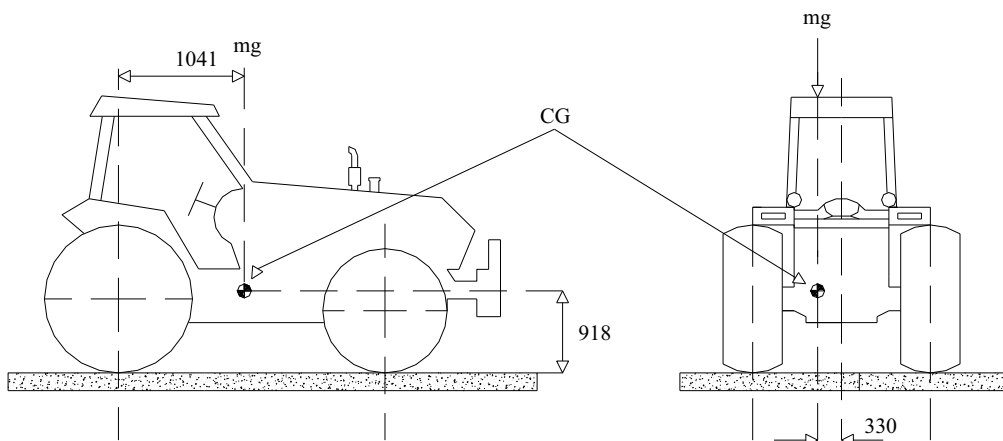
Os resultados obtidos dos centros de gravidade de cada trator, estão apresentados em forma de croqui para melhor visualização, com as respectivas declividades operacionais limite e declividades máximas limite do terreno para cada trator avaliado.

Para o trator de 158 kW (T1) a declividade operacional limite encontrada foi de 77,79%, ou seja, o ângulo operacional limite de inclinação foi de  $35^{\circ} 00' 20''$ . A declividade máxima limite para o trator (T1) foi 38,89%, portanto, o ângulo máximo limite de  $17^{\circ} 30' 9,9''$ . As cotas do centro de gravidade do trator (T1), podem ser melhor visualizadas na Figura 27.



**Figura 27** - Centro de gravidade (CG) do trator de 158 kW de potência (cotas em milímetros).

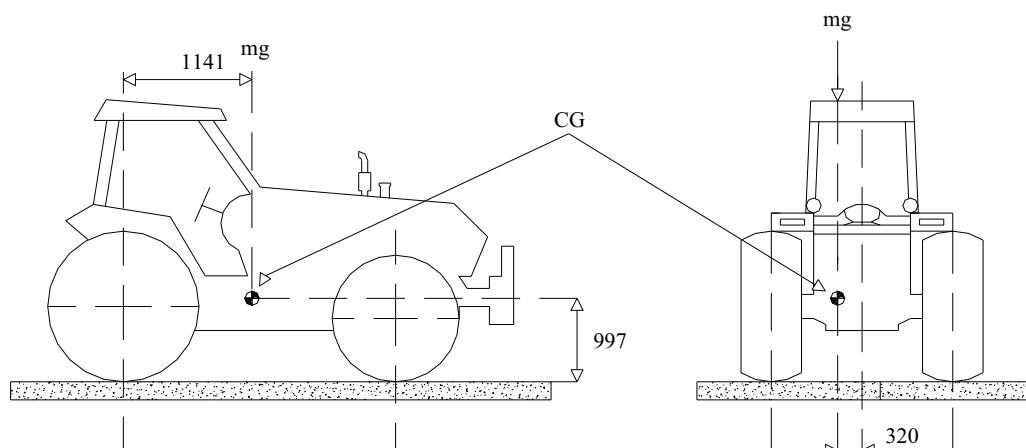
Para o trator de 132 kW (T2) a declividade operacional limite encontrada foi de 62,89%, ou seja, o ângulo operacional limite de inclinação foi de  $28^{\circ} 18' 02''$ . A declividade máxima limite para o trator (T2) foi 31,45%, portanto, o ângulo máximo limite de  $14^{\circ} 09' 0,9''$ . As cotas do centro de gravidade do trator (T2), podem ser melhor visualizadas na Figura 28.



**Figura 28** - Centro de gravidade (CG) do trator de 132 kW de potência (cotas em milímetros).

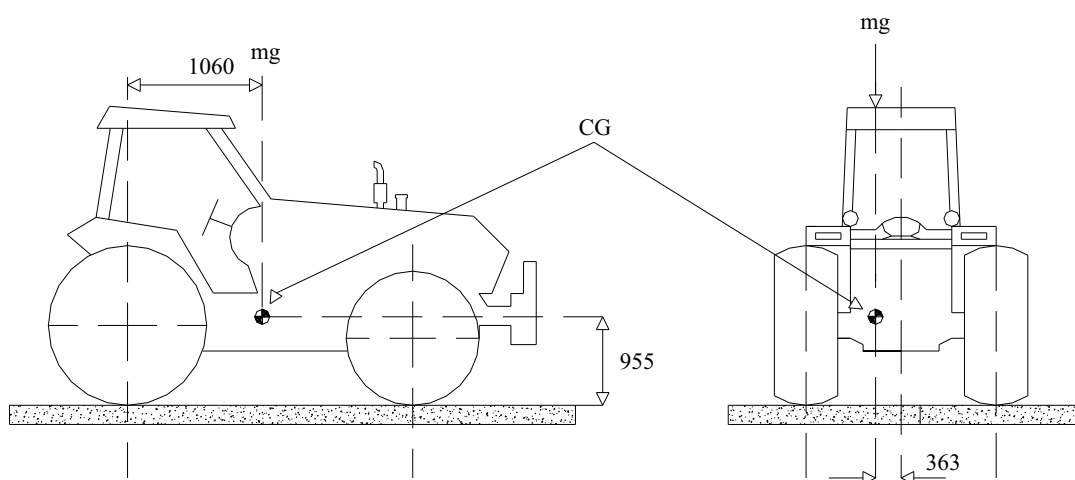
A declividade operacional limite encontrada para o trator de 118 kW (T3) foi de 58,74%, ou seja, o ângulo operacional limite de inclinação foi de  $26^{\circ} 25' 59''$ . A declividade máxima limite para o trator (T3) foi 29,37%, portanto, o ângulo máximo limite de

$13^{\circ} 12' 59,4''$ . As cotas do centro de gravidade do trator (T3), podem ser melhor visualizadas na Figura 29.



**Figura 29** - Centro de gravidade (CG) do trator de 118 kW de potência (cotas em milímetros).

A declividade operacional limite encontrada para o trator de 89 kW (T4) foi de 67,04%, ou seja, o ângulo operacional limite de inclinação foi de  $30^{\circ} 10' 04,8''$ . A declividade máxima limite para o trator (T4) foi 33,52%, portanto, o ângulo máximo limite de  $15^{\circ} 05' 02,4''$ . As cotas do centro de gravidade do trator (T4), podem ser melhor visualizadas na Figura 30.



**Figura 30** - Centro de gravidade (CG) do trator de 89 kW de potência (cotas em milímetros).

Segundo Promersberger et al. (1962), quando o ângulo da inclinação do terreno ultrapassa o ângulo operacional limite do trator, o veículo tomba lateralmente. Portanto, através dos resultados encontrados para cada trator, não houve a ultrapassagem deste limite, pois a inclinação máxima operada neste trabalho, para todos os tratores, foi de 25 graus. Mas, conforme Chudakov (1977) e Mialhe (1980), estes recomendam que o limite máximo de declividade do terreno, seja o valor da metade do ângulo correspondente a declividade limite operacional, todos os tratores operaram acima desta recomendação com o objetivo de avaliar o desempenho operacional de cada máquina. No próximo capítulo serão discutidos os resultados apresentados por cada trator, que foram avaliados até a inclinação de 25 graus.

### **6.3 Análise geral dos resultados obtidos para cada trator em todas as inclinações**

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados da força de tração de todos os tratores para cada inclinação, inclinação de 0, 5, 10, 15, 20 e 25 graus. Para inclinação de zero grau os resultados mostraram que não houve diferença significativa para a força de tração entre os tratores, pois o objetivo dos ensaios eram que todos os tratores avaliados operassem na inclinação de zero grau com uma força de tração média de 40 kN. Foi observado através dos resultados que conforme aumentou a inclinação, houve um decréscimo na força de tração média, sendo que o trator T3 apresentou uma menor perda na força de tração, decréscimo de 12,66%, entretanto, o trator T4 apresentou o maior decréscimo, 45% menor a força de tração média na inclinação lateral de 25 graus. Os tratores T2 e T4 não diferenciaram estatisticamente entre si nas demais inclinações, sendo a menor força de tração desenvolvida entre eles na inclinação de 25 graus, 23 e 22 kN, respectivamente.

**Tabela 2** - Valores médios de força de tração (kN) em todas as inclinações avaliadas para os tratores T1 (158 kW), T2 (132 kW), T3 (118 kW) e T4 (89 kW).

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ ).

Conforme os resultados apresentados na Tabela 3, o trator T1

Tratores	0°	5°	10°	15°	20°	25°
<b>T1</b>	40,00 <sup>A</sup>	39,25 <sup>A</sup>	38,18 <sup>A</sup>	36,18 <sup>AB</sup>	33,31 <sup>B</sup>	30,65 <sup>A</sup>
<b>T2</b>	40,00 <sup>A</sup>	38,33 <sup>B</sup>	36,33 <sup>B</sup>	34,67 <sup>B</sup>	30,50 <sup>BC</sup>	23,00 <sup>B</sup>
<b>T3</b>	40,05 <sup>A</sup>	39,86 <sup>A</sup>	38,45 <sup>A</sup>	37,48 <sup>A</sup>	36,92 <sup>A</sup>	34,98 <sup>A</sup>
<b>T4</b>	40,00 <sup>A</sup>	38,00 <sup>B</sup>	36,50 <sup>B</sup>	34,50 <sup>B</sup>	28,83 <sup>C</sup>	22,00 <sup>B</sup>
<b>Média Geral</b>	40,0125	38,8600	37,3650	35,7075	32,3917	27,6583
<b>C.V.</b>	0,0625	0,7805	1,0943	1,7487	3,2411	6,0874
<b>R<sup>2</sup></b>	0,6471	0,9232	0,9161	0,8912	0,9447	0,9538

apresentou maior consumo horário nas inclinações 0, 10, 15, 20 e 25 graus, sendo menor o seu consumo na inclinação de 5 graus, onde o trator T2 apresentou maior consumo horário 27,40 L.h<sup>-1</sup>, apesar de não diferenciar estatisticamente do trator T1. Entretanto, o trator T4 foi o que teve menor consumo horário nas inclinações 0, 5, 10 e 15 graus, porém, para as inclinações laterais de 20 e 25 graus, não houve diferença estatística entre os tratores T2, T3 e T4, diferenciando-se somente do trator T1. A inclinação de 5 graus foi a que apresentou um maior consumo horário médio geral de combustível.

**Tabela 3** - Valores médios de consumo horário (L.h<sup>-1</sup>) em todas as inclinações avaliadas para os tratores T1 (158 kW), T2 (132 kW), T3 (118 kW) e T4 (89 kW).

Tratores	0°	5°	10°	15°	20°	25°
<b>T1</b>	27,20 <sup>A</sup>	26,45 <sup>A</sup>	25,88 <sup>A</sup>	25,74 <sup>A</sup>	24,95 <sup>A</sup>	25,63 <sup>A</sup>
<b>T2</b>	22,50 <sup>B</sup>	27,40 <sup>A</sup>	25,34 <sup>A</sup>	22,86 <sup>B</sup>	20,89 <sup>B</sup>	21,40 <sup>B</sup>
<b>T3</b>	21,52 <sup>BC</sup>	22,23 <sup>B</sup>	21,33 <sup>B</sup>	22,02 <sup>BC</sup>	22,29 <sup>B</sup>	21,28 <sup>B</sup>
<b>T4</b>	20,59 <sup>C</sup>	20,27 <sup>C</sup>	20,35 <sup>C</sup>	21,35 <sup>C</sup>	21,57 <sup>B</sup>	20,55 <sup>B</sup>
<b>Média Geral</b>	22,9542	24,0883	23,2217	22,9925	22,4258	22,2133
<b>C.V.</b>	1,7795	1,5729	1,2298	2,1332	3,5791	3,8145
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9873	0,9918	0,9931	0,9598	0,8849	0,9176

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ ).

Observando-se os resultados apresentados na Tabela 4, a velocidade média de deslocamento dos tratores diminuiu conforme foi aumentando a inclinação lateral da

pista de ensaio. Para as inclinações 0, 5, 10, 15 e 20 graus, não houve diferença estatística entre os tratores T3 e T4, diferenciando-se estatisticamente entre si na inclinação lateral de 25 graus, inclinação na qual todos os tratores avaliados desenvolveram menor velocidade de deslocamento. Os tratores T1 e T2 diferenciaram-se estatisticamente entre si em todas as inclinações laterais avaliadas.

**Tabela 4** - Valores médios de velocidade ( $\text{km.h}^{-1}$ ) em todas as inclinações avaliadas para os tratores T1 (158 kW), T2 (132 kW), T3 (118 kW) e T4 (89 kW).

Tratores	0°	5°	10°	15°	20°	25°
<b>T1</b>	6,04 <sup>A</sup>	5,69 <sup>A</sup>	5,53 <sup>A</sup>	5,58 <sup>A</sup>	5,51 <sup>A</sup>	5,17 <sup>A</sup>
<b>T2</b>	5,11 <sup>B</sup>	4,73 <sup>B</sup>	4,68 <sup>B</sup>	4,45 <sup>B</sup>	4,49 <sup>B</sup>	4,14 <sup>B</sup>
<b>T3</b>	4,24 <sup>C</sup>	4,06 <sup>C</sup>	4,01 <sup>C</sup>	3,87 <sup>C</sup>	3,89 <sup>C</sup>	3,06 <sup>C</sup>
<b>T4</b>	4,22 <sup>C</sup>	4,02 <sup>C</sup>	4,08 <sup>C</sup>	3,89 <sup>C</sup>	3,94 <sup>C</sup>	3,82 <sup>B</sup>
<b>Média Geral</b>	4,9008	4,6250	4,5758	4,4500	4,4567	4,0450
<b>C.V.</b>	1,0770	1,5010	1,6499	2,6107	2,8382	2,8430
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9975	0,9948	0,9924	0,9862	0,9816	0,9886

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ ).

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5, a patinagem dos rodados lado direito aumentou conforme aumentaram as inclinações laterais da pista de ensaio para todos os tratores ensaiados. Conforme os resultados apresentados, houve diferença estatística em todas as inclinações avaliadas entre os tratores avaliados, porém, não houve diferença estatística entre os tratores T3 e T4 nas inclinações laterais de 0, 5 e 10 graus. Portanto houve um acréscimo bastante elevado na patinagem dos rodados lado direito conforme foram aumentando as inclinações, sendo o maior acréscimo para o trator T1, que foi de 113,21%. O trator T3 foi o que obteve a maior patinagem na inclinação de 25 graus, o que pode ser atribuído ao fato do trator estar equipado com rodado de maior aro e banda de rodagem estreita para a dimensão do mesmo trator, conforme pode ser visualizado na Tabela 1. Entretanto, o trator T4 foi o que obteve a menor patinagem na inclinação de 25 graus da pista lateral de ensaios, o que pode também ser atribuído, à maior transferência de peso lateral, pela ocorrência do deslocamento do centro de gravidade para o lado direito conforme elevaram-se as inclinações laterais, onde, conforme Barger et al. (1966), Chudakov (1977) e Mialhe (1980), o

centro de gravidade é o ponto da máquina onde se aplica o seu peso, cuja direção da força é normal à superfície da Terra e de direção geocêntrica.

**Tabela 5** - Valores médios de patinagem dos rodados lado direito (%) em todas as inclinações avaliadas para os tratores T1 (158 kW), T2 (132 kW), T3 (118 kW) e T4 (89 kW).

Tratores	0°	5°	10°	15°	20°	25°
<b>T1</b>	4,390 <sup>C</sup>	6,247 <sup>C</sup>	7,927 <sup>C</sup>	8,350 <sup>C</sup>	9,897 <sup>BC</sup>	9,360 <sup>C</sup>
<b>T2</b>	8,600 <sup>B</sup>	11,210 <sup>B</sup>	11,437 <sup>BC</sup>	14,030 <sup>AB</sup>	14,287 <sup>AB</sup>	15,533 <sup>B</sup>
<b>T3</b>	12,363 <sup>A</sup>	15,487 <sup>A</sup>	15,503 <sup>AB</sup>	17,517 <sup>A</sup>	16,890 <sup>A</sup>	25,110 <sup>A</sup>
<b>T4</b>	11,637 <sup>A</sup>	17,580 <sup>A</sup>	17,580 <sup>A</sup>	11,640 <sup>BC</sup>	8,223 <sup>C</sup>	6,727 <sup>C</sup>
<b>Média Geral</b>	9,2475	12,6467	13,1116	12,8842	12,3242	14,1825
<b>C.V.</b>	11,5835	11,7315	12,4908	9,6192	16,4016	13,8168
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9455	0,9459	0,9130	0,9379	0,8556	0,9635

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

Segundo os resultados apresentados na Tabela 6, a patinagem média dos rodados lado esquerdo aumentaram conforme elevaram as inclinações laterais da pista de ensaio para todos os tratores. Para a inclinação lateral de 5 graus, houve diferença estatística entre os tratores avaliados, porém, nas inclinações laterais 0, 10 e 15 graus não houve diferença estatística entre os tratores T3 e T4, também não houve diferença estatística entre os T1 e T2 nas inclinações de 10, 15 e 20 graus da pista lateral de ensaios. Houve um acréscimo bastante elevado na patinagem dos rodados lado esquerdo conforme aumentaram as inclinações, sendo o maior acréscimo para o trator T3, que foi de 318,60%, o mesmo trator obteve a maior patinagem entre todos os tratores ensaiados na inclinação de 25 graus, diferenciando-se estatisticamente dos demais tratores. O trator T4 proporcionou o menor acréscimo na patinagem dos rodados lado esquerdo, igual a 259,7%, porém foi o trator que obteve a maior patinagem nas inclinações de 15 e 20 graus da pista lateral de ensaios, conforme pode ser visualizado na Tabela 6.

**Tabela 6** - Valores médios de patinagem dos rodados lado esquerdo (%) em todas as inclinações avaliadas para os tratores T1 (158 kW), T2 (132 kW), T3 (118 kW) e T4 (89 kW).

Tratores	0°	5°	10°	15°	20°	25°
T1	4,196 <sup>C</sup>	7,523 <sup>D</sup>	9,243 <sup>B</sup>	8,743 <sup>B</sup>	10,607 <sup>C</sup>	17,320 <sup>C</sup>
T2	8,397 <sup>B</sup>	12,257 <sup>C</sup>	13,827 <sup>B</sup>	17,037 <sup>B</sup>	18,100 <sup>C</sup>	33,303 <sup>B</sup>
T3	12,973 <sup>A</sup>	22,777 <sup>A</sup>	22,587 <sup>A</sup>	28,047 <sup>A</sup>	28,573 <sup>B</sup>	54,317 <sup>A</sup>
T4	11,607 <sup>A</sup>	15,377 <sup>B</sup>	20,397 <sup>A</sup>	36,567 <sup>A</sup>	41,480 <sup>A</sup>	41,753 <sup>B</sup>
<b>Média Geral</b>	9,2933	14,4833	16,5133	22,5983	24,6900	36,6733
<b>C.V.</b>	6,9992	6,3368	12,1713	14,8058	11,8656	8,6876
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9818	0,9866	0,9343	0,9525	0,9692	0,9728

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 7, o trator T1 foi o que obteve menor patinagem média dos rodados em todas as inclinações laterais da pista de ensaio, comparando-se com os demais tratores. Observando-se a média geral da patinagem, conforme aumentaram as inclinações da pista de ensaio houve um acréscimo significativo de 174,23% na patinagem dos tratores. Para as inclinações laterais 0, 5, 10 e 15 graus, não houve diferença estatística entre os tratores T3 e T4, diferenciando-se entre si somente na inclinação lateral de 25 graus da pista de ensaio.

**Tabela 7** - Valores médios de patinagem do trator (%) em todas as inclinações avaliadas para os tratores T1 (158 kW), T2 (132 kW), T3 (118 kW) e T4 (89 kW).

Tratores	0°	5°	10°	15°	20°	25°
T1	4,29 <sup>C</sup>	6,89 <sup>C</sup>	8,59 <sup>B</sup>	8,54 <sup>C</sup>	10,25 <sup>C</sup>	13,34 <sup>C</sup>
T2	8,50 <sup>B</sup>	11,73 <sup>B</sup>	12,63 <sup>B</sup>	15,54 <sup>B</sup>	16,19 <sup>BC</sup>	24,42 <sup>B</sup>
T3	12,67 <sup>A</sup>	19,13 <sup>A</sup>	19,05 <sup>A</sup>	22,78 <sup>A</sup>	22,73 <sup>AB</sup>	39,72 <sup>A</sup>
T4	11,62 <sup>A</sup>	16,51 <sup>A</sup>	18,99 <sup>A</sup>	24,10 <sup>A</sup>	24,85 <sup>A</sup>	24,24 <sup>B</sup>
<b>Média Geral</b>	9,2725	13,5650	14,8125	17,7408	18,5067	25,4283
<b>C.V.</b>	9,2378	7,6261	12,0157	12,0321	12,5795	8,8198
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9667	0,9762	0,9270	0,9449	0,9244	0,9723

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Conforme os resultados apresentados na Tabela 8, a potência na barra de tração dos tratores analisados diminuiu conforme aumentaram as inclinações da pista de ensaio. O trator que apresentou o maior decréscimo da potência na barra de tração foi o T2 com 53,39%. Porém, o menor decréscimo de potência na barra de tração foi 34,36% para o trator T1, o qual obteve as maiores velocidades de deslocamento, conforme pode ser visualizado na Tabela 3, diferenciando-se estatisticamente dos demais tratores em todas as inclinações avaliadas. Contudo, o trator T1 foi o que obteve a maior potência disponível na barra de tração na inclinação de 25 graus. Nas inclinações 0 e 10 graus, não houve diferença estatística entre os tratores T3 e T4 e na inclinação 25 graus não houve diferença estatística entre os tratores T2, T3 e T4. Porém, na inclinação de 5 graus houve diferença estatística entre todos os tratores avaliados. Os tratores T2 e T3 não apresentaram diferença estatística nas inclinações 15 e 20 graus, conforme pode ser visualizado na Tabela 8. As maiores potências disponíveis na barra de tração para todos os tratores, ocorreram na inclinação de 0 grau, o que pode ser atribuído, que nesta mesma inclinação todos os tratores ensaiados proporcionaram a mesma força na barra de tração e desenvolveram as maiores velocidades de deslocamento, conforme podem ser visualizados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

**Tabela 8** - Valores médios de potência na barra de tração (kW) em todas as inclinações avaliadas para os tratores T1 (158 kW), T2 (132 kW), T3 (118 kW) e T4 (89 kW).

Tratores	0°	5°	10°	15°	20°	25°
<b>T1</b>	67,07 <sup>A</sup>	61,98 <sup>A</sup>	58,65 <sup>A</sup>	56,06 <sup>A</sup>	50,96 <sup>A</sup>	44,02 <sup>A</sup>
<b>T2</b>	56,82 <sup>B</sup>	50,43 <sup>B</sup>	47,24 <sup>B</sup>	42,86 <sup>B</sup>	38,05 <sup>B</sup>	26,48 <sup>B</sup>
<b>T3</b>	47,14 <sup>C</sup>	45,01 <sup>C</sup>	42,82 <sup>C</sup>	40,29 <sup>B</sup>	39,88 <sup>B</sup>	29,71 <sup>B</sup>
<b>T4</b>	46,87 <sup>C</sup>	42,35 <sup>D</sup>	41,38 <sup>C</sup>	37,34 <sup>C</sup>	31,53 <sup>C</sup>	23,31 <sup>B</sup>
<b>Média Geral</b>	54,4742	49,9442	47,5200	44,1392	40,1083	30,8808
<b>C.V.</b>	1,0068	1,7142	1,2679	2,2647	4,0732	9,2266
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9978	0,9936	0,9961	0,9904	0,9735	0,9392

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 9, a transferência de peso diminuiu conforme aumentaram as inclinações da pista de ensaio para todos os tratores. A maior transferência média de peso foi na inclinação de zero grau, também porque foi nesta inclinação que todos os tratores desenvolveram maior força média de tração, conforme pode ser visualizado na Tabela 2. O trator T4 decresceu em 44,98% a transferência média de peso conforme foram aumentando as inclinações da pista lateral, o que pode ser atribuído ao fato de ser o trator com menor carga estática sobre os rodados dianteiros e altura da barra de tração mais elevada. Entretanto, o trator T3 proporcionou o menor decréscimo na transferência média de peso, 12,63%, o que pode ser atribuído ao fato da altura de sua barra de tração ser a mais baixa entre todos os tratores avaliados. Nas inclinações laterais 0 e 5 graus, houve diferença estatística entre todos os tratores avaliados, porém, nas inclinações 20 e 25 graus os tratores T1, T2 e T4 não diferenciaram-se estatisticamente entre si, pois, para os mesmos tratores a altura das barras de trações estavam bem próximas, conforme pode ser visualizado na Tabela 1.

**Tabela 9** - Valores médios de transferência de peso (kN) em todas as inclinações avaliadas para os tratores T1 (158 kW), T2 (132 kW), T3 (118 kW) e T4 (89 kW).

Tratores	0°	5°	10°	15°	20°	25°
<b>T1</b>	5,940 <sup>D</sup>	5,830 <sup>D</sup>	5,673 <sup>C</sup>	5,373 <sup>B</sup>	4,950 <sup>B</sup>	4,553 <sup>B</sup>
<b>T2</b>	7,050 <sup>A</sup>	6,750 <sup>A</sup>	6,400 <sup>A</sup>	6,107 <sup>A</sup>	5,370 <sup>B</sup>	4,050 <sup>B</sup>
<b>T3</b>	6,360 <sup>C</sup>	6,333 <sup>C</sup>	6,107 <sup>B</sup>	5,953 <sup>A</sup>	5,863 <sup>A</sup>	5,557 <sup>A</sup>
<b>T4</b>	6,920 <sup>B</sup>	6,570 <sup>B</sup>	6,310 <sup>A</sup>	5,970 <sup>A</sup>	4,990 <sup>B</sup>	3,807 <sup>B</sup>
<b>Média Geral</b>	6,5675	6,3708	6,1225	5,8508	5,2933	4,4917
<b>C.V.</b>	0,0761	0,8549	1,1332	1,7883	3,0985	6,3149
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9999	0,9878	0,9703	0,9380	0,9097	0,9193

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

Conforme os resultados apresentados na Tabela 10, a carga dinâmica diminuiu conforme aumentaram as inclinações da pista lateral, havendo diferença estatística entre todos os tratores em todas as inclinações avaliadas, o que pode ser atribuído ao fato de todos os tratores possuírem cargas estáticas diferentes entre si. O trator T1 apresentou a maior carga dinâmica em todas as inclinações laterais, sendo que o mesmo trator possuía o maior peso

estático sobre os rodados traseiros e maior distância entre árvores, conforme pode ser visualizado na Tabela 1. Porém o trator T4 foi o que apresentou a menor carga dinâmica em todas as inclinações, também porque era o trator que possuía o menor peso estático sobre os rodados traseiros comparando-se com os demais tratores, conforme pode ser visualizado na Tabela 1, porém o mesmo proporcionou uma das maiores transferências de peso entre os tratores ensaiados, conforme pode ser visualizado na Tabela 9. A carga dinâmica, segundo Mialhe (1974), é o peso estático sobre o rodado traseiro acrescido da carga relativa à transferência de peso.

**Tabela 10** - Valores médios de carga dinâmica (kN) em todas as inclinações avaliadas para os tratores T1 (158 kW), T2 (132 kW), T3 (118 kW) e T4 (89 kW).

Tratores	0°	5°	10°	15°	20°	25°
<b>T1</b>	76,94 <sup>A</sup>	76,83 <sup>A</sup>	76,67 <sup>A</sup>	76,37 <sup>A</sup>	75,95 <sup>A</sup>	75,55 <sup>A</sup>
<b>T2</b>	70,05 <sup>B</sup>	69,75 <sup>B</sup>	69,40 <sup>B</sup>	69,11 <sup>B</sup>	68,37 <sup>B</sup>	67,05 <sup>B</sup>
<b>T3</b>	59,36 <sup>C</sup>	59,33 <sup>C</sup>	59,11 <sup>C</sup>	58,95 <sup>C</sup>	58,86 <sup>C</sup>	58,55 <sup>C</sup>
<b>T4</b>	50,81 <sup>D</sup>	50,46 <sup>D</sup>	50,20 <sup>D</sup>	49,86 <sup>D</sup>	48,88 <sup>D</sup>	47,69 <sup>D</sup>
<b>Média Geral</b>	64,2900	64,0933	63,8450	63,5733	63,0158	62,2142
<b>C.V.</b>	0,0077	0,0849	0,1087	0,1646	0,2603	0,4559
<b>R<sup>2</sup></b>	1,0000	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9996

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 11, o coeficiente de tração diminuiu conforme aumentaram as inclinações da pista lateral. O trator T4 apresentou o maior decréscimo, 32,6% no coeficiente de tração, conforme aumentaram as inclinações, diferenciando-se estatisticamente dos demais tratores nas inclinações 0, 5, 10, 15 e 25 graus, apresentando maior coeficiente de tração. Entretanto, não houve diferença estatística entre os tratores T3 e T4 na inclinação de 20 graus. Segundo Mialhe (1974), o coeficiente de tração expressa em termos práticos, a capacidade de o trator utilizar seu próprio peso em benefício da aderência dos pneus e de ganho em tração, portanto, o trator T4 foi o que melhor expressou esta capacidade.

**Tabela 11** - Valores médios de coeficiente de tração em todas as inclinações avaliadas para os tratores T1 (158 kW), T2 (132 kW), T3 (118 kW) e T4 (89 kW).

Tratores	0°	5°	10°	15°	20°	25°
<b>T1</b>	0,520 <sup>D</sup>	0,511 <sup>D</sup>	0,498 <sup>C</sup>	0,474 <sup>D</sup>	0,439 <sup>B</sup>	0,405 <sup>BC</sup>
<b>T2</b>	0,571 <sup>C</sup>	0,549 <sup>C</sup>	0,523 <sup>C</sup>	0,502 <sup>C</sup>	0,446 <sup>B</sup>	0,343 <sup>C</sup>
<b>T3</b>	0,675 <sup>B</sup>	0,672 <sup>B</sup>	0,651 <sup>B</sup>	0,636 <sup>B</sup>	0,627 <sup>A</sup>	0,598 <sup>A</sup>
<b>T4</b>	0,787 <sup>A</sup>	0,753 <sup>A</sup>	0,727 <sup>A</sup>	0,692 <sup>A</sup>	0,590 <sup>A</sup>	0,461 <sup>B</sup>
<b>Média Geral</b>	0,6382	0,6213	0,5998	0,5758	0,5255	0,4518
<b>C.V.</b>	0,0452	0,6349	0,8739	1,4137	2,6113	5,2117
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9999	0,9992	0,9984	0,9960	0,9869	0,9698

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

Conforme os resultados apresentados na Tabela 12, o rendimento de tração diminuiu conforme aumentaram as inclinações da pista lateral. O trator T4 apresentou o maior decréscimo, 26,5% no rendimento de tração, mas segundo Mialhe (1974) o rendimento de tração indica a perda de potência do motor para a barra de tração, portanto, para a inclinação de 25 graus da pista lateral, todos os tratores apresentaram a menor perda de potência do motor para a barra de tração. Os tratores T1 e T3, foram as máquinas que apresentaram o menor decréscimo de rendimento de tração conforme aumentaram as inclinações laterais, respectivamente, 14,6% e 14,7%. Nas inclinações 5 e 10 graus não houve diferença estatística entre os tratores T1, T2 e T3 e na inclinação de 20 graus da pista lateral não houve diferença estatística entre os tratores T1, T3 e T4.

**Tabela 12** - Valores médios de rendimento de tração em todas as inclinações avaliadas para os tratores T1 (158 kW), T2 (132 kW), T3 (118 kW) e T4 (89 kW).

Tratores	0°	5°	10°	15°	20°	25°
<b>T1</b>	0,424 <sup>B</sup>	0,392 <sup>B</sup>	0,371 <sup>B</sup>	0,355 <sup>B</sup>	0,323 <sup>A</sup>	0,278 <sup>A</sup>
<b>T2</b>	0,430 <sup>B</sup>	0,382 <sup>B</sup>	0,358 <sup>B</sup>	0,325 <sup>C</sup>	0,288 <sup>B</sup>	0,200 <sup>B</sup>
<b>T3</b>	0,399 <sup>C</sup>	0,381 <sup>B</sup>	0,363 <sup>B</sup>	0,342 <sup>BC</sup>	0,338 <sup>A</sup>	0,252 <sup>AB</sup>
<b>T4</b>	0,527 <sup>A</sup>	0,476 <sup>A</sup>	0,465 <sup>A</sup>	0,419 <sup>A</sup>	0,354 <sup>A</sup>	0,262 <sup>A</sup>
<b>Média Geral</b>	0,4453	0,4078	0,3893	0,3601	0,3257	0,2481
<b>C.V.</b>	1,0093	1,5143	1,2498	2,2859	3,4962	8,3064
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9957	0,9879	0,9939	0,9746	0,9029	0,8021

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

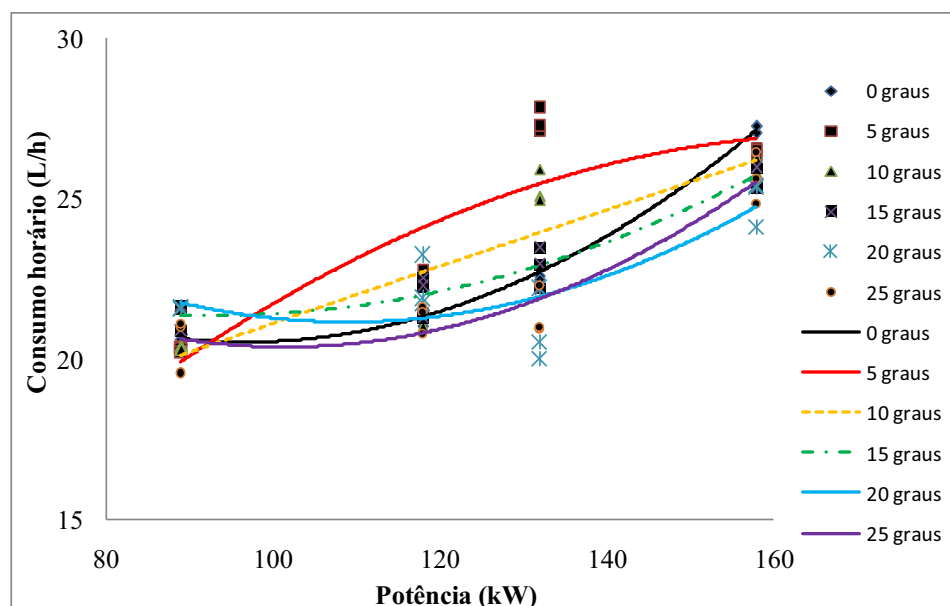
#### 6.4 Análise de regressão dos resultados obtidos nas faixas de potência para todas as inclinações

Neste capítulo serão abordadas as análises de regressão das faixas de potência de tratores para as inclinações laterais da pista de ensaio de 0, 5, 10, 15, 20 e 25 graus. Os resultados que não obtiveram significância estatística serão apresentados por (ns) e os resultados significativos serão apresentados com  $P < 0,01^{**}$  e  $P < 0,05^{*}$ .

De acordo com os resultados apresentados na Figura 31, o consumo horário aumenta conforme eleva a potência nominal dos tratores, portanto tratores com potência no motor próxima de 158 kW consomem mais do que tratores de 89 kW de potência no motor para a inclinação de zero grau, entretanto tratores com 158 e 132 kW de potência no motor apresentaram maiores valores de consumo horário para a inclinação de 5 graus, não diferenciando-se estatisticamente entre si, conforme pode ser observado na Tabela 2. Sendo menor o consumo horário para tratores que possuem motores com potência nominal de 89 kW. A curva de regressão quadrática para a inclinação lateral de 10 graus apresentada na Figura 31 mostrou comportamento semelhante à da inclinação de 5 graus da pista lateral, conforme pode ser visualizado na Figura 31. Não houve diferença estatística entre os tratores de 158 e 132 kW na inclinação lateral de 10 graus, conforme pode ser observado na Tabela 3, sendo menor o

consumo horário para tratores que possuem motores com potência de 89 kW, diferenciando-se estatisticamente dos demais tratores avaliados.

Segundo os resultados apresentados na Figura 31, o consumo horário aumenta conforme eleva a potência nominal dos tratores, entretanto, a curva de regressão quadrática não apresentou semelhança na inclinação de vinte graus com as demais inclinações laterais da pista de ensaio já discutida, sendo que os tratores com 132, 118 e 89 kW de potência não diferenciaram estatisticamente entre si, o que pode ser relacionado com a velocidade de deslocamento desenvolvida por eles terem sido bem próximas entre os mesmos tratores, mesmo que o trator de 132 kW ter apresentado diferença estatística dos tratores com 118 e 89 kW de potência no motor, conforme pode ser observado na Tabela 4. Também não houve semelhança na tendência da curva de regressão quadrática na inclinação de 25 graus com a inclinação de 20 graus lateral da pista de ensaio, conforme pode ser visualizado na Figura 31. O consumo horário para o trator com potência nominal no motor de 158 kW na inclinação lateral de 25 graus da pista de ensaio, foi maior do que para as demais potências no motor, o que pode ser atribuído, que o mesmo trator desenvolveu maior força de tração diferenciando estatisticamente dos tratores de 132 e 89 kW de potência no motor, não havendo diferença estatística com o trator de 118 kW de potência no motor, conforme pode ser observado na Tabela 2. As equações de regressão quadrática do consumo horário em todas as inclinações estão apresentadas na Tabela 13.



**Figura 31** – Curva de regressão quadrática do consumo horário (L.h<sup>-1</sup>) para todas as inclinações.

**Tabela 13** – Equações de regressão quadrática dos resultados obtidos de força de tração (kN) para todas inclinações nas faixas de potência avaliadas.

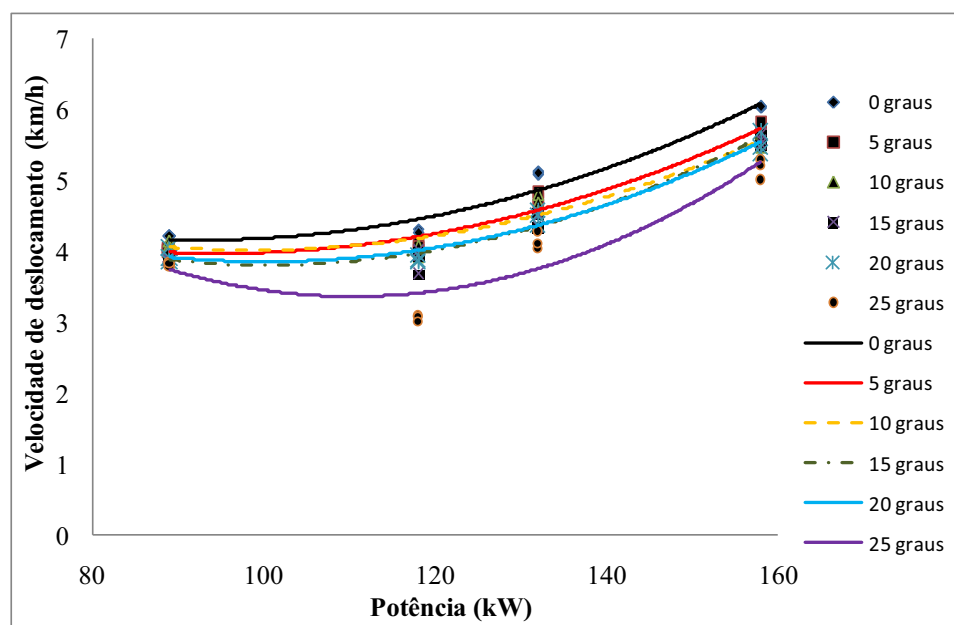
Inclinação	X <sup>2</sup>	X	Constante	R <sup>2</sup>	Valor F
<b>0 graus</b>	1,77E-03	-0,343	37,138	0,9829	257,95**
<b>5 graus</b>	-1,08E-03	0,368	-4,294	0,7706	15,11**
<b>10 graus</b>	-3,19E-05	0,096	11,779	0,8171	20,11**
<b>15 graus</b>	1,05E-03	-0,196	30,515	0,9353	65,08**
<b>20 graus</b>	1,49E-03	-0,325	38,90	0,6502	8,36*
<b>25 graus</b>	1,61E-03	-0,327	37,02	0,8903	36,53**

Resultados significativos apresentados com \* P<0,05; \*\* P<0,01 e ns (não significativos)

Conforme apresentado na Figura 32, as curvas de regressão quadrática da velocidade de deslocamento dos tratores ensaiados aumentaram, observa-se que, mantendo a mesma força de tração e relação de transmissão, o aumento da potência nominal dos motores resultaram em aumento das velocidades de deslocamento. Portanto, tratores com potência no motor mais elevadas desenvolvem maior velocidade de deslocamento e em conseqüência

consomem mais combustível, conforme pode ser observado na Figura 30. Observou-se que, o comportamento da curva de regressão quadrática na inclinação de 15 graus foi semelhante à da inclinação de 10 graus da pista de ensaios, conforme pode ser observado na Figura 32. Observou-se, também, que o comportamento da relação linear quadrática na inclinação de 20 graus foi semelhante à da inclinação de 15 graus da pista lateral de ensaios, conforme pode ser observado na Figura 32. Entretanto os tratores com 118 e 89 kW de potência no motor, não diferenciaram estatisticamente entre si, conforme pode ser observado na Tabela 4. Sendo que, os mesmos tratores, apresentaram menores velocidades de deslocamento na inclinação de 25 graus da pista lateral de ensaios, conforme pode ser observado na Figura 32. O trator com potência no motor de 158 kW diferenciou-se estatisticamente dos demais tratores, conforme pode ser visualizado na Tabela 4.

As equações de regressão quadrática da velocidade de deslocamento em todas as inclinações estão apresentadas na Tabela 14.



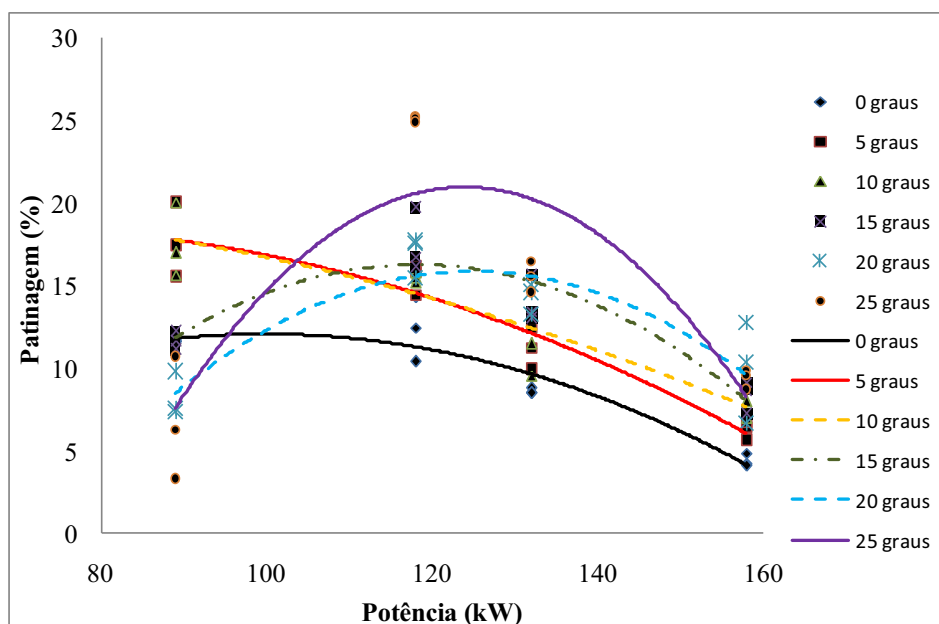
**Figura 32** – Curva de regressão quadrática da velocidade de deslocamento ( $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) para todas as inclinações.

**Tabela 14** – Equações de regressão quadrática dos resultados obtidos de velocidade de deslocamento ( $\text{km.h}^{-1}$ ) para todas inclinações nas faixas de potência avaliadas.

<b>Inclinação</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>X</b>	<b>Constante</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Valor F</b>
<b>0 graus</b>	4,44E-04	-0,0818	7,948	0,9464	79,38**
<b>5 graus</b>	4,36E-04	-0,082	7,886	0,9653	125,38**
<b>10 graus</b>	4,39E-04	-0,086	8,280	0,9468	80,07**
<b>15 graus</b>	5,43E-04	-0,109	9,281	0,9720	156,42**
<b>20 graus</b>	-3,47E-03	0,681	-10,970	0,7919	115,69**
<b>25 graus</b>	8,27E-04	-0,182	13,450	0,8657	29,03**

Resultados significativos apresentados com \*  $P < 0,05$ ; \*\*  $P < 0,01$  e ns (não significativos)

De acordo com a Figura 33, a patinagem dos rodados lado direito dos tratores é maior quando estão numa faixa de potência nominal do motor próximo de 118 kW, para as inclinações de 15, 20 e 25 graus, o que pode ser atribuído, que o trator de 118 kW ensaiado utilizava pneus com banda de rodagem mais estreita do que os demais tratores ensaiados, portanto, quanto mais larga a banda de rodagem dos rodados, menor será a patinagem, conforme pode ser observado na Tabela 1. Entretanto a patinagem dos rodados lado direito diminui conforme a potência nominal dos motores é próxima de 158 kW, para a inclinação de 0, 5 e 10 graus da pista lateral de ensaios, conforme a curva de regressão quadrática apresentada na Figura 33. Mas, as curvas de regressão quadrática das inclinações 20 e 25 graus da pista lateral de ensaios, mostram que a patinagem dos rodados lado direito para tratores com potência nominal no motor próxima de 158 kW foi maior. Porém, o trator de 89 kW de potência no motor, apresentou maior patinagem dos rodados lado direito para as inclinações de 0, 5 e 10 graus. As equações de regressão quadrática da patinagem dos rodados lado direito em todas as inclinações estão apresentadas na Tabela 15.



**Figura 33** – Curva de regressão quadrática da patinagem dos rodados lado direito (%) para todas as inclinações.

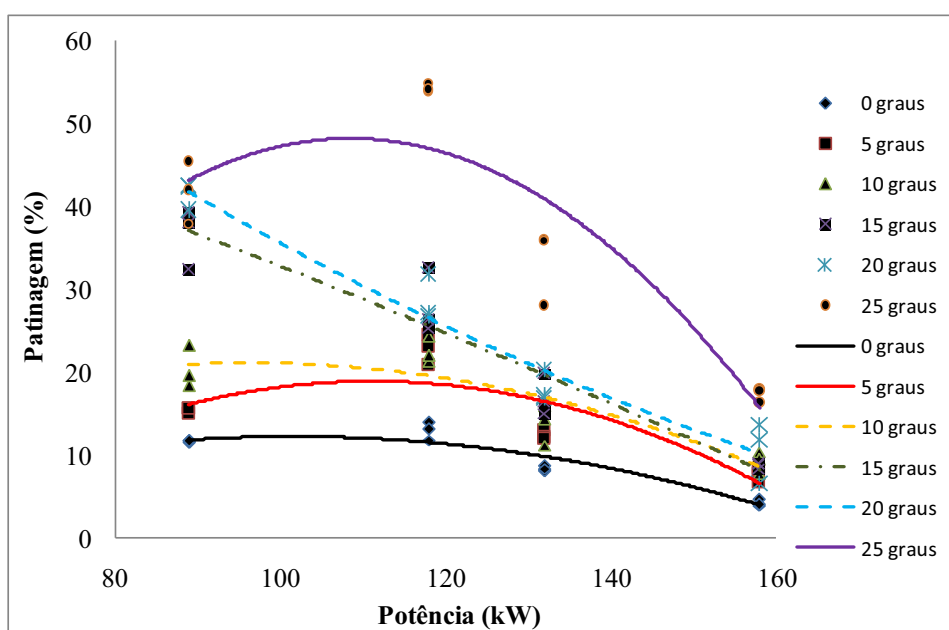
**Tabela 15** – Equações de regressão quadrática dos resultados obtidos de patinagem dos rodados lado direito (%) para todas as inclinações nas faixas de potência avaliadas.

Inclinação	X <sup>2</sup>	X	Constante	R <sup>2</sup>	Valor F
0 graus	-2,35E-03	0,468	-11,281	0,8815	33,47**
5 graus	-1,48E-03	0,196	12,093	0,9135	47,53**
10 graus	-8,53E-04	0,065	18,738	0,8646	28,74**
15 graus	-5,18E-03	1,226	-56,156	0,8413	23,87**
20 graus	-5,75E-03	1,437	-73,895	0,7755	15,54**
25 graus	-1,09E-02	2,707	-146,873	0,7386	12,72**

Resultados significativos apresentados com \* P<0,05; \*\* P<0,01 e ns (não significativos)

Conforme apresentado na Figura 34, as curvas de regressão quadrática da patinagem dos rodados lado esquerdo diminui conforme aumenta a potência nominal no motor dos tratores, portanto tratores com potência no motor próxima de 158 kW patinam menos do que tratores com potência no motor próxima de 89 kW para todas as inclinações laterais avaliadas, sendo que na inclinação de 0 graus da pista lateral de ensaios, todos os

tratores diferenciaram-se estatisticamente entre si, através da Tabela 6 pode-se observar estas diferenças. O trator de 118 kW de potência no motor apresentou patinação maior nos rodados lado esquerdo do que nos rodados lado direito nas inclinações de 5, 10, 15, 20 e 25 graus, o que pode ser atribuído a maior transferência de peso para o lado direito, conforme elevaram as inclinações, deslocando-se, portanto, o centro de gravidade do trator, conforme Mialhe (1980). As equações de regressão quadrática da patinação dos rodados lado esquerdo em todas as inclinações estão apresentadas na Tabela 16.



**Figura 34** – Curva de regressão quadrática da patinação dos rodados lado esquerdo (%) para todas as inclinações.

Conforme pode ser observado na Tabela 16, as inclinações 5 e 10 graus da pista lateral de ensaios, apresentaram nível de significância de 5% de probabilidade, sendo que, as demais inclinações apresentaram nível de significância de 1% de probabilidade para as equações de curva de regressão quadrática.

**Tabela 16** – Equações de regressão quadrática dos resultados obtidos de patinagem dos rodados lado esquerdo (%) para todas inclinações nas faixas de potência avaliadas.

<b>Inclinação</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>X</b>	<b>Constante</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Valor F</b>
<b>0 graus</b>	-2,64E-03	0,537	-14,979	0,8900	36,43**
<b>5 graus</b>	-5,64E-03	1,255	-50,890	0,6891	9,97*
<b>10 graus</b>	-3,31E-03	0,638	-9,576	0,7526	13,69*
<b>15 graus</b>	-5,34E-04	-0,286	66,761	0,9211	52,51**
<b>20 graus</b>	1,7E-03	-0,881	106,733	0,9511	87,54**
<b>25 graus</b>	-1,32E-02	2,886	-108,418	0,8133	19,61**

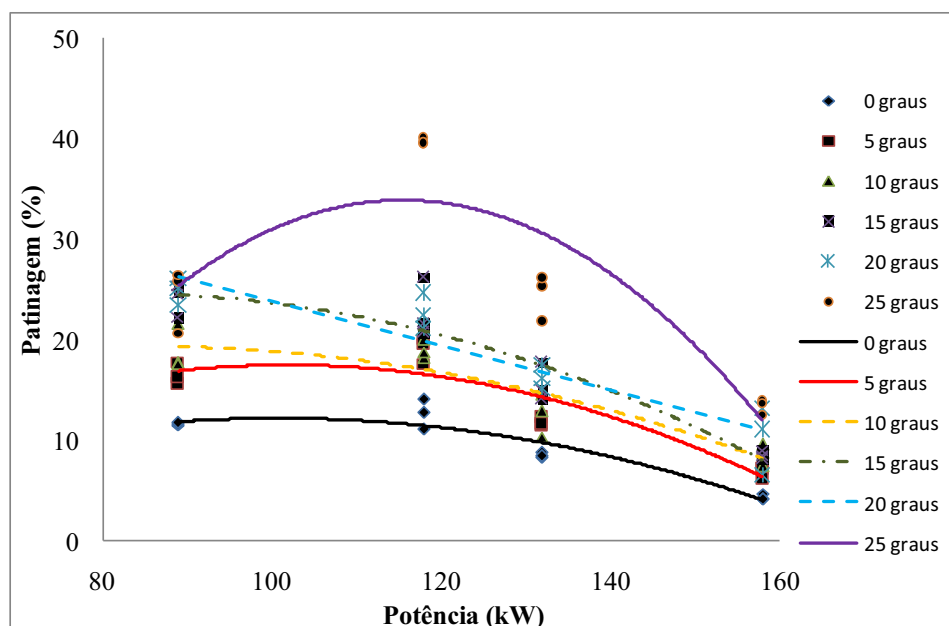
Resultados significativos apresentados com \* P<0,05; \*\* P<0,01 e ns (não significativos)

Segundo as curvas de regressão quadrática apresentadas na Figura 35, a patinagem dos tratores diminui conforme aumenta a potência nominal do motor, sendo menor para tratores que possuem potência nominal do motor próximo de 158 kW, o qual diferenciou estatisticamente dos demais tratores, entretanto a patinagem para tratores com 118 e 89 kW de potência não diferenciaram estatisticamente entre si, conforme pode ser observado na Tabela 7.

Conforme a curva de regressão quadrática apresentada na Figura 35, a patinagem foi maior para o trator com potência nominal do motor de 89 kW na inclinação de 15 graus, comparando-se com a inclinação de 10 graus. Entretanto, a patinagem dos tratores aumentaram, conforme elevaram as inclinações da pista lateral de ensaio, o que pode ser atribuído à menor aderência dos pneus com o solo, pois pode haver um deslocamento do centro de gravidade, conforme aumenta-se a inclinação lateral, contudo, podendo haver assim uma transferência de peso lateral.

O trator ensaiado de 118 kW de potência no motor, apresentou a maior patinagem na inclinação de 25 graus da pista lateral de ensaios, o que pode ser atribuído à menor largura da banda de rodagem, comparando-se com os demais tratores, conforme pode ser observado na Figura 35.

As equações de regressão quadrática da patinagem dos tratores em todas as inclinações estão apresentadas na Tabela 17.



**Figura 35** – Curva de regressão quadrática da patinagem dos tratores (%) para todas as inclinações.

**Tabela 17** – Equações de regressão quadrática dos resultados obtidos de patinagem dos tratores (%) para todas inclinações nas faixas de potência avaliadas.

Inclinação	X <sup>2</sup>	X	Constante	R <sup>2</sup>	Valor F
0 graus	-2,49E-03	0,502	13,120	0,8901	36,45**
5 graus	-3,57E-03	0,726	-19,428	0,8231	20,93**
10 graus	-2,08E-03	0,351	4,576	0,8098	19,17**
15 graus	-2,86E-03	0,470	5,275	0,8934	37,70**
20 graus	-2,02E-03	0,278	16,420	0,8764	31,92**
25 graus	-0,012	2,796	-127,6	0,7611	14,33**

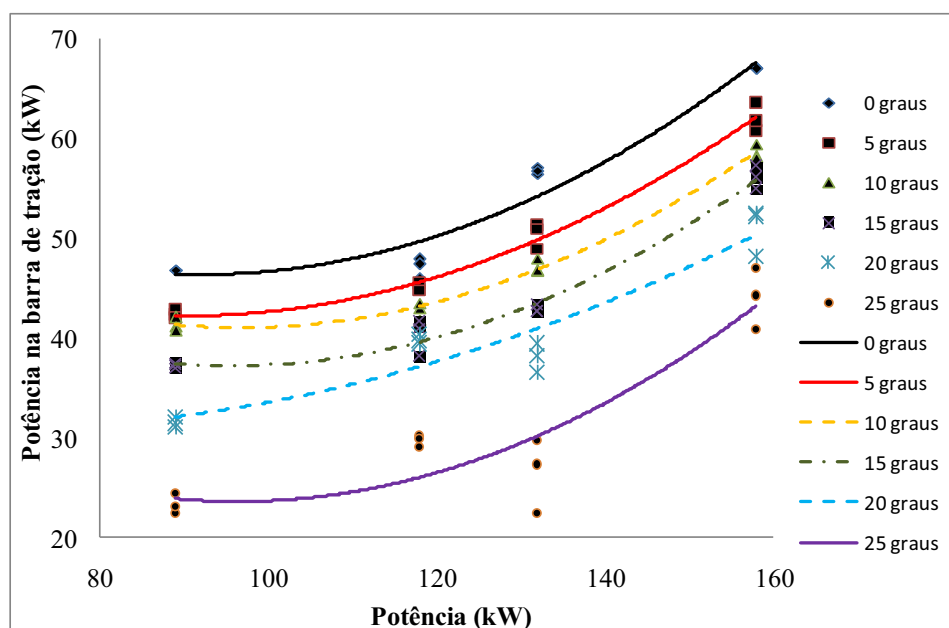
Resultados significativos apresentados com \* P<0,05; \*\* P<0,01 e ns (não significativos)

Conforme os resultados apresentados na Figura 36, a potência na barra de tração aumenta conforme aumenta a potência nominal do motor dos tratores, sendo maior a potência na barra de tração para tratores com potência no motor próximos de 158 kW. Portanto, quanto maior a velocidade de deslocamento e força de tração, maior será a potência na barra de tração, conforme pode ser observado nas Tabelas 2 e 4, onde o trator T1 (158 kW) obteve os

maiores valores para a inclinação lateral de 0 grau. Entretanto, a potência na barra de tração para as demais inclinações foram menores do que para inclinação da pista lateral de 0 grau, conforme pode ser visualizado na Figura 36.

De acordo com a curva de regressão quadrática apresentada na Figura 36, a potência na barra de tração aumenta conforme eleva a potência nominal do motor dos tratores, sendo menor a potência na barra de tração para o trator com potência no motor de 89 kW. Entretanto, a potência na barra de tração para a inclinação de vinte e cinco graus foi menor do que para as demais inclinações da pista lateral, conforme pode ser visualizado na Figura 36. Mostrando assim, que quanto menores as velocidades de deslocamento e força de tração, desenvolvidas pelos tratores, menor será a potência na barra de tração.

As equações de regressão quadrática da potência na barra de tração em todas as inclinações estão apresentadas na Tabela 18.



**Figura 36** – Curva de regressão quadrática de potência na barra de tração (kW) para todas as inclinações.

**Tabela 18** – Equações de regressão quadrática dos resultados obtidos de potência na barra de tração (kW) para todas inclinações nas faixas de potência avaliadas.

Inclinação	X <sup>2</sup>	X	Constante	R <sup>2</sup>	Valor F
<b>0 graus</b>	4,87E-03	-0,895	87,490	0,9469	80,17**
<b>5 graus</b>	4,29E-03	-0,773	77,047	0,9853	300,78**
<b>10 graus</b>	4,72E-03	-0,913	85,209	0,9910	495,69**
<b>15 graus</b>	4,83E-03	-0,926	81,636	0,9791	211,18**
<b>20 graus</b>	2,26E-03	-0,293	40,240	0,8896	36,25**
<b>25 graus</b>	5,14E-03	-0,991	71,480	0,8326	22,38**

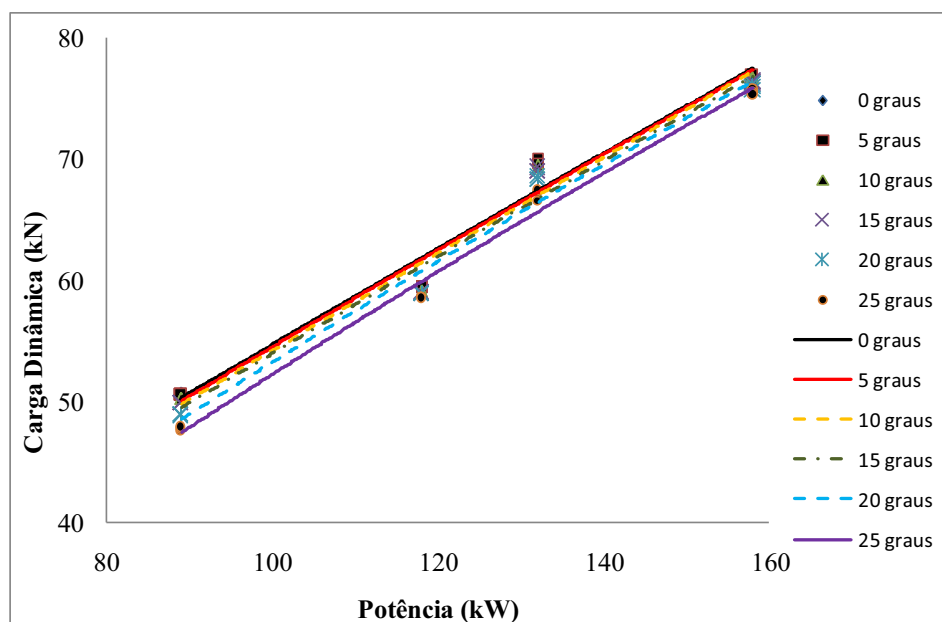
Resultados significativos apresentados com \* P<0,05; \*\* P<0,01 e ns (não significativos)

De acordo com os resultados apresentados na Figura 37, a curva de regressão quadrática da carga dinâmica aumenta conforme eleva a potência nominal do motor, sendo menor para tratores com potência no motor próximos de 89 kW, mostrando assim que quanto menor a carga estática sobre o rodado traseiro, conseqüentemente será menor a carga dinâmica, conforme pode ser observado na Tabela 1, onde o trator T4 apresentou uma carga estática de 43,42 kN sobre os rodados traseiros, enquanto que o trator T1 apresentou uma carga estática de 71,00 kN sobre os rodados traseiros. Entretanto, a carga dinâmica para todas as inclinações da pista lateral de ensaios, apresentou comportamento na curva de regressão quadrática semelhante. Porém, houve diferença estatística entre todos os tratores avaliados para a inclinação lateral de 5 graus da pista de ensaio, conforme pode ser observado na Tabela 10.

A carga dinâmica para a inclinação de dez graus apresentou comportamento na relação linear quadrática semelhante à apresentada para as demais inclinações discutidas, onde as inclinações laterais 0, 5 e 10 graus apresentaram diferença estatística entre todos os tratores avaliados, sendo que o trator de 158 kW de potência no motor apresentou uma carga estática de 76,67 kN, conforme pode ser observado na Tabela 9.

Portanto, a carga dinâmica não sofreu influência na variação das inclinações laterais avaliadas em qualquer trator utilizado neste trabalho.

As equações de regressão quadrática da carga dinâmica em todas as inclinações estão apresentadas na Tabela 19.



**Figura 37** – Curva de regressão quadrática da carga dinâmica (kN) para todas as inclinações.

**Tabela 19** – Equações de regressão quadrática dos resultados obtidos de carga dinâmica (kN) para todas inclinações nas faixas de potência avaliadas.

Inclinação	X <sup>2</sup>	X	Constante	R <sup>2</sup>	Valor F
<b>0 graus</b>	-1,26E-04	0,425	13,490	0,9649	124,01**
<b>5 graus</b>	-1,86E-04	0,442	12,098	0,9693	141,90**
<b>10 graus</b>	-1,17E-04	0,426	12,730	0,9711	151,25**
<b>15 graus</b>	-2,04E-04	0,448	11,160	0,9727	160,35**
<b>20 graus</b>	-4,61E-04	0,517	6,110	0,9809	231,60**
<b>25 graus</b>	-4,48E-04	0,522	4,493	0,9903	460,16**

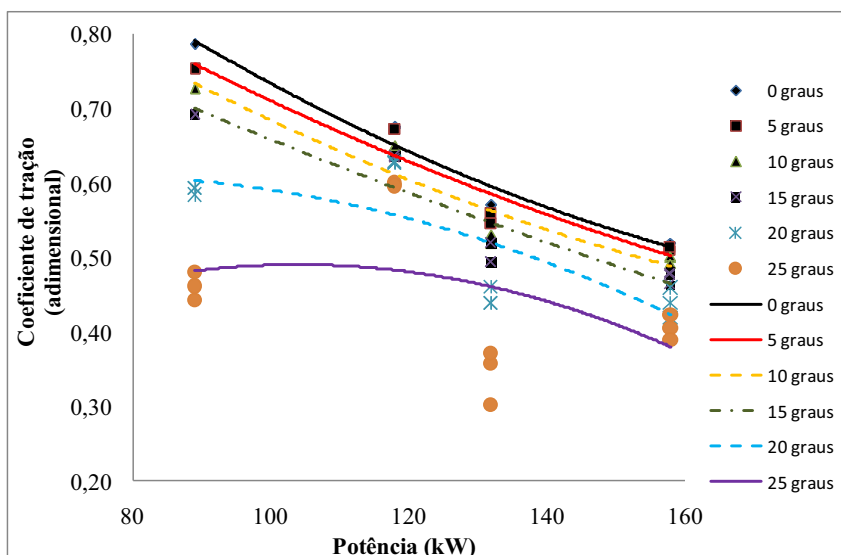
Resultados significativos apresentados com \* P<0,05; \*\* P<0,01 e ns (não significativos)

Segundo as curvas de regressão quadrática apresentadas na Figura 38, o coeficiente de tração diminui conforme aumenta a potência nominal no motor, sendo menor para tratores com potência no motor mais elevada, portanto, estes tratores possuem menor capacidade de utilizar seu próprio peso em benefício da aderência dos pneus e de ganho em tração. Então o trator com potência de 89 kW no motor, foi melhor em ganho de tração na inclinação lateral de cinco graus. Entretanto o coeficiente de tração para a inclinação de 10

graus foi menor do que na inclinação de 5 graus da pista lateral de ensaios, conforme pode ser observado na Figura 38.

Segundo a relação linear quadrática apresentada na Figura 38, o coeficiente de tração diminui conforme aumenta a potência nominal no motor. Entretanto a relação linear quadrática do coeficiente de tração mostrou que o trator, com 158 kW de potência no motor, possui uma menor capacidade de utilizar seu próprio peso em benefício da aderência dos pneus e de ganho em tração para todas as inclinações da pista lateral de ensaios.

As equações de regressão quadrática do coeficiente de tração em todas as inclinações estão apresentadas na Tabela 20.



**Figura 38** – Curva de regressão quadrática de coeficiente de tração para todas as inclinações.

**Tabela 20** – Equações de regressão quadrática dos resultados obtidos de coeficiente de tração para todas inclinações nas faixas de potência avaliadas.

Inclinação	X <sup>2</sup>	X	Constante	R <sup>2</sup>	Valor F
0 graus	2,08E-05	-9,16E-03	1,442	0,9709	150,35**
5 graus	1,28E-05	-6,88E-03	1,270	0,9287	58,66**
10 graus	1,64E-05	-7,61E-03	1,281	0,9071	43,96**
15 graus	6,54E-06	-5,04E-03	1,096	0,8766	31,98**
20 graus	-2,54E-05	3,65E-03	0,479	0,6131	7,13*
25 graus	-3,84E-05	7,98E-03	0,076	0,1981	1,11 ns

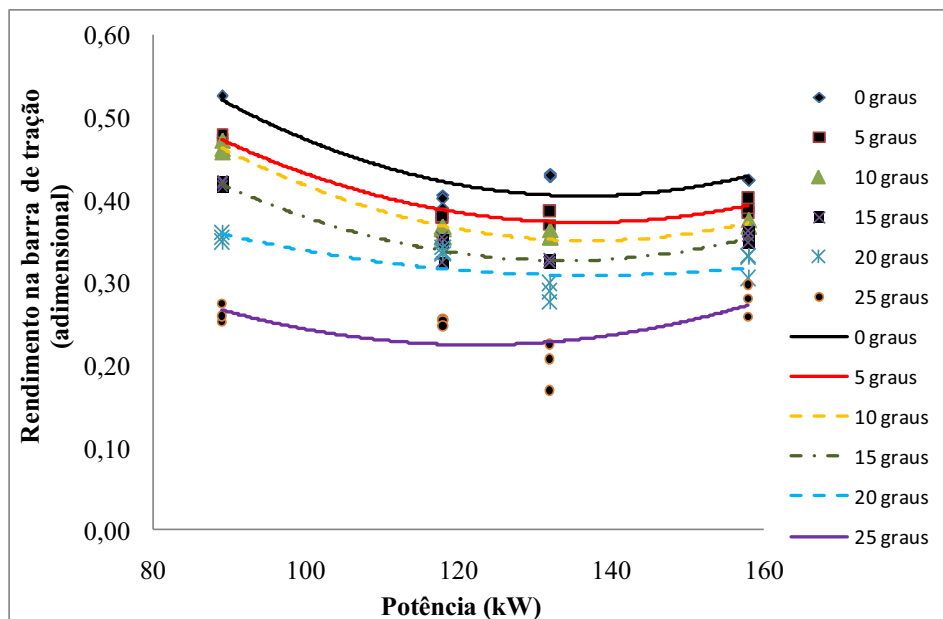
Resultados significativos apresentados com \* P<0,05; \*\* P<0,01 e ns (não significativos)

Conforme os resultados apresentados na Figura 39, o rendimento de tração é menor para tratores com potência nominal no motor próximo de 118 kW, portanto neste caso a perda de potência no motor para a barra de tração foi menor, sendo então mais eficientes do que tratores com 158 e 89 kW de potência no motor, conforme pode ser visualizado na Tabela 12, onde os tratores T1 e T4 apresentaram diferença estatística entre si e do trator T3 para a inclinação de 0 grau.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 39, a curva de regressão quadrática do rendimento de tração é menor para tratores com potência nominal no motor de 132 kW, portanto neste caso a perda de potência no motor para a barra de tração é menor. Entretanto o rendimento de tração para a inclinação de cinco graus foi menor do que para a inclinação da pista lateral de zero grau, conforme pode ser observado na Figura 38, portanto mais eficiente na inclinação de cinco graus.

Segundo a curva de regressão quadrática apresentada na Figura 39, o rendimento de tração é menor para tratores com potência nominal no motor de 132 kW, portanto neste caso a perda de potência no motor para a barra de tração foi menor. Entretanto o rendimento de tração para a inclinação de 10 graus foi menor do que na inclinação da pista lateral de 5 graus para tratores com potência no motor de 158 kW, portanto mais eficiente na inclinação de dez graus. Portanto neste caso a perda de potência no motor para a barra de tração foi menor, conforme Mialhe (1974).

As equações de regressão quadrática do rendimento de tração em todas as inclinações estão apresentadas na Tabela 21.



**Figura 39** – Curva de regressão quadrática de rendimento de tração para todas as inclinações.

**Tabela 21** – Equações de regressão quadrática dos resultados obtidos de rendimento de tração para todas inclinações nas faixas de potência avaliadas.

Inclinação	X <sup>2</sup>	X	Constante	R <sup>2</sup>	Valor F
0 graus	5,21E-05	-0,014	1,374	0,8704	30,23**
5 graus	4,47E-05	-0,012	1,206	0,9592	105,82**
10 graus	4,89E-05	-0,013	1,270	0,9783	203,67**
15 graus	4,59E-05	-0,012	1,150	0,9577	102,00**
20 graus	2,11E-05	-5,79E-03	0,706	0,5461	5,41*
25 graus	3,77E-05	9,23E-03	0,789	0,4319	3,42 ns

Resultados significativos apresentados com \* P<0,05; \*\* P<0,01 e ns (não significativos)

### 6.5 Análise de regressão dos resultados obtidos para cada trator nas faixas de inclinação lateral avaliadas

Neste capítulo serão abordadas as análises de regressão das faixas de inclinações laterais da pista de ensaio de 0, 5, 10, 15, 20 e 25 graus, para os tratores T1, T2, T3

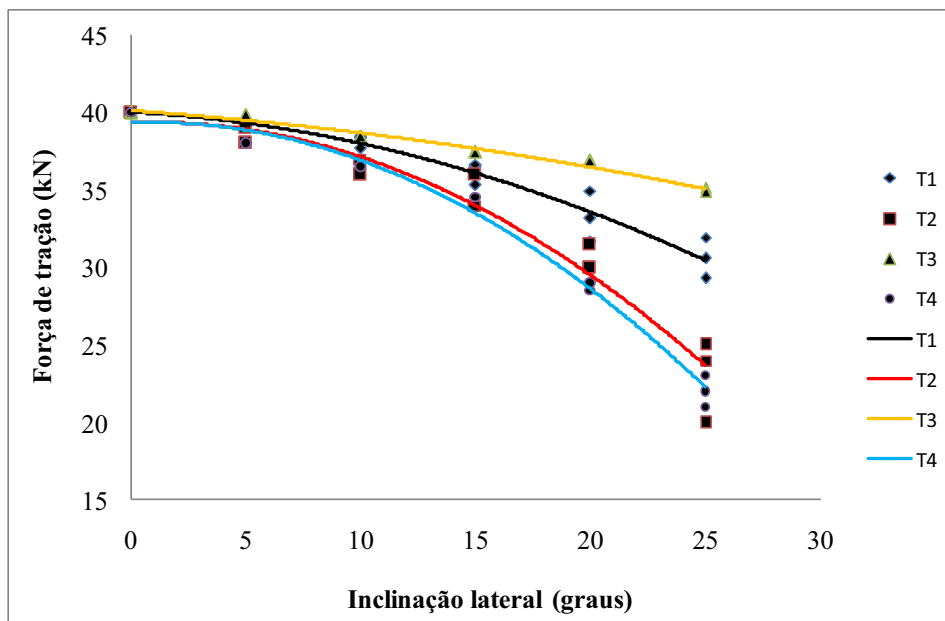
e T4. Os resultados que não obtiveram significância estatística, serão apresentados por (ns) e os resultados significativos serão apresentados com  $P < 0,01^{**}$  e  $P < 0,05^*$ .

De acordo com a curva de regressão quadrática apresentada na Figura 40, a força média de tração diminuiu conforme aumentaram as inclinações laterais da pista de ensaio, portanto, o trator com potência nominal no motor de 158 kW perdeu força de tração conforme aumentou as inclinações laterais, sendo 23,37% menor a sua força média de tração na inclinação de 25 graus, conforme pode ser visualizado na Tabela 2, o que pode ser atribuído que nesta mesma inclinação o trator o trator T1 patinou mais, 13,34%.

Conforme a curva de regressão quadrática apresentada na Figura 40, o trator T2 (132 kW) perdeu força de tração conforme aumentaram as inclinações laterais. Entretanto, a força de tração para o trator com potência de 132 kW, operando na inclinação de 25 graus foi 42,5% menor, enquanto que, o trator com potência de 158 kW perdeu 23,37% de sua força média de tração, conforme pode ser observado na Tabela 2. O que pode ser atribuído que o trator de 132 kW patinou mais do que o trator com 158 kW de potência no motor, conforme pode ser visualizado na Tabela 7.

A força de tração para o trator T3 com potência de 118 kW, operando na inclinação de 25 foi maior do que para o trator T2, com potência de 132 kW no motor, operando na mesma inclinação lateral, conforme pode ser observado na Figura 40. O que pode ser atribuído à esta maior força, é que quanto maior o braço de alavanca maior será o torque, ou seja, o trator T3 estava equipado com aro de diâmetro maior do que os demais tratores, tanto nos rodados traseiros quanto nos rodados dianteiros, conforme pode ser visualizado na Tabela 1.

Segundo a curva de regressão quadrática apresentada na Figura 40, a força de tração diminuiu conforme aumentaram as inclinações laterais da pista de ensaio, portanto, o trator T4, com potência nominal no motor de 89 kW, perdeu força de tração conforme aumentaram as inclinações laterais. Entretanto, a força de tração para o trator T4 com potência de 89 kW no motor, operando na inclinação de 25 graus perdeu 45% de sua força inicial, sendo menor que para os demais tratores avaliados, operando na mesma inclinação lateral, conforme pode ser observado pelas curvas de regressão apresentadas na Figura 40. As equações de regressão quadrática da força de tração obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados estão apresentadas na Tabela 22.



**Figura 40** – Curva de regressão quadrática de força de tração (kN) para todos os tratores.

**Tabela 22** – Equações de regressão quadrática da força de tração obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados.

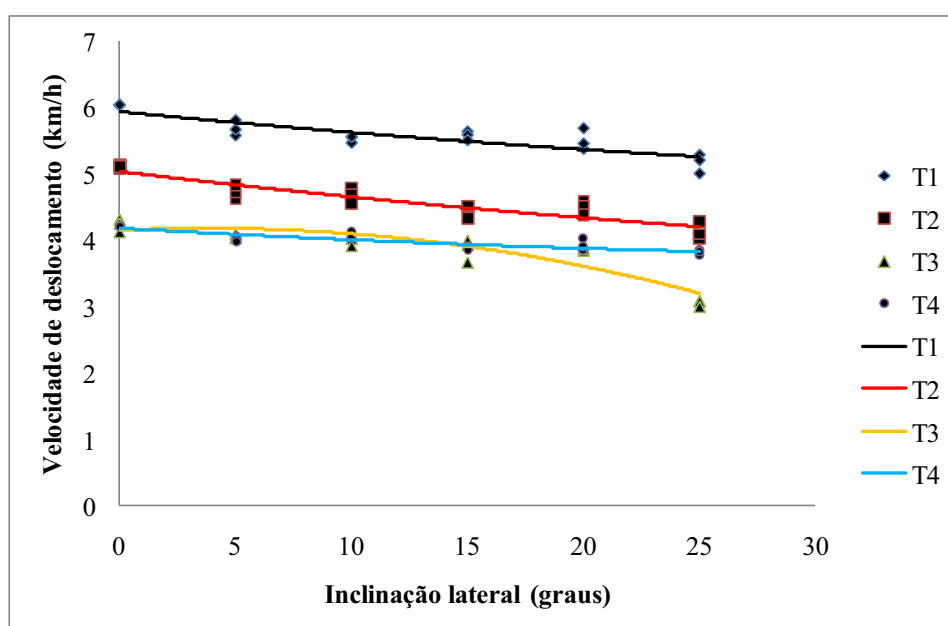
Tratores	X <sup>2</sup>	X	Constante	R <sup>2</sup>	Valor F
T1	-1,19E-02	-0,081	40,019	0,9499	142,19**
T2	-0,027	0,046	39,420	0,9512	146,20**
T3	-3,79E-03	-0,105	40,140	0,9759	304,22**
T4	-0,029	0,046	39,410	0,9860	529,61**

Resultados significativos apresentados com \* P<0,05; \*\* P<0,01 e ns (não significativos)

De acordo com os resultados apresentados na Figura 41, a curva de regressão quadrática da velocidade de deslocamento diminui conforme aumentam as inclinações laterais da pista de ensaio, portanto a menor velocidade para o trator T1 encontra-se quando o trator desloca-se na inclinação de 25 graus, onde o mesmo trator patinou mais, conforme pode ser visualizado na Tabela 7. O mesmo aconteceu para tratores com 132 kW de potência no motor, onde a menor velocidade de deslocamento foi quando o trator deslocou-se na inclinação de 25 graus. Entretanto a velocidade de deslocamento para o trator T3 foi menor do que a velocidade desenvolvida pelo trator T2, quando os mesmos operaram na inclinação de 25 graus da pista lateral, conforme pode ser observada pela curva de regressão quadrática apresentada na Figura 41. Porém, a curva de regressão quadrática da velocidade de

deslocamento para o trator T4 não apresentou o mesmo comportamento desenvolvido pelo trator T3, conforme pode ser observado na Figura 41.

As equações de regressão quadrática da velocidade de deslocamento obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados estão apresentadas na Tabela 23.



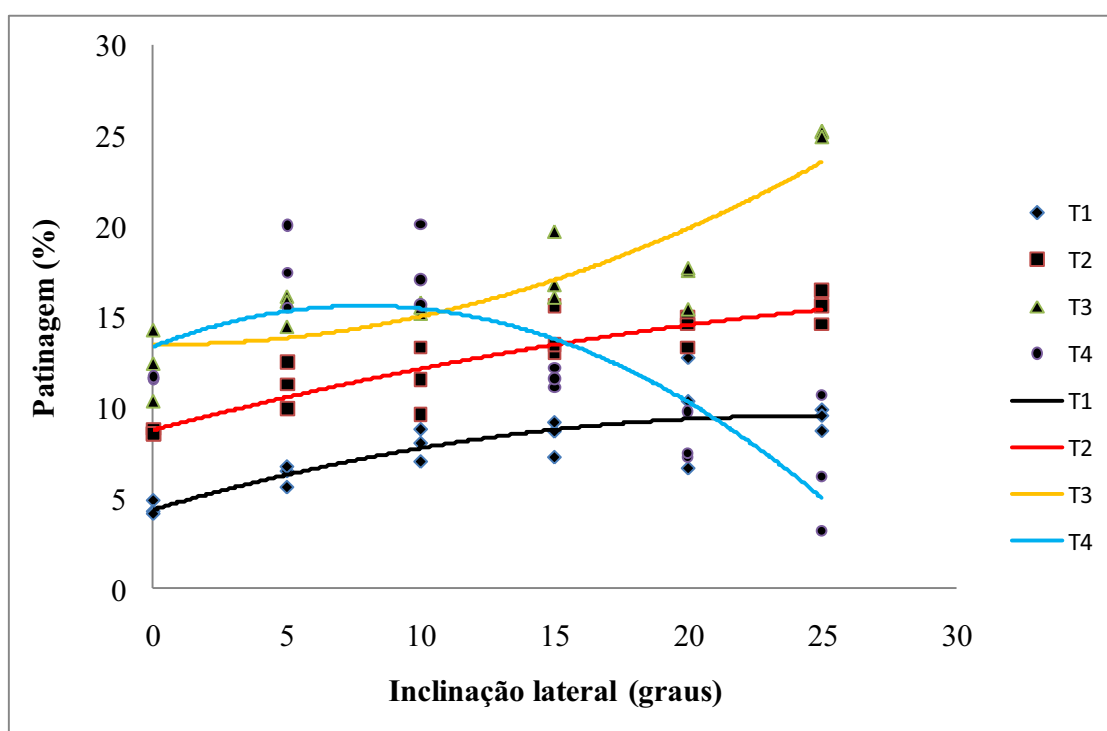
**Figura 41** – Curva de regressão quadrática da velocidade de deslocamento ( $\text{km.h}^{-1}$ ) para todos os tratores.

**Tabela 23** – Equações de regressão quadrática da velocidade de deslocamento obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados.

Tratores	$X^2$	X	Constante	$R^2$	Valor F
T1	2,83E-03	-0,035	5,953	0,7564	23,29**
T2	3,41E-04	-0,042	5,044	0,8482	41,89**
T3	-2,15E-03	0,0162	4,144	0,8145	32,92**
T4	2,21E-04	-0,019	4,188	0,7475	22,21**

Resultados significativos apresentados com \*  $P < 0,05$ ; \*\*  $P < 0,01$  e ns (não significativos)

Segundo os resultados apresentados na Figura 42, as curvas de regressão quadrática da patinagem dos rodados direito aumentam conforme elevam as inclinações laterais da pista de ensaio, porém, para o trator T4, a patinagem diminuiu a partir da inclinação de 10 graus, o que pode ser atribuído a distância entre rodados ser a segunda maior, sendo menor somente que o trator T1, conforme pode ser visualizado na Tabela 1. A maior patinagem ocorrida para o trator com T3, foi na inclinação de 25 graus, o que pode ser atribuído por o mesmo possuir o centro de gravidade mais alto entre os tratores ensaiados.



**Figura 42** – Curva de regressão quadrática de patinagem dos rodados lado direito (%) para todos os tratores.

As equações de regressão quadrática da patinagem dos rodados lado direito obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados estão apresentadas na Tabela 24.

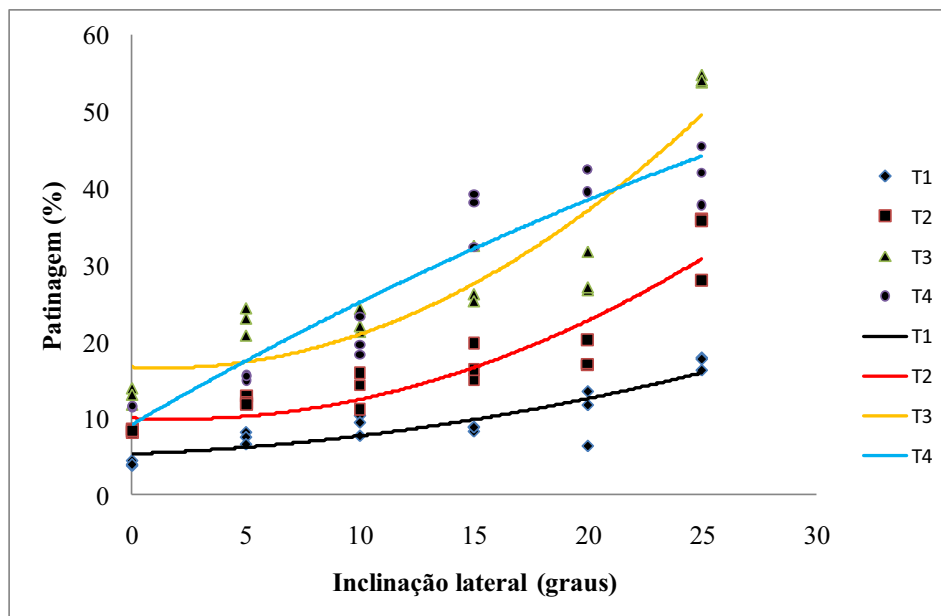
**Tabela 24** – Equações de regressão quadrática da patinagem dos rodados lado direito obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados.

Tratores	X <sup>2</sup>	X	Constante	R <sup>2</sup>	Valor F
T1	-8,93E-03	0,430	4,364	0,7044	17,87**
T2	-4,78E-03	0,385	8,796	0,8148	32,99**
T3	1,63E-02	-9,35E-03	13,511	0,7721	25,40**
T4	-3,64E-02	0,574	13,406	0,6542	14,19**

Resultados significativos apresentados com \* P<0,05; \*\* P<0,01 e ns (não significativos)

Conforme os resultados apresentados na Figura 43, as curvas de regressão quadrática da patinagem dos rodados lado esquerdo aumentam conforme elevam as inclinações da pista lateral de ensaios, portanto, a maior patinagem para o trator com 158 kW de potência no motor encontra-se na inclinação de 25 graus, sendo que nesta mesma inclinação o trator desenvolveu menor força de tração, o que pode ser atribuído que nas inclinações laterais mais elevadas há uma perda de aderência dos pneus com o solo em função da alteração do centro de gravidade do trator T1, cuja direção da força é normal à superfície da Terra e de direção geocêntrica, conforme Chudakov (1977) e Mialhe (1980), o mesmo pode ser atribuído ao trator T3, o qual foi o trator que obteve a maior patinagem entre todos os tratores ensaiados, atribuindo-se ainda, por o mesmo estar equipado com rodado de maior aro das rodas e com largura da banda de rodagem mais estreita, diminuindo assim a área de contato entre rodado e solo.

As equações de regressão quadrática da patinagem dos rodados lado esquerdo obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados estão apresentadas na Tabela 25.



**Figura 43** – Curva de regressão quadrática de patinagem dos rodados lado esquerdo (%) para todos os tratores.

**Tabela 25** – Equações de regressão quadrática da patinagem dos rodados lado esquerdo obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados.

Tratores	X <sup>2</sup>	X	Constante	R <sup>2</sup>	Valor F
T1	1,25E-02	0,112	5,335	0,7778	26,26**
T2	3,9E-02	-0,146	10,032	0,8479	41,80**
T3	5,89E-02	-0,163	16,729	0,8379	38,79**
T4	-1,27E-02	1,721	9,282	0,9034	70,17**

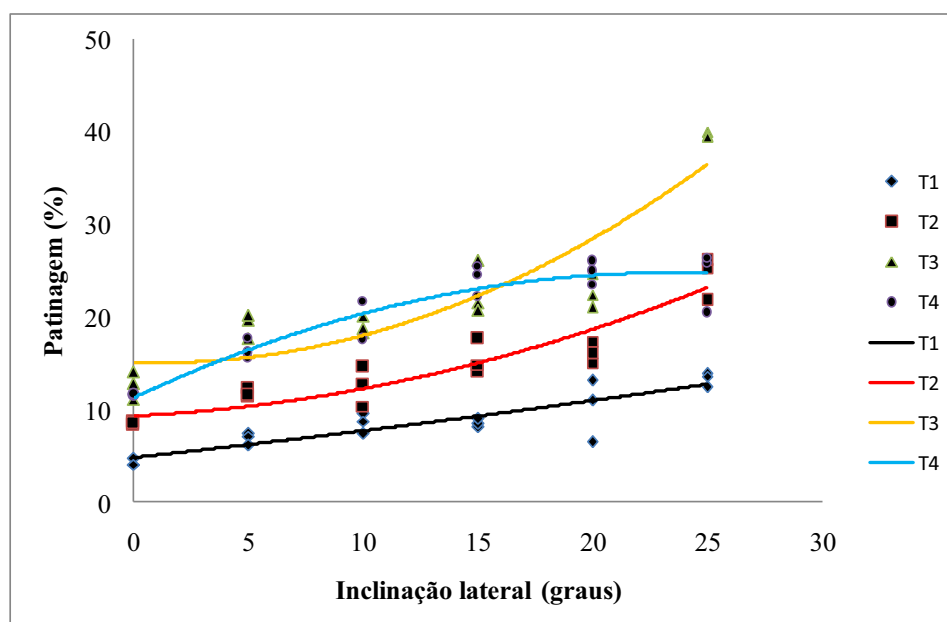
Resultados significativos apresentados com \* P<0,05; \*\* P<0,01 e ns (não significativos)

Segundo a curva de regressão quadrática apresentada na Figura 44, a patinagem do trator T1 aumentou conforme elevaram as inclinações laterais da pista de ensaio, sendo que a maior patinagem ocorreu na inclinação lateral de 25 graus, inclinação na qual o trator T1 desenvolveu a menor força de tração, conforme pode ser visualizado na Figura 40. A maior patinagem desenvolvida pelo trator T2 ocorreu para a inclinação lateral de 25 graus, inclinação na qual o trator T2, também, desenvolveu a menor força de tração

De acordo com a curva de regressão quadrática apresentada na Figura

44, a patinagem do trator T3 aumentou conforme elevaram as inclinações laterais da pista de ensaio. Sendo que a maior patinagem ocorreu na a inclinação lateral de 25 graus, inclinação na qual o trator T3 desenvolveu a menor força de tração, conforme pode ser visualizado na Figura 40, e foi o trator que desenvolveu a maior patinagem entre todos os tratores ensaiados.

Entretanto, a patinagem do trator T4 foi a menor entre todos os tratores ensaiados em todas as inclinações laterais da pista de ensaio. Sendo que a maior patinagem ocorre para a inclinação lateral de 25 graus, inclinação na qual o trator T4 desenvolveu a menor força de tração, conforme pode ser visualizado na Figura 40.



**Figura 44** – Curva de regressão quadrática de patinagem (%) para todos os tratores.

**Tabela 26** – Equações de regressão quadrática da patinagem obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados.

Tratores	X <sup>2</sup>	X	Constante	R <sup>2</sup>	Valor F
T1	1,8E-03	0,270	4,853	0,7814	26,81**
T2	1,71E-02	0,119	9,415	0,8700	50,20**
T3	3,77E-02	-0,086	15,120	0,8271	35,88**
T4	-0,024	1,147	11,340	0,8862	58,42**

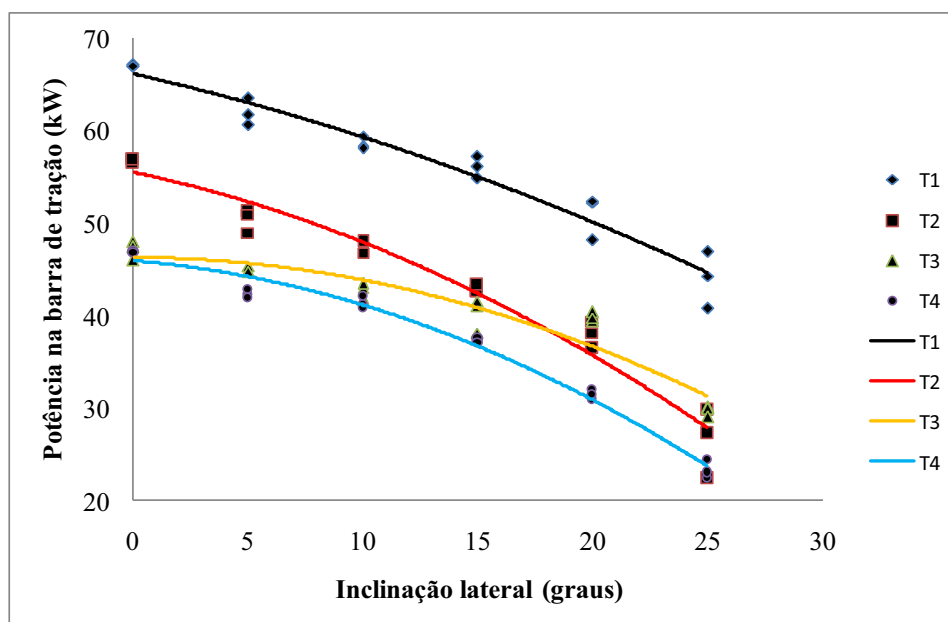
Resultados significativos apresentados com \* P<0,05; \*\* P<0,01 e ns (não significativos)

Segundo os resultados apresentados na Figura 45, a potência na barra de tração diminuiu conforme aumentaram as inclinações da pista lateral de ensaios, onde a menor potência desenvolvida pelo trator T1 na barra de tração foi para a inclinação de 25 graus, sendo que para esta mesma inclinação a patinação do trator foi maior, conseqüentemente a sua velocidade média de deslocamento foi menor. Então, conforme aumenta a patinação do trator T1, o mesmo perde em potência desenvolvida na barra de tração, operando em inclinações laterais. O mesmo ocorreu para o trator T2, conforme pode ser observado na Figura 45.

A menor potência desenvolvida na barra de tração pelo trator T3 foi para a inclinação de 25 graus, sendo que para esta mesma inclinação a força de tração do trator T3 foi maior, porém a sua velocidade de deslocamento foi menor. Então, conforme diminui a velocidade do trator T3, o mesmo perde em potência desenvolvida na barra de tração, operando em inclinações laterais. Entretanto a potência na barra de tração desenvolvida pelo trator T3 foi maior do que a desenvolvida pelo trator T2, quando ambos operaram na inclinação lateral de 25 graus, pois a força de tração do trator T3 foi superior do que a do trator T2, o que pode ser observado na Tabela 2.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 45, a potência na barra de tração do trator T4 diminuiu conforme aumentaram as inclinações da pista lateral de ensaio, onde a menor potência desenvolvida na barra de tração foi para a inclinação de 25 graus, sendo que para esta mesma inclinação a patinação do trator T4 foi maior. Então, conforme aumenta a patinação do trator T4, o mesmo perde em potência desenvolvida na barra de tração, operando em inclinações laterais. Entretanto a potência na barra de tração desenvolvida pelo trator T4 foi menor do que a desenvolvida pelo trator T3, quando operaram na inclinação lateral de 25 graus, conforme pode ser observado pela curva de regressão quadrática apresentada na Figura 45.

As equações de regressão quadrática da potência na barra de tração obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados estão apresentadas na Tabela 27.



**Figura 45** – Curva de regressão quadrática da potência na barra de tração (kW) para todos os tratores.

**Tabela 27** – Equações de regressão quadrática da potência na barra de tração obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados.

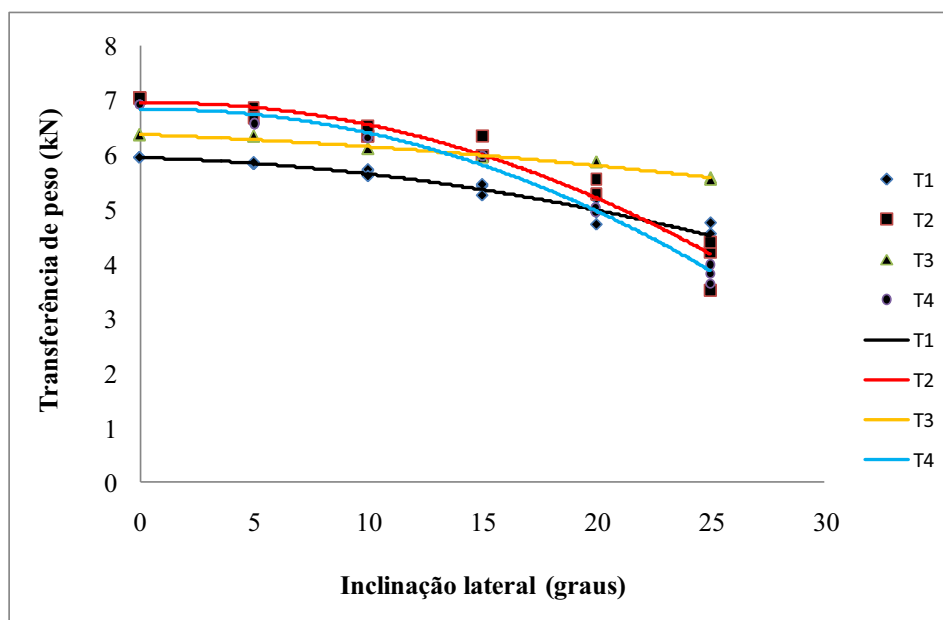
Tratores	X <sup>2</sup>	X	Constante	R <sup>2</sup>	Valor F
T1	-1,17E-02	-0,570	66,260	0,9497	141,61**
T2	-2,31E-02	-0,525	55,520	0,9551	159,35**
T3	-2,36E-02	-9,34E-03	46,340	0,8986	66,47**
T4	-0,027	-0,206	45,900	0,9817	400,48**

Resultados significativos apresentados com \* P<0,05; \*\* P<0,01 e ns (não significativos)

Conforme os resultados apresentados na Figura 46, a transferência de peso diminuiu conforme aumentaram as inclinações da pista lateral de ensaios. A transferência de peso para o trator T1 foi menor na inclinação lateral de 25 graus seguindo a mesma tendência da força de tração desenvolvida pelo trator T1, conforme pode ser visualizado na Figura 40. A transferência de peso também foi menor quando a patinagem do trator T1 foi maior, quando o mesmo foi avaliado na inclinação de 25 graus, conforme pode ser visualizado

na Figura 44. Portanto, quando a patinagem para trator com potência nominal no motor de 158 kW aumenta, a transferência de peso diminui operando em inclinações laterais.

A transferência de peso desenvolvida pelo trator T2 foi menor na inclinação lateral de 25 graus seguindo a mesma tendência da força de tração desenvolvida pelo trator T2, conforme pode ser visualizado na Figura 40. A transferência de peso também foi menor quando a patinagem do trator T2 foi maior, quando o mesmo foi avaliado na inclinação de 25 graus, conforme pode ser visualizado na Figura 44. Portanto, quando a patinagem para o trator com potência nominal no motor de 132 kW aumenta, a transferência de peso diminui para o mesmo trator, operando em inclinações laterais. O mesmo ocorreu para os tratores T3 e T4, porém, o trator T3 foi o que obteve a maior transferência de peso na inclinação de 25 graus entre todos os tratores ensaiados, seguido do trator T1. Entretanto, o trator T4 obteve a menor transferência de peso na inclinação de 25 graus da pista lateral de ensaios, porém, respectivamente os tratores T2 e T4 obtiveram as maiores transferências de peso na inclinação de 0 grau, conforme pode ser observado na Figura 46. As equações de regressão quadrática da transferência de peso obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados estão apresentadas na Tabela 28.



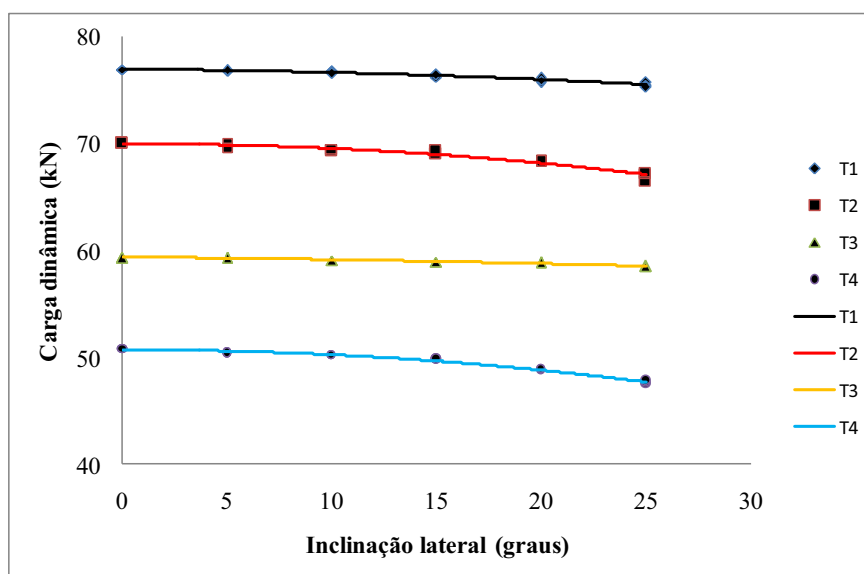
**Figura 46** – Curva de regressão quadrática da transferência de peso (kN) para todos os tratores.

**Tabela 28** – Equações de regressão quadrática da transferência de peso obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados.

Tratores	X <sup>2</sup>	X	Constante	R <sup>2</sup>	Valor F
T1	-1,79E-03	-0,011	5,943	0,9507	144,55**
T2	-4,75E-03	7,64E-03	6,946	0,9509	145,40**
T3	-6,09E-04	-0,016	6,376	0,9754	297,00**
T4	-5,03E-03	7,85E-03	6,816	0,9855	511,27**

Resultados significativos apresentados com \* P<0,05; \*\* P<0,01 e ns (não significativos)

De acordo com as curvas de regressão quadrática apresentadas na Figura 47, a carga dinâmica diminui conforme aumentam as inclinações laterais da pista de ensaio. Segundo Mialhe (1974) a carga dinâmica sobre o rodado de tração traseiro é representada pelo peso estático, acrescido da carga relativa à transferência de peso. Consequentemente, a carga dinâmica apresentou o mesmo comportamento da curva de regressão quadrática da transferência de peso para os tratores T1, T2, T3 e T4. Entretanto a carga dinâmica para o trator T2 com potência de 132 kW no motor foi menor do que para o trator T1 com 158 kW, o mesmo ocorreu para os demais tratores, diminuindo conforme diminuíram a carga estática sobre os rodados traseiros, conforme pode ser visualizado na Figura 47.



**Figura 47** – Curva de regressão quadrática da carga dinâmica (kN) para todos os tratores.

**Tabela 29** – Equações de regressão quadrática da carga dinâmica obtida nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados.

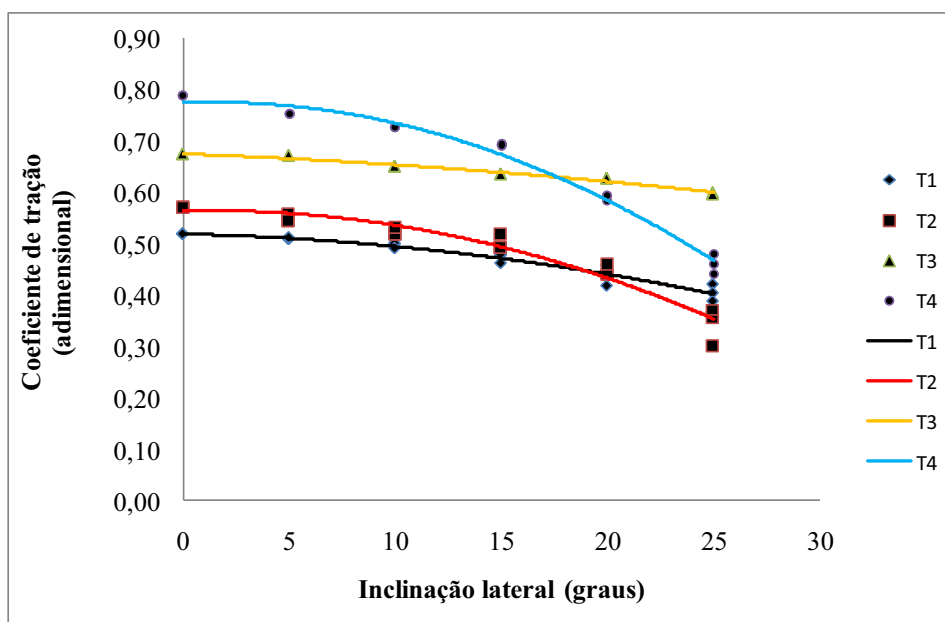
Tratores	X <sup>2</sup>	X	Constante	R <sup>2</sup>	Valor F
T1	-1,78E-03	-0,011	76,940	0,9507	144,55**
T2	-4,75E-03	7,64E-03	69,940	0,9509	145,40**
T3	-6,09E-04	-0,160	59,370	0,9754	297,00**
T4	-5,03E-03	7,85E-03	50,700	0,9855	511,27**

Resultados significativos apresentados com \* P<0,05; \*\* P<0,01 e ns (não significativos)

Segundo os resultados apresentados na Figura 48, as curvas de regressão quadrática do coeficiente de tração diminuem conforme aumentam as inclinações laterais da pista de ensaio. Portanto, o coeficiente de tração foi maior quando o trator T1 com potência nominal no motor de 158 kW operou em uma inclinação de 0 grau, onde a capacidade do trator em utilizar seu próprio peso em benefício da aderência dos pneus e de ganhar em tração foi maior, conforme pode ser visualizado na Figura 40, onde a força de tração desenvolvida foi maior para o trator T1. O mesmo ocorreu para os demais tratores ensaiados. Entretanto o coeficiente de tração para o trator T3 foi superior do que o desenvolvido pelo trator T2 e T1, pois a força de tração desenvolvida pelo trator T3 foi superior a força de tração do trator T2 e T1, sendo maior também do que o trator T4, à partir da inclinação de 20 graus, conforme pode ser visualizado na Tabela 2.

O coeficiente de tração foi maior para o trator T4, com potência nominal no motor de 89 kW, onde a capacidade do trator em utilizar seu próprio peso em benefício da aderência dos pneus e de ganhar em tração foi maior, conforme pode ser visualizado na Figura 40, sendo que o coeficiente de tração desenvolvido foi maior para o trator T4 até a inclinação de 15 graus da pista lateral de ensaios, onde a partir desta inclinação foi menor do que o desenvolvido pelo trator T3.

As equações de regressão quadrática do coeficiente de tração obtido nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados estão apresentadas na Tabela 30.



**Figura 48** – Curva de regressão quadrática do coeficiente de tração para todos os tratores.

**Tabela 30** – Equações de regressão quadrática do coeficiente de tração obtido nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados.

Tratores	X <sup>2</sup>	X	Constante	R <sup>2</sup>	Valor F
T1	-1,49E-04	-9,11E-04	0,520	0,9483	137,51**
T2	-3,75E-04	9,71E-03	0,562	0,9479	136,48**
T3	-5,91E-05	-1,57E-03	0,676	0,9759	304,76**
T4	-5,56E-04	1,6E-03	0,775	0,9849	488,72**

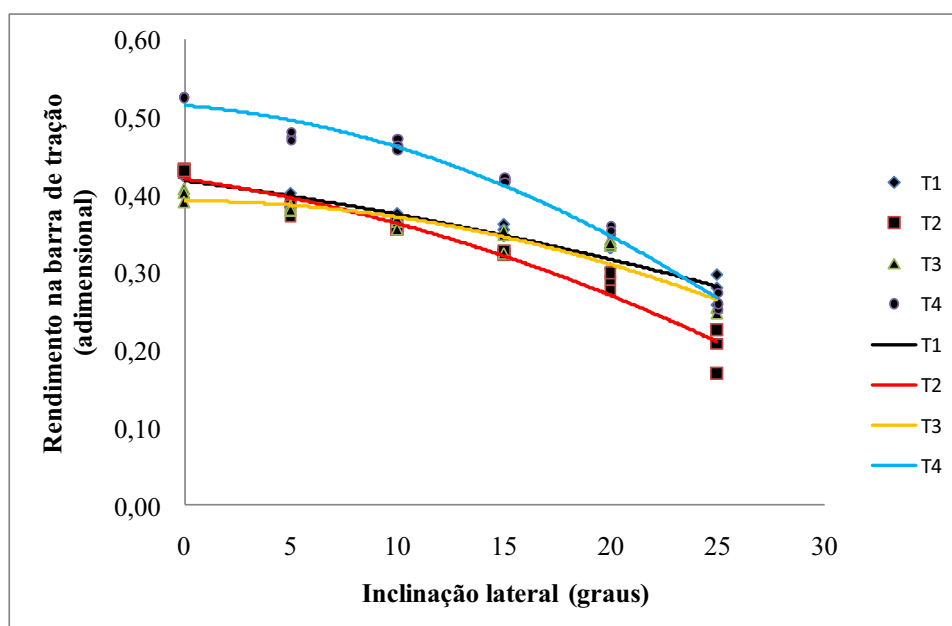
Resultados significativos apresentados com \* P<0,05; \*\* P<0,01 e ns (não significativos)

De acordo com as curvas de regressão quadrática apresentadas na Figura 49, o rendimento de tração diminui conforme aumentam as inclinações da pista lateral de ensaio. Para o trator T1, com potência nominal no motor de 158 kW, o rendimento de tração foi menor quando operou em uma inclinação lateral de 25 graus, portanto, para esta mesma inclinação a perda de potência do motor, no trator de 158 kW, para a barra de tração foi menor. Para o trator T2, com potência nominal no motor de 132 kW, o rendimento de tração também foi menor quando operou em uma inclinação lateral de 25 graus, portanto, para esta mesma inclinação a perda de potência do motor para a barra de tração foi menor, portanto, este mesmo

trator foi mais eficiente do que o trator de 158 kW de potência, onde a perda de potência do motor para a barra de tração foi maior, conforme pode ser visualizado na Figura 49. Entretanto, para o trator T3 com potência nominal no motor de 118 kW, o rendimento de tração foi menor quando operou na inclinação lateral de 25 graus, porém, para esta mesma inclinação, foi maior do que o desenvolvido pelo trator T2.

De acordo com a curva de regressão quadrática apresentada na Figura 49, o rendimento de tração diminui conforme aumentam as inclinações da pista lateral de ensaio. Para o trator T4 com potência nominal no motor de 89 kW o rendimento de tração foi maior do que o desenvolvido pelos demais tratores, sendo menor do que o trator T1, somente na inclinação de 25 graus. Portanto, para esta mesma inclinação a perda de potência do motor para o trator T4 para a barra de tração foi maior somente para o trator T1, conforme pode ser visualizado na Figura 49.

As equações de regressão quadrática do rendimento de tração obtido nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados estão apresentadas na Tabela 31.



**Figura 49** – Curva de regressão quadrática do rendimento na barra de tração para todos os tratores.

**Tabela 31** – Equações de regressão quadrática do rendimento na barra de tração obtido nas faixas de inclinação para todos os tratores ensaiados.

<b>Tratores</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>X</b>	<b>Constante</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Valor F</b>
<b>T1</b>	-7,45E-05	-3,59E-03	0,419	0,9496	141,20**
<b>T2</b>	-1,77E-04	3,69E-03	0,420	0,9550	159,18**
<b>T3</b>	-1,99E-04	-1,01E-04	0,392	0,9000	67,80**
<b>T4</b>	-3,04E-04	-2,31E-03	0,515	0,9815	397,31**

Resultados significativos apresentados com \* P<0,05; \*\* P<0,01 e ns (não significativos)

## 7 CONCLUSÕES

- O inclinômetro desenvolvido, objetivo deste trabalho, operou de maneira satisfatória, rápida e apresentou ótima estabilidade, em todas as situações ensaiadas, não apresentando problemas mecânicos, elétricos ou eletrônicos tanto na aquisição como no manuseio dos dados.
- Os resultados obtidos do centro de gravidade (CG), mostraram que nenhum dos tratores ultrapassaram os seus respectivos ângulos operacional limite, porém, todos operaram acima de seus ângulos máximo limite, entretanto nenhum dos tratores avaliados demonstrou perigo de capotamento.
- À medida que aumentou a inclinação da pista, houve redução na força de tração. Os tratores T2 e T4 foram os que mais perderam força de tração na pista com inclinação de 25 graus.
- Conforme aumentaram as inclinações laterais da pista de ensaio houve um aumento significativo, 174,23%, na patinação dos tratores.

- Conforme aumentaram as inclinações laterais da pista de ensaio, tratores equipados com rodados de menor largura da banda de rodagem patinaram mais do que tratores que possuíam rodados com largura da banda de rodagem, adequados a máquina.
- O trator T4 obteve os maiores coeficientes de tração, ou seja, foi o trator que obteve a melhor capacidade de utilizar seu próprio peso em benefício da aderência dos pneus e de ganho em tração.
- Portanto, os tratores T1 e T3 foram os que perderam mais potência do motor para a barra de tração.
- Os parâmetros força de tração e transferência de peso não foram estatisticamente significativos na análise de regressão para cada inclinação lateral entre as faixas de potência do motor avaliadas.
- O parâmetro consumo horário não foi estatisticamente significativo na análise de regressão para cada trator entre as faixas de inclinação lateral avaliadas.
- Conforme o ângulo máximo limite recomendado que foi em média 15 graus, observou-se uma queda no desempenho operacional em todos os tratores ensaiados.
- O inclinômetro construído e avaliado mostrou-se ser eficiente para indicação da inclinação do terreno em operações de campo com tratores agrícolas.

## **8 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS**

- Aperfeiçoamento do inclinômetro, deixando-o mais compacto e com leituras instantâneas e digitalizadas;
- Avaliar o desempenho de tratores agrícolas em inclinação lateral à sua direita, utilizando o inclinômetro;
- Avaliar o desempenho de tratores agrícolas em aclives, utilizando o inclinômetro;
- Avaliar o desempenho de tratores agrícolas em declives, utilizando o inclinômetro;
- Avaliar a utilização do inclinômetro em colhedoras de cana e grãos, como sensor de segurança;
- Avaliar a utilização do inclinômetro em tratores florestais, como sensor de segurança;
- Avaliar a utilização do inclinômetro em outros tipos de veículos como sensor de segurança.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, J.M.M., CERES, R., CALDERÓN, L. JIMÉNEZ, M.A., GONZÁLEZ-DE-SANTOS, P. Measuring the 3D position of a walking vehicle using ultrasonic and eletrocmagnetic waves. **Sensors and Actuators**, 75, p. 131-138, 1999.

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. 194-196 (ASAE S296.2).

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, 1996. p. 116-118. (ASAE S296.4).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Trator Agrícola – Determinação do centro de gravidade. CB-05 – Comitê Brasileiro de Automóveis, Caminhões, Tratores, Veículos Similares e Autopeças. Rio de Janeiro, 1992. 6 p. (NBR 12567).

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. Anuário da indústria automobilística brasileira 2007. ANFAVEA. Disponível em: [http://www.anfavea.com.br/anuario2007/Cap1\\_14\\_2007.pdf](http://www.anfavea.com.br/anuario2007/Cap1_14_2007.pdf). Acesso em 15/06/2007.

ARANA, J.I., MANGADO, J., HUALDE, A., JARÉN, C., PÉREZ DE LARRAYA, C., ARAZURI, S., ARNAL, P. Tractors without protective structures in Navarre (Spain): actual situation and problems. **Eur. Arg. Eng.**, Budapest, Hungary. Abstract 02-PM-059, AgEng 02, p. 110-111, 2002.

ASAE D 497.4. Agricultural Machinery Management Data. In: *ASAE Standards: standards engineering practices data*. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 359-366p. 1999.

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

BARGER, E.L., LILJEDAHN, J.L., CARLETON, W.M. MCKIBBEN, E.G. **Tratores e seus motores**. São Paulo: Edgar Blücher, 1966. 398p.

BENZ, D., BOLTZELMANN, T., KÜCK, H., WARKENTIN, D. On low cost inclination sensors made from selectively metallized polymer. **Sensors and Actuators**, A 123-124, p. 18-22, 2005.

BERNMARK, E., WIKTORIN, C. A triaxial accelerometer for measuring arm movements. **Applied Ergonomics**, 33, p. 541-547, 2002.

BILLAT, S., GLOSH, H., KUNZE, M., HEDRICH, F., FRECH, J., AUBER, J., SANDMAIER, H., WISMER, LANG, W. Micromachined inclinometer with high sensitivity and very good stability. **Sensors and Actuators**, A 97-98, p. 125-130, 2002.

BLS – Bureau of Labor Statistics. Census 2005 of fatal occupational injuries (preliminary data). Washington, DC: US Department of Labor, Bureau of Labor Statistics, 2006. Disponível em: <http://www.bls.gov/üf/oshcdnew.htm>. Acesso em 08/11/2006.

BONNIFAIT, P., GARCIA, G. 6DOF dynamic localization of an outdoor mobile robot. **Control Engineering Practice**, 7, p. 383-390, 1999.

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

BRIXIUS, W.W., WISMER, R.D. The role of slip in traction. St. Joseph: **Am. Soc. Agric. Eng.**, 1978. 8p. (Paper, 78-1538).

CATÂNEO, A. Análise comparativa de parâmetros de tratores agrícolas de rodas nacionais. Botucatu, 1988. 144p. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

CELESTE, W.C. Montagem e teste de inclinômetro microprocessados utilizando acelerômetros baseados em tecnologia MEMS. Vitória, 2002. 70p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Espírito Santo.

CHUDAKOV, D.A. **Fundamentos de la teoria y el cálculo de tractores y automóviles**. Moscou: Mir, 1977. 434p.

COMER, R.S., AYRES, P., WANG, X., CONGER, J.B., TROUTT, P. Evaluation os ASAE Standard S547 for the continuous roll testing on front driven mowers. **ASAE Paper No. 38005**, 2003.

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. 2000. 153 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

CORRÊA, I.M., RAMOS, H.H. Acidentes rurais. *Cultivar Máquinas*. nº 16. p. 24-25. 2003.

CORRÊA, I.M., 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., 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. **Engenharia Agrícola**, 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. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.16, n.4, p.22-6, 1997.

CORRÊA, I.M., LANÇAS, K.P. Desempenho operacional de pneus radiais de baixa pressão e pneus diagonais em trator 4x2 Aux. com a tração dianteira desligada. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 44-55, 2000.

CUTULI, J.A., CAMPANUCCI, L., TUSIANI, M.O. **Seguridad y higiene en el trabajo**. Buenos Aires: Instituto Argentino, 1977. 512p.

DAY, M.L. Farm work related fatalities among adults in Victoria, Austrália: The human cost of agriculture. **Accident Analysis and Prevention**, n.31, p.153-159. 1999.

DEBIASI, H., SCHLOSSER, J.H., WILLES, J.A. Acidentes de trabalho envolvendo conjuntos tratorizados em propriedades rurais do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.779-784, 2004.

DELGADO, L.M. **El tractor agrícola**: características y utilización. Madrid: Ministério de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1991. 235p.

DIAS, G.P., LIMA, J.S.S., ESCOBEDO, J.F., DANTAS, A.A.A. Estabilidade lateral de tratores agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. **Anais**. Ilhéus: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola; Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira, 1993. p.1838-1846.

FIELD, B. **Safety with farm tractors**. Indiana: Cooperative Extension Service, Purdue University, 2000. 10p. (Bulletin S-56).

GABRIEL FILHO, A., SILVA, S.L., MODOLO, A.J., SILVEIRA, J.C.M. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 781-789, 2004.

GAIBER, A., GEIGER, W., LINK, T., MERZ, J., STEIGMAJER, S., HAUSER, A., SANDMAIER, H., LANG, W., NIKLASH, N. New digital readout electronics for capacitive sensors by the example of micro-machined gyroscopes. **Sensors and Actuators**, A 97-98, p. 557-562, 2002.

GAIOTTO, J.R.C. Terreno inclinado. *Cultivar Máquinas*. nº 24. p. 22-23. 2003.

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. p. 1-9.

GERBERICH, S.G. et al. Surveillance of injuries in Agriculture. In: SURGEON GENERAL'S CONFERENCE ON AGRICULTURAL SAFETY AND HEALTH. (Eds.) MYERS ML, HERRICK RF, OLENCHOCK SA, MYERS JR, PARKER JE, HARD DL, WILSON K. Des Moines, Iowa. Paper and Proceeding. 1992, p.164.

GIMENEZ, L.M., MOLIN, J.P. Mensuração da declividade do terreno por meio de um inclinômetro instalado em um trator e avaliação de seu potencial de uso para agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2, 2006. São Pedro, SP. Anais...São Pedro: Esalq/USP, 2006. CD-ROM.

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

HSE – HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. Fatal injuries in farming, forestry and horticulture. Disponível em: <http://www.hse.gov.uk/agriculture>. Acesso em 02/06/2007.

HUNT, D. Maquinaria agrícola: rendimento económico, custos operaciones, potencia y selection de equipo. 7ª ed. México, Limusa, 451p. 1986.

HUNTER, A. A review of research into machine stability on slopes. [ S.1 ], Agricultural-Engineer, 1992, n.47, p.49-53.

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

KIM, K.U., REHKUGLER, G.E. A review of tractor dynamics and stability. **Transaction of ASAE**, Saint Joseph, v.30, n.3, p. 615-623, 1987.

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

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

LANÇAS, K.P., NAGAOKA, A.K., CASTRO NETO, P., LOPES, A., GUERRA, S.P.S. Avaliação do desempenho de dois tipos de pneus com equipamento para ensaio dinâmico de pneu agrícola individual. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 2, p. 343-353, 2003.

LANÇAS, K. P. Nova Ferramenta. *Cultivar Máquinas*, nº 49, p.26 – 28, 2006.

LEVIEN, R., GAMERO, C.A. Semeadura de milho em diferentes preparos e condições de cobertura do solo: primeiro ano de implantação. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 82-97, 2000.

LILJEDAHN, J.B., TURQUIST, P.K. SMITH, D.W., HOKI, M. **Tractor and their power units**. 4 ed. New York: AVI, 1989. 463p.

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, 131p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2000.

LOPES, A., LANÇAS, K.P., FURLANI, C.E.A., NAGAOKA, A.K., CASTRO NETO, P., GROTTA, D.C.C. Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 382-386, 2003.

MANTOVANI, E.C., BERTAUX, S., ROCHA, F.E.C. Avaliação da eficiência operacional de diferentes semeadoras-adubadoras de milho. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.27, n.2, p. 1579-1586, 1992.

MANTOVANI, E.C., LEPLATOIS, M., INAMASSU, R.I. Automação do processo de avaliação de desempenho de tratores e implementos em campo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 34, n. 7, p. 1241-1246, 1999.

MARQUES, J.P., GAMERO, C.A. Operações de preparo do solo e semeadura da soja (*Glycine max* L.) após diferentes sistemas de manejo da cobertura de entressafra. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 67-84, 2004.

MÁRQUEZ, L. Maquinaria agrícola y seguridad vial. **Boletim Salud y Trabajo**, Madrid, n.56, 6p. 1986.

MÁRQUEZ, L. **Solo Tractor'90**. Madrid: Laboreo, 1990. Cap. 4: Ergonomia y seguridad em los tractores agrícolas. p. 146-207.

MESCHEDER, U., MAJER, S. Micromechanical inclinometer. **Sensors and Actuators**, A 60, p.134-138, 1997.

MIALHE, L.G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1974. 302p.

MIALHE, L.G. **Máquinas motoras na agricultura**. São Paulo: EPU/USP, 1980, v.2.

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

MONK, A.S., MORGAN, D.D.V., MORRIS, J. The cost of accidents in agriculture. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v.33, p.245-257, 1986.

NEUJAHR, E.B.; SCHLOSSER, J.F. Comportamento de pneus agrícolas radiais e diagonais em relação à tração [1]. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.21, n.2, p.180-9, 2001.

NIOSHI, National Agricultural Tractor Safety Initiative. **National Institute of Occupational Safety and Health**, Washington, DC, USA, 2004.

OT, F., LLADÓ, S. Inclínometro económico (galgas extensiométricas). **Sensors and Actuators**, n.76, p. 139-146. 2001.

PINHO, M.S. Tópicos em computação gráfica – rastreamento. Faculdade de Ciências e Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUC-RS. Disponível em: [www.facin.pucrs.br/inclinometros.pucrs.htm](http://www.facin.pucrs.br/inclinometros.pucrs.htm) . Acesso em 07/03/2005.

PROMERSBERGER, W.J., BISHOP, F.E. Modern farm power. New Jersey, **Prentice Hall**, 1962. 280 p.

REYNOLDS, S.J., GROWES, W. Effectiveness os roll-over protective structures in reducing farm tractor fatalities. **American Journal of Preventive Medicine**, 18 (4S), p. 63-69, 2000.

ROBIN, P. **Segurança e ergonomia em maquinaria agrícola**. São Paulo: Fundacentro, 1987. 24p.

RODRIGUES, V.L.G.S., DA SILVA, J.G. Acidentes de trabalho e modernização da agricultura brasileira. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**. v.14, n.56, p.28-39, 1986.

SALVADOR, N. Consumo de energia na operação de subsolagem realizada antes e depois de sistemas de preparo periódico do solo. Botucatu, 1992. 187 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

SANTOS, J.E.G. Equipamento conjugado de preparo do solo: desempenho em função da posição das hastes escarificadoras, do tipo de ponteira e da rotação do rotor. Botucatu, 1993. 178 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

SANTOS, J.E.G. Curso de especialização em engenharia de segurança do trabalho, Módulo: Segurança Agropecuária. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista. Bauru. 134 p. 2004. (Apostila).

SILVA, J.R., FURLANI NETO, V.L. Acidentes graves no trabalho rural: II – Caracterização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, 1999, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1999. CD-Room.

SILVA, P.R.A. Mecanismos sulcadores de semeadora-adubadora na cultura do milho (*Zea mays* L.) no sistema de plantio direto. Botucatu, 2003. 84 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

SCHLOSSER, J.F., DEBIASI, H. **Acidentes com tratores agrícolas: caracterização e prevenção.** Santa Maria: UFSM, 2001. 86p. (Caderno didático n. 08).

SCHLOSSER, J.F., DEBIASI, H., PARCIANELLO, G., RAMBO, L. Caracterização dos acidentes com tratores agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.6, p. 977-981, 2002.

SILVA, N.C. Pêndulo Simples – Modelo Matemático. Baú de Ciências. UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Física. Disponível em: [www.fsc.ufsc.br/~canzian/bau/pendulo/pendulo-real.html](http://www.fsc.ufsc.br/~canzian/bau/pendulo/pendulo-real.html). Acesso em 13/07/2006.

SMITH, D.W.; LILJEDAHN, J.B. Simulation of rearward overturning of farm tractors. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.15, n.5, p.818-821, 1972.

UIOWA - UNIVERSITY OF IOWA. Identification of safety hazards and issues. Disponível em: <http://www.public-health.uiowa.edu/gpcah/TRACS52.HTM>. Acesso em 02/06/2007.

UPADHYAYA, S.K., WULSFON, D. Review of traction prediction equations. St. Joseph: ASAE. 1990 (ASAE Paper, 90-1573), 23p.

WARPINSKI, N.R., BRANAGAN, P.T., ENGLER, B.P., WILMER, R., WOLHART, S.L. Evaluation of a downhole tiltmeter array for monitoring hydraulics fractures. Int. J. Rock Mech. e Min. Sci. 34: 3-4, Paper No. 329, 1997.

WEBSTER, J., MERINGER, S.C. Risks for children in agriculture. Disponível em: <http://extension.usu.edu/ipm/publica/agpbus2.htm>. Acesso em 02/06/2007.

WISMER, R.D., LUTH, H.J. Off-road traction prediction for wheeled vehicles. **Journal of Terramechanics**, v.10, n.2, p. 49-61, 1973.

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

WOLF, D. SHMULEVICH, I., MUSSEL, U. Wheel traction prediction on hard soil. **Transactions of the ASAE**. (Am. Soc. Agric. Eng.), v.39, p. 1275-1283, 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.

YANAI, K., SILVEIRA, G.M., LANÇAS, K.P., CORRÊA, I.M., MAZIERO, J.V.G. Desempenho operacional de trator com e sem acionamento da tração dianteira auxiliar. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.34, n.8, p. 1427-1434, 1999.

ZÓCCHIO, A. **Prática da prevenção de acidentes: ABC da segurança do trabalho**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 1971. 173p.

ZOZ, F. *Belt and Tire Tractive Performance*. Milwaukee: Society of Automotive Engineers, 1997, 8p.

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

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