

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO – MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA**

**AVALIAÇÃO DE FERRAMENTA PARA
ESCARIFICAÇÃO DO SOLO EM CAMADAS
DE FORMA SIMULTÂNEA**

TESE DE DOUTORADO

José Renê Freitas Gassen

Santa Maria, RS, Brasil

2011

AVALIAÇÃO DE FERRAMENTA PARA ESCARIFICAÇÃO DO SOLO EM CAMADAS DE FORMA SIMULTÂNEA

José Renê Freitas Gassen

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção de **Título de Doutor em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. Airton dos Santos Alonço, Dr. Eng.

**Santa Maria, RS, Brasil.
Outubro, 2011.**

G251a Gassen, José René Freitas
Avaliação de ferramenta para escarificação do solo em camadas de forma
simultânea / por José René Freitas Gassen. - 2011.
197 p. ; il. ; 30 cm

Orientador: Airton dos Santos Alonço
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências
Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2011

1. Preparo conservacionista 2. Projeto de máquinas agrícolas 3. Compactação
do solo 4. Escarificação 5. Força de tração I. Alonço, Airton dos Santos
I. Título.

CDU 631.3

Ficha catalográfica elaborada por Cláudia Terezinha Branco Galotti - CRB 10/1105
Biblioteca Central UF3M

©2011

Todos os direitos autorais reservados a José René Freitas Gassen. A reprodução de partes ou
do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**AVALIAÇÃO DE FERRAMENTA PARA ESCARIFICAÇÃO DO SOLO
EM CAMADAS DE FORMA SIMULTÂNEA**

elaborada por
José Renê Freitas Gassen, MSc

como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Agrícola

BANCA EXAMINADORA:

**Prof. Airton dos Santos Alonço, Dr. Eng. - UFSM
(Presidente/Orientador)**

Prof. Mauro Fernando Pranke Ferreira, Dr. Ciências - UFPel

Prof. José Fernando Schlosser, Dr. - UFSM

Prof. Reges Durigon, Dr. Eng. Agric. - UFSM

Prof. Flávio Luiz Foletto Eltz, PhD.- UFSM

Santa Maria, 28 de Outubro de 2011.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa, Lucrecia Carla, por todo o amor, carinho, compreensão e companheirismo entregues a mim nestes anos de convivência.

À estas pessoas que, de muito perto, me apoiaram nesta gratificante jornada:
Flávio Renê Iserhard Gassen,
Dorothy T. Freitas Gassen, saudosa Mãe,
Lourdes Wilgues,
Carlitos Roque Reis, saudoso Sogro, e
Marli Teixeira Reis.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Airton dos Santos Alonço, colega, amigo e orientador, pela oportunidade, confiança, paciência e orientação a mim entregues durante este trabalho.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFSM, pela dedicação e conhecimentos ofertados aos alunos.

Ao Professor José Fernando Schlosser, pelo empréstimo do trator e do Penetrolog, bem como pelo apoio dado durante toda a jornada deste trabalho.

Ao Colega Alexandre Russini, pela disponibilidade em auxiliar no trabalho de campo.

Aos Colegas, pelas contribuições e discussões proporcionadas pela busca das melhores soluções aos desafios a nós apresentados.

Aos membros da equipe de projeto: Mateus Potrich Bellé, Paulo Roberto Bedin, Alexandre Siqueira Altmann, Dauto Pivetta Carpes, Leodário Montemezzo Junior, Gustavo José Bonotto, Kátia Maria Kardinal, Giovanna Peres Rist, Michele da Silva Santos, Vilnei de Oliveira Dias, Ulisses Benedetti Baumhardt, Airton dos Santos Alonço, Paula Graziela Lassen, pela entrega que deram no desenvolvimento do trabalho.

Ao Sr. Gaspar José Bonotto e família, pela cedência da Área Experimental e suporte dados durante os testes de campo.

Ao saudoso Colega e Amigo, Hendrigo Alberto Torchelsen da Silveira, que nos deixou de forma tão inesperada, por todas as horas de convivência, assim como por toda a ajuda prestada.

À todas as pessoas que de alguma forma colaboraram para o alcance dos meus objetivos nesta etapa que aqui se encerra.

A Universidade Federal de Santa Maria, ao IFET – MT e a CAPES, pelo suporte a realização deste trabalho.

A vida é um caminho cheio de surpresas e o final ninguém conhece...

(Autor Desconhecido)

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

AVALIAÇÃO DE FERRAMENTA PARA A ESCARIFICAÇÃO DO SOLO EM CAMADAS DE FORMA SIMULTÂNEA

AUTOR: JOSÉ RENÊ FREITAS GASSEN, ENG. MECÂNICO.
ORIENTADOR: AIRTON DOS SANTOS ALONÇO, DR. ENG.
SANTA MARIA, 28 OUTUBRO DE 2011.

A crescente demanda de energia que ocasiona o aumento do tráfego de máquinas agrícolas, maiores e mais robustas, atua negativamente na compactação do solo, afetando direta e indiretamente a produtividade das culturas, pois modifica diversos atributos físicos do solo. Como técnica potencial para solucionar este problema tem-se a escarificação, que promove o rompimento dessas camadas compactadas, sem ocasionar a inversão do solo, mantém os resíduos vegetais depositados na superfície, melhora a infiltração, a estrutura e a porosidade do solo e facilita assim o controle da erosão. Contudo esta operação apresenta elevada demanda de tração. Visando uma operação de escarificação mais eficiente, ou seja, com maior aproveitamento de energia, desenvolveu-se e avaliou-se uma ferramenta para o rompimento do solo em camadas, de forma simultânea. Para tanto foi necessária a construção de uma Estrutura Porta-Ferramentas Móvel, capaz de executar os procedimentos experimentais decorrentes dos tratamentos planejados. Como fonte móvel de potência foi utilizado um trator marca Massey Ferguson, Modelo MF 275 com 72 CV (53 kW) de potência. O experimento foi conduzido no Município de Capão Bonito do Sul, Rio Grande do Sul, em um solo de textura muito argilosa. Como objetivo geral, buscou-se responder às seguintes perguntas: (i) existe alguma diferença significativa entre a escarificação em única camada ou em mais de uma camada, considerando a força horizontal média na barra de tração, a resistência específica e o consumo horário médio de combustível como critérios, para cada nível de velocidade? ; (ii) de que forma influi o aprofundamento (espessura das camadas) na força horizontal média na barra de tração? ; e (iii) como atua o avanço (distância longitudinal entre as pontas das hastes), sobre a área de solo mobilizada? Foram testadas configurações com escarificação do solo em uma, duas e três camadas, com variações nas distâncias longitudinais entre as pontas das pontas. Os tratamentos com escarificação em duas camadas simultâneas de quinze centímetros e distância longitudinal entre as pontas das pontas tanto de trinta quanto de quarenta centímetros, juntamente com aquele com aprofundamento de dez e avanço de trinta centímetros apresentaram-se como mais promissores. Concluiu-se ao final deste trabalho, considerando todas as configurações testadas, que existem combinações de aprofundamento, avanço e velocidade, que revelaram-se mais eficientes que a escarificação em camada única.

Palavras-chaves: Preparo conservacionista, projeto de máquinas agrícolas, compactação do solo, escarificador, força de tração.

ABSTRACT

Doctoral Thesis
Post-Graduation Program in Agricultural Engineering
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

ASSESSMENT TOOL FOR SOIL CHISELING IN LAYERS SIMULTANEOUSLY

AUTHOR: JOSÉ RENÊ FREITAS GASSEN, MSC.
SUPERVISOR: AIRTON DOS SANTOS ALONÇO, DR. ENG.
SANTA MARIA, OCTOBER/28/2011.

The growing demand for energy that causes the increased traffic of agricultural machinery, larger and more robust, acts negatively on soil compaction, directly and indirectly affecting crop productivity, as many changes in soil physical attributes. As a potential technique to solve this problem has the chiseling, which promotes the disruption of these compacted layers, without causing the inversion of the soil, keeps the plant residues deposited on the surface, improves infiltration, the structure and porosity of the soil and thus facilitates erosion control. However this operation has a high demand for traction. Seeking a more efficient operation of scarification, ie, better utilization of energy, developed and evaluated a tool to break ground in layers simultaneously. For this purpose it was necessary to construct a Structure-Port Mobile Tools capable of performing experimental procedures resulting from the planned treatments. As a mobile source of power was used a Massey Ferguson tractor model MF 275 with 53 kW. The experiment was conducted in the Municipality of Capon Beautiful South, Rio Grande do Sul, in a clayey soil. As a general objective, we sought to answer the following questions: (i) is there any significant difference between chiseling in a single layer or more than one layer, considering the average horizontal force on the drawbar, the specific resistance and the average hourly fuel consumption as criteria for each level of speed? (ii) how the deepening affects the average horizontal force in the drawbar? And (iii) acts as the advance on the soil area mobilized? Configurations were tested with chiseling of the soil in one, two and three layers, with variations in longitudinal distances between the tips of the spikes. The chiseling treatments in two concurrent 0,15 meters layers and longitudinal distance between the tip ends of 0,30 and 0,40 meters, with one in 0,10 meter of deepening and 0,30 meters advancing presented as the most promising. It was concluded at the end of this work, considering all the tested configurations, there are combinations of deepening, advancing and speed, which proved more efficient than chiseling a single layer.

Keywords: conservation tillage, agricultural machinery design, soil compaction, chisel plow, traction force.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Parâmetros geométricos da ferramenta.	27
Figura 2 – Efeito da adição de asas à ponteira	30
Figura 3 – Efeito da velocidade de operação sobre a força de tração.....	30
Figura 4 – Ponteiras com ângulo de ataque de 33° e diferentes superfícies de corte	31
Figura 5 – Ponteiras com ângulo de ataque de 20° e diferentes superfícies de corte	31
Figura 6 – Força de Tração em função das Superfícies de Corte	32
Figura 7 – Força de Tração (kN), Área Mobilizada (m ²) e Resistência Específica (kN/m ²) ...	33
Figura 8 – Processo de desenvolvimento integrado de produtos.	35
Figura 9 – Modelo de referência para o desenvolvimento de máquinas agrícolas.	35
Figura 10 – Área Experimental em Capão Bonito do Sul.	37
Figura 11 – Localização dos Pontos onde foram determinadas as Resistências à Penetração.	38
Figura 12 – Situação da Área Experimental no mapa de distribuição de solos do RS,.....	39
Figura 13 – Perfilômetro.	43
Figura 14 – Metodologia do Projeto da Estrutura Porta-ferramentas Móvel e da Ferramenta.	46
Figura 15 – Parâmetros relativos à ferramenta para Escarificação Progressiva.....	54
Figura 16 – Croqui da Área Experimental	55
Figura 17 – Esquemas Representativos das Configurações de Hastes Utilizadas no Teste de Campo.....	57
Figura 18 – Perspectiva da EPFM e Ferramentas.	63
Figura 19 – Subconjuntos da EPFM.	64
Figura 20 – Barras Deslizantes e Suportes das Hastes.	65
Figura 21 – Hastes para rompimento em camadas.....	66
Figura 22 – Ponteiras utilizadas nas hastes.....	67
Figura 23 – Comparativo da F_{HMBT} entre todos os tratamentos.	73
Figura 24 – Comparativo da A_{sm} (m ²) entre todos os tratamentos.....	79
Figura 25 – Comportamento das variáveis respostas em função da variação do aprofundamento.....	88
Figura 26 – Comportamento das variáveis respostas em função da variação do avanço. ...	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Instrumentação utilizada no experimento.	42
Quadro 2 – Caracterização dos Tratamentos executados nos experimentos de campo.	56
Quadro 4 – Comparação de Tratamentos em Camadas Múltiplas com camada única.	60
Quadro 4 – Comparativo F_{HMBT} (N) nas Operações de Escarificação em duas e três camadas entre si.....	74
Quadro 5 – Comparativo entre os ganhos de área de solo mobilizada.	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resistência à penetração média [kPa] em função da profundidade [m]	38
Tabela 2 – Resistência à penetração máxima [kPa] em função da profundidade [m].....	39
Tabela 3 – Análise granulométrica do solo e densidade de partículas.	40
Tabela 4 – Densidade do solo [Mg m^{-3}].....	40
Tabela 5 – Teor de água (w) do solo no dia do experimento e média dos Limites Plasticidade [%].	40
Tabela 6 – Porosidade Total e Microporosidade do solo na área experimental [%].	41
Tabela 7 – Comparativo entre as Velocidades Planejadas e as Médias Observadas.	67
Tabela 8 – Resumo da Análise de Variância da F_{HMBT}	68
Tabela 9 – Comparativo da F_{HMBT} (N) para os três níveis de velocidade.	69
Tabela 10 – Médias da F_{HMBT} (N) para $v_1= 3 \text{ km h}^{-1}$ da Interação de (Ap x Av)	70
Tabela 11 – Médias da F_{HMBT} (N) para $v_3= 7 \text{ km h}^{-1}$ da Interação de (Ap x Av)	70
Tabela 12 – Médias Gerais da F_{HMBT} (N) para o Exp. Trifatorial (Ap, Av e V).....	71
Tabela 13 – Análise Complementar D.E. Trifatorial da F_{HMBT} (N) para a Interação de (Ap x Av)	72
Tabela 14 – Análise Complementar D.E. Trifatorial da F_{HMBT} (N) para a Interação de (Ap x V).	72
Tabela 15 – Resumo da Análise de Variância da A_{sm}	75
Tabela 16 – Comparativo da A_{sm} (m^2) para os três níveis de velocidade.....	76
Tabela 17 – Médias da A_{sm} (m^2) para $v_1=3 \text{ km h}^{-1}$ da Interação de (Ap x Av).....	77
Tabela 18 – Médias da A_{sm} (m^2) para $v_2=6 \text{ km h}^{-1}$ da Interação de (Ap x Av).....	77
Tabela 19 – Médias da A_{sm} (m^2) para $v_3=7 \text{ km h}^{-1}$ da Interação de (Ap x Av).....	78
Tabela 20 – Médias Gerais da A_{sm} [m^2] para o Exp. Trifatorial (Ap, Av e V).....	78
Tabela 21 – Análise Complementar D.E. Trifatorial da A_{sm} para a Interação de (Ap x Av) ..	79
Tabela 22 – Resumo da Análise de Variância da R_{esp}	81
Tabela 23 – Comparativo da R_{esp} (kN m^{-2}) para os três níveis de velocidade.....	81
Tabela 24 – Médias Gerais da R_{esp} [kN m^{-2}] para o Exp. Trifatorial (Ap, Av e V).	82
Tabela 25 – Análise Complementar D.E. Trifatorial da R_{esp} para a Interação de (Ap x Av) .	83
Tabela 26 – Análise Complementar D.E. Trifatorial da R_{esp} para a Interação de (Av x V) ...	83
Tabela 27 – Resumo da Análise de Variância da C_{hc}	84
Tabela 28 – Comparativo do C_{hc} (L h^{-1}) para os três níveis de velocidade.	85
Tabela 29 – Médias Gerais da C_{hc} em [L h^{-1}] para o Exp. Trifatorial (Ap, Av e V).....	86
Tabela 30 – Análise Complementar D.E. Trifatorial da C_{hc} (L h^{-1}) para a Interação de (Ap x Av)	86
Tabela 31 – Análise Complementar D.E. Trifatorial da C_{hc} (L h^{-1}) para a Interação de (Av xV).	87

LISTA DE ABREVIATURAS

Ap – Aprofundamento ou espessura da camada de solo.

ASAE – Sociedade Norte Americana de Engenheiros Agrícolas (*American Society of Agricultural Engineers*).

A_{sm} – Área de Solo Mobilizada.

Av – Avanço ou distância longitudinal entre as pontas das ponteiras.

C_{hc} – Consumo horário de combustível.

CV – Coeficiente de Variação.

D.E. – Delineamento Experimental.

DMS – Diferença Mínima Significativa.

EPFM – Estrutura Porta-Ferramentas Móvel.

F_{HMBT} – Força Horizontal Média na Barra de Tração.

$F_{HMBTMed}$ – Média das Forças de Tração medidas durante o tracionamento das ferramentas em cada parcela.

GPS – *Global Positions Sistem*.

H – Haste.

PH – Ponta da Haste.

MG – Média Geral.

R_{esp} – Resistência Específica.

R_{ROL} – Resistência ao Rolamento.

V – Velocidade da Operação.

V_{RT} – Velocidade Média de Rotação Teórica das rodas traseiras do trator.

V_{RE} – Velocidade Medida no deslocamento do trator.

SUMÁRIO

1.	TÍTULO	19
1.1.	Problema.....	19
1.2.	Objetivo Geral	20
1.3.	Objetivos Específicos.....	20
1.4.	Hipóteses	21
1.5.	Estrutura da Tese.....	21
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1.	Compactação do Solo.....	23
2.2.	Escarificação.....	25
2.2.1	Escarificadores	26
2.2.2	Dinâmica do Solo.....	28
2.2.3	Análise Energética da Escarificação.....	29
2.3.	Metodologias de Projeto.....	34
3.	MATERIAL E MÉTODOS	37
3.1.	Material	37
3.1.1	Área Experimental	37
3.1.2	Solo.....	39
3.1.3	Maquinaria	41
3.1.4	Instrumentação	42
3.1.5	Recursos Físicos usados nas Análises do Solo	43
3.2.	Métodologia de Projeto da Estrutura Porta-Ferramentas Móvel	44
3.2.1	Projeto Informacional.....	45
3.2.2	Projeto Conceitual	48
3.2.3	Projeto Preliminar	49
3.2.4	Projeto Detalhado	49
3.3.	Metodologia Experimental.....	50
3.3.1	Caracterização do Solo.....	50
3.3.2	Delineamento Experimental e Tratamentos.....	53
3.3.3	Variáveis Resposta.....	58
3.3.4	Análise Estatística	60
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	63

4.1.	Estrutura Porta-Ferramentas Móvel (EPFM) e Ferramentas	63
4.2.	Velocidades Médias Observadas	67
4.3.	Profundidade Média Observada	67
4.4.	Força Horizontal média na Barra de Tração	67
4.5.	Área de Solo Mobilizada	75
4.6.	Resistência Específica	80
4.7.	Consumo Horário de Combustível	84
4.8.	Patinagem	87
5.	CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES DE	
	TRABALHOS FUTUROS	91
5.1.	Conclusões	91
5.1.1	Relativas à Hipótese 1	91
5.1.2	Relativas à Hipótese 2	92
5.1.3	Relativas à Hipótese 3	92
5.2.	Considerações Finais	93
5.3.	Sugestões para trabalhos futuros	94
6.	REFERÊNCIAS	95
	Apêndice AA – Análise Estatística da F_{HMBT} para $V= 3 \text{ km h}^{-1}$	101
	Apêndice AB – Análise Estatística da F_{HMBT} para $V= 6 \text{ km h}^{-1}$	104
	Apêndice AC – Análise Estatística da F_{HMBT} para $V= 7 \text{ km h}^{-1}$	107
	Apêndice AD – Análise Estatística da F_{HMBT} Trifatorial	110
	Apêndice AE – Análise Estatística da Asm para $V= 3 \text{ km h}^{-1}$	113
	Apêndice AF – Análise Estatística da Asm para $V= 6 \text{ km h}^{-1}$	116
	Apêndice AG – Análise Estatística da Asm para $V= 7 \text{ km h}^{-1}$	118
	Apêndice AH – Análise Estatística Trifatorial da Asm	120
	Apêndice AI – Análise Estatística da Resp para $V= 3 \text{ km h}^{-1}$	123
	Apêndice AJ – Análise Estatística da Resp para $V= 6 \text{ km h}^{-1}$	125
	Apêndice AK – Análise Estatística da Resp para $V= 7 \text{ km h}^{-1}$	127
	Apêndice AL – Análise Estatística Trifatorial da Resp	129
	Apêndice AM – Análise Estatística do Chc para $V= 3 \text{ km h}^{-1}$	132
	Apêndice AN – Análise Estatística do Chc para $V= 6 \text{ km h}^{-1}$	134

Apêndice AO – Análise Estatística do Chc para $V= 7 \text{ km h}^{-1}$	136
Apêndice AP – Análise Estatística Trifatorial do Chc	138
Apêndice AQ – Análise Estatística da Patinagem para $V= 3 \text{ km h}^{-1}$	141
Apêndice AR – Análise Estatística da Patinagem para $V= 6 \text{ km h}^{-1}$	143
Apêndice AS – Análise Estatística da Patinagem para $V= 7 \text{ km h}^{-1}$	145
Apêndice AT – Análise Estatística Trifatorial da Patinagem.....	147
Apêndice BA – Perfil Médio de Solo Mobilizado (T1, T2 e T3).....	150
Apêndice BB – Perfil Médio de Solo Mobilizado (T4, T5 e T6).....	151
Apêndice BC – Perfil médio de Solo Mobilizado (T7, T8 e T9).....	152
Apêndice BD – Perfil médio de Solo Mobilizado (T10, T11 e T12).....	153
Apêndice BE – Perfil médio de Solo Mobilizado (T13, T14 e T15).....	154
Apêndice BF – Perfil médio de Solo Mobilizado (T16, T17 e T18).....	155
Apêndice BG – Perfil médio de Solo Mobilizado (T01, T02 e T03)	156
Apêndice CA – Ciclo de vida e clientes/usuários do produto	157
Apêndice CB – Necessidades dos clientes/usuários.....	158
Apêndice CC – Requisitos dos clientes/usuários	159
Apêndice CD – Requisitos dos usuários hierarquizados.....	160
Apêndice CE – Requisitos de projeto.....	161
Apêndice CF – Requisitos de projeto hierarquizados.....	162
Apêndice CG – Restrições de segurança	163
Apêndice CH – Especificações de projeto	164
Apêndice CI – Função global e estrutura funcional.....	167
Apêndice CJ – Concepção.....	168
Apêndice CK – Conceito	169
Apêndice CL – Leiaute detalhado	170
Apêndice CL – Desenho dos componentes	176
Apêndice D – Fotos.....	197

1. TÍTULO

Avaliação de ferramenta para escarificação do solo em camadas, de forma simultânea.

1.1. Problema

Nos últimos anos observa-se uma intensificação na busca por soluções agrícolas que visam a preservação do meio ambiente e a conservação do solo, o que se revela um grande desafio, face à necessidade de altas produtividades das culturas e racionalização dos custos de produção. Uma das conseqüências desta necessidade é a crescente demanda de energia associada à intensificação do uso de máquinas agrícolas, sendo este último, um agente importante que atua negativamente na compactação do solo. Esta afeta direta e indiretamente a produtividade das culturas, pois modifica diversos atributos físicos do solo, entre os quais destacam-se: a densidade, a resistência à penetração, a macro e microporosidade e a capacidade de retenção de água.

Como técnica potencial para solucionar este problema tem-se a escarificação, que promove o rompimento dessas camadas compactadas, sem ocasionar a inversão do solo. Esta operação proporciona menor desagregação, mantém os resíduos vegetais depositados na superfície, melhora a infiltração, a estrutura e a porosidade do solo, facilitando assim o controle da erosão, quando comparada aos preparos do solo convencionais.

Contudo, a escarificação apresenta uma elevada demanda de tração, por exemplo, se considerarmos o seu valor estimado pela ASAE – D497(2003) para uma profundidade de trabalho de 30 cm, velocidade de 8 km h⁻¹ e ponteira reta com 5 cm de largura é em torno de 3.422,0 N (três mil quatrocentos e vinte e dois Newtons) e se considerarmos Balastreire (1987), este valor aproxima-se de 7.800,0 N(sete e oitocentos Newtons).

Na busca de uma operação de escarificação mais eficiente, ou seja, com menor demanda de tração e/ou menor resistência específica (força de tração por unidade de área de solo mobilizado), propõe-se o desenvolvimento e a avaliação de uma ferramenta para o rompimento do solo em camadas, de forma simultânea.

Inúmeros estudos sobre os órgãos ativos dos escarificadores vêm sendo desenvolvidos nas últimas décadas na busca de ferramentas com menores demandas de tração ou que sejam capazes de mobilizar maiores volumes de solo sem aumento na potência mecânica necessária à operação. Na grande maioria das vezes, o foco do estudo está nos parâmetros geométricos da ferramenta, tais como o ângulo de ataque, inclinação da haste, ângulo de sucção, largura da ponteira e largura da haste.

Por tratar-se do desenvolvimento de uma ferramenta, este deu-se por um processo formal com metodologias sistematizadas, passíveis de controle em todas as suas etapas e que durante sua execução e depois de concluídos, foram estudados, para que os conhecimentos e novas tecnologias geradas incorporem-se de forma permanente. Vale ressaltar que metodologias visando aspectos de segurança e ergonomia também foram consideradas.

Como não se dispunha de uma estrutura porta ferramentas capaz de realizar os tratamentos previstos para este trabalho, apresenta-se o processo de desenvolvimento desta, bem como seus resultados.

1.2. Objetivo Geral

Avaliação de uma ferramenta para o rompimento do solo em camadas, de forma simultânea, na operação de escarificação do solo.

1.3. Objetivos Específicos

Os passos intermediários, necessários ao alcance do objetivo principal, foram:

- Determinação das especificações de projeto da Estrutura Porta-Ferramentas Móvel (EPFM) e da ferramenta;
- Definição da concepção e leiaute final da EPFM e ferramentas;
- Dimensionamento e construção dos protótipos: EPFM e ferramentas; e
- Estudo a respeito da influência da variação do aprofundamento progressivo, do avanço da ponteira e da velocidade sobre a Força Horizontal Média na Barra de Tração (F_{HMBT}), consumo horário médio de combustível – consumo horário (C_{hc}) e Área de Solo Mobilizado

(A_{sm}), em Latossolo da região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul.

1.4. Hipóteses

Se a profundidade de trabalho de um escarificador tem influência significativa no desempenho do implemento, então é possível desenvolver uma ferramenta capaz de romper o solo em camadas de modo simultâneo, de forma que a eficiência do equipamento melhore, alcançando menores Força Horizontal Média na Barra de Tração (F_{HMBT}), Consumo Horário de combustível (Chc) e resistência específica (R_{esp}), para cada velocidade de trabalho testada.

Se, de acordo com a equação universal de mobilização do solo, a profundidade de trabalho influi de forma quadrática em relação ao nível de compactação do solo, então espera-se na operação de escarificação em camadas, que ao aumentá-las em número, ou seja, diminuir a sua espessura, ocorra uma diminuição na F_{HMBT} .

Se a área de solo mobilizado depende da resistência ao cisalhamento, e esta, é proporcional a tensão normal do solo, então na medida em que se aumenta a distância entre as pontas das ponteiros (Avanço), haverá uma redução na área de solo mobilizado, visto que as ponteiros mais profundas encontram o solo a sua frente e um pouco acima, já desestruturado (alívio da tensão normal).

1.5. Estrutura da Tese

A presente Tese é composta por este capítulo, seguido por outros cinco capítulos e apêndices.

O Capítulo 2 trata da revisão bibliográfica de assuntos inerentes ao tema principal, entre eles, têm-se a compactação do solo, escarificação e escarificadores, dinâmica do solo, análise energética da escarificação e metodologias de projeto.

No Capítulo 3 são apresentados o material e métodos utilizados no presente trabalho, como por exemplo, área experimental, solo, maquinaria, instrumentação, recursos físicos e métodos usados nas análises do solo, metodologia de projeto da estrutura porta-ferramentas móvel e da ferramenta, metodologia experimental,

caracterização do solo, delineamento experimental e tratamentos com as respectivas variáveis resposta e análise estatística.

São mostrados no Capítulo 4 os resultados e discussões sobre a estrutura porta-ferramentas móvel (EPFM) e ferramentas, velocidades médias observadas, profundidade média observada, força horizontal média na barra de tração, área de solo mobilizada, resistência específica à tração, consumo horário de combustível e patinação.

No Capítulo 5 tem-se o fechamento do trabalho, com as conclusões relativas a cada uma das hipóteses, algumas considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

No último capítulo é apresentada a bibliografia citada na Tese. Tem-se três apêndices ao final do texto, o primeiro traz as análises estatísticas, o segundo, a área de solo mobilizada média de cada um dos tratamentos e o terceiro, apresenta o projeto da EPFM e detalhamento das hastes e ponteiras utilizadas no trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Compactação do Solo

Com vistas a uma produção agrícola sustentável muitas foram as técnicas criadas e aperfeiçoadas nas últimas décadas, dentre as quais, tem-se o sistema de plantio direto, que prima em fazer a semeadura diretamente no solo sem o revolvimento deste, mantendo o máximo da cobertura vegetal. De acordo com Carvalho (2002), o plantio direto é uma técnica conservacionista, adotado por agricultores e criadores com preocupações econômicas, sociais e ambientais, é estratégico no manejo sustentável de bacias hidrográficas pela conservação da água, do solo e proteção da vegetação. A semeadura direta minimizou uma série de problemas ligados a processos erosivos, porém exigiu uma reconfiguração das semeadoras agrícolas, tornando-as mais versáteis, isso, aliado à necessidade do aumento da capacidade operacional de trabalho, imposta indiretamente pelo sistema de agronegócio, e que geraram uma elevação no tamanho e peso da frota dos tratores agrícolas, contribuindo para o aumento da compactação no solo, principalmente em solos mais argilosos.

A compactação do solo é um processo em que a porosidade e a permeabilidade são reduzidas, a resistência mecânica é aumentada e muitas mudanças ocorrem na estrutura do solo (SOANE & OUWERKERK, 1994).

Para Rosa (2007), além da deterioração da estrutura do solo, a compactação em solos sob plantio direto traz consigo a desvantagem de aumentar a força por área trabalhada, gerando conseqüências como aumento do consumo de combustível, redução da vida útil dos mecanismos ativos do trator e da semeadora. Considerando o desenvolvimento da cultura, tal problema gera acréscimo da densidade do solo, redução da profundidade do sistema radicular, redução da infiltração da água no solo, aumento da temperatura e outros problemas que refletem na redução da produtividade.

Araújo et al. (2001) afirmaram que no sistema de plantio direto é comum a ocorrência de uma camada superficial compactada que pode, dependendo do nível de compactação, prejudicar o desenvolvimento das plantas.

De acordo com Cohron (1971), a compactação é originada por duas fontes principais, internas (ou fontes de origens naturais, as forças envoltas nos processos

de umedecimento, secagem e congelamento) e externas (ou fontes de origens mecânicas, originadas por veículos agrícolas, implementos e animais), sendo essas últimas as mais influentes no processo. As primeiras (internas), estão relacionadas a propriedades intrínsecas do solo como textura e conteúdo de matéria orgânica (Larson et al., 1980; Hettiaratchi, 1987), conteúdo de água (GUÉRIF, 1984) e histórico de tensão do solo (REINERT, 1990).

Segundo Flowers e Lal (1998), a principal causa da compactação em solos são as condições de tráfego das máquinas usadas nas operações agrícolas, tais como operações de preparo, semeadura, tratos culturais e colheita. Horn et al. (1995) acrescentam que não somente a pressão estática causa compactação, mas também as forças dinâmicas causadas pela vibração do trator arrastando implementos, e pela patinagem das rodas (MAZIERO et al., 1997), ocasionando uma alteração estrutural e reorganização das partículas do solo (HAMBLIM, 1985).

No solo compactado há redução da infiltração de água, com conseqüente aumento do escoamento superficial, podendo causar redução do teor de água do solo para desenvolvimento da planta (TROUSE, 1971); redução da capacidade de aeração, ocasionado pela redução do espaço de vazios no solo; diminuição da permeabilidade, gerada pela redução dos macroporos e aumento da densidade, provocando impedimento mecânico, que limita o crescimento do sistema radicular (BELTRAME & TAYLOR, 1980).

Suzuki (2005), em experimento na cultura do milho, encontrou influência direta da compactação na redução da produtividade, da altura e do comprimento radicular, enquanto, Beutler & Centurion (2004), avaliando a influência da compactação na produtividade e altura do sistema radicular em arroz de sequeiro, encontrou redução na produtividade e restrição ao crescimento das raízes.

Adams e Wulfsohn (1997), trabalhando com solo franco-siltoso e franco-argiloso, encontraram reduções nos rendimentos de 13 % no trigo e 7,5 % no milho, quando a densidade do solo aumentou em 11%.

Foloni et al. (2003), em estudo sobre o efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho, concluíram que: (i) a compactação do solo comprometeu o desenvolvimento das plantas de milho híbrido e da variedade na mesma intensidade; (ii) apesar de alterar a distribuição do sistema radicular ao longo do perfil do solo, o impedimento físico em subsuperfície não

diminuiu a produção total de raízes de milho; (iii) o diâmetro médio radicular apresentou alta correlação com o crescimento de raízes no solo compactado; e (iv) o sistema radicular do milho não é capaz de romper uma camada compactada de solo com resistência mecânica da ordem de 1,4 MPa.

Beutler & Centurion (2004), ao pesquisarem sobre o efeito da compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja, em latossolo vermelho de textura média, verificaram que houve diminuição na produtividade e em determinada profundidade ocorreu uma redução na densidade das raízes.

Rosa (2007) considera que o entendimento da compactação é complexo, pois envolve distintas áreas do conhecimento das ciências agrárias, como a área da física, química, biologia e mecânica do solo. Dentre as propriedades físicas do solo, a densidade do solo e resistência à penetração média (RP) revelam-se como bons indicadores do seu nível de compactação, onde para a primeira, considerando-se solos arenosos os valores normais variam de 1,2 a 1,9 g/cm³, enquanto que para os argilosos os valores são mais baixos, de 0,9 a 1,7 g/cm³, (REINERT & REICHERT, 2006). No caso da resistência a penetração, está deve ser considerada em conjunto com a umidade do solo, visto que as mesmas são dependentes e apresentam variação inversamente proporcional (Tormena & Roloff, 1996). O valor a partir do qual a RP passa a dificultar o crescimento radicular depende da cultura em questão, para o algodão isto ocorre acima de 2,00 MPa (TAYLOR et al., 1966), enquanto para soja a produção se mantém adequada até 1,80 MPa (SILVA et al., 2000).

Como técnica potencial para solucionar este problema tem-se a escarificação, que promove o rompimento dessas camadas compactadas ou adensadas.

2.2. Escarificação

Para Machado et al. (2005), a operação de escarificação consiste em mobilizar o solo a uma determinada profundidade, até trinta centímetros, tendo uma mínima mobilização superficial e mantendo a cobertura do solo. Por não provocar a inversão de camadas do solo, esta operação proporciona menor desagregação, sendo que os resíduos vegetais ficam depositados na superfície do solo, facilitando assim o controle da erosão, melhorando potencialmente a infiltração e a retenção de água, bem como a estrutura e a porosidade do solo, quando comparada aos preparos do solo convencionais. Estes mesmos autores ao mencionarem a parte

ativa do escarificador (as ponteiras) as dividem em dois tipos, estreitas, com largura de 4 a 8 centímetros e largas ou aladas, com dimensões acima destas.

Em estudo realizado em planossolo de textura média/argilosa, localizado na unidade de mapeamento Pelotas-RS, Machado et al. (1996), verificaram que após a escarificação ocorreram melhoras nas condições físicas, como a diminuição da densidade, da microporosidade e da relação micro/macroporos, e aumento do diâmetro médio geométrico, da estabilidade de agregados, da macroporosidade e da porosidade total.

Nicoloso et al. (2008) consideraram a escarificação mecânica como uma alternativa eficiente para melhorar as condições físicas do Latossolo de textura muito argilosa quando associada à escarificação biológica, auxiliando na prevenção da reconsolidação do solo em experimento de campo realizado em quatro áreas, no município de Santa Rosa, região Noroeste do Rio Grande do Sul.

Secco e Reinert (1997) consideram que o uso de escarificadores proporciona uma maior porosidade total do solo e rugosidade superficial, e essas condições podem alcançar um efeito residual por pelo menos até 10 meses após o preparo.

2.2.1 Escarificadores

Para Derpsch et al. (1982), os escarificadores são implementos utilizados para fazer o preparo primário da camada superficial do solo (até o máximo de 25 a 30 cm), com várias hastes e ponteiras, estrategicamente distribuídas em uma armação de ferro (chassi), cujo objetivo é alcançar condições favoráveis ao desenvolvimento da cultura, diminuindo a compactação e eliminando as plantas invasoras.

No decorrer dos últimos anos, os preparos conservacionistas do solo, vem tentando manter a cobertura o máximo possível de cobertura no solo, aumentando o espaçamento entre as hastes e a profundidade de trabalho (WARD, 1986).

Inúmeros estudos sobre os órgãos ativos dos escarificadores vêm sendo desenvolvidos nas últimas décadas na busca de ferramentas com menores demandas de tração ou que sejam capazes de mobilizar maiores volumes de solo sem aumento na potência mecânica necessária à operação. Na grande maioria das

vezes, o foco do estudo está nos parâmetros geométricos da ferramenta, tais como o ângulo de ataque, inclinação da haste, ângulo de sucção, largura da ponteira e largura da haste. Estes são apresentados na Figura 1.

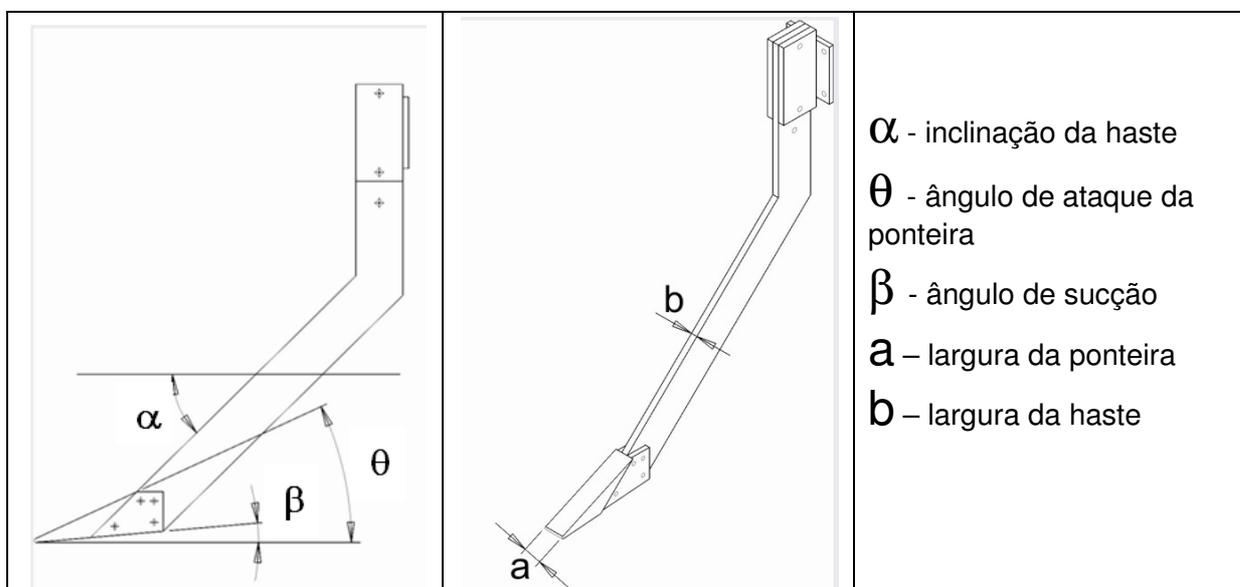


Figura 1 – Parâmetros geométricos da ferramenta.
 (Adaptado de Lanças, 1987)

De acordo com Gamero (2008), a partir da necessidade de rompimento da camada compactada do solo, diversos equipamentos têm sido projetados e utilizados para essa finalidade, todavia para serem usados com eficiência é de fundamental importância que sejam analisados os parâmetros relativos à dinâmica de mobilização do solo e desempenho energético dos mesmos.

McKyes & Maswaure (1997), no experimento de campo realizado no Macdonald Campus Research Station em Ste. Anne de Bellevue, Quebec, no qual foram testadas diversas ponteiros com diferentes ângulos de ataque (30, 60 e 90°), duas larguras diferentes (75 e 150 mm) e três profundidades de trabalho (100, 150 e 200 mm), concluíram que para menores requerimentos de tração e maior eficiência na mobilização do solo as ponteiros estreitas (75 mm) e com ângulo de ataque em torno de trinta graus apresentaram melhores resultados.

2.2.2 Dinâmica do Solo

Payne (1956) observou que ponteiros estreitos produzem um rompimento de solo tridimensional (ruptura crescente), com a massa movendo-se de baixo para cima, para frente e também lateralmente. Já com ponteiros largos, o rompimento dá-se de forma bidimensional, com movimentação ocorrendo apenas para cima e para frente. O mesmo autor observou que em areia úmida, tanto em caixa de solo, quanto no campo, o rompimento do solo dá-se inicialmente com uma pequena elevação do solo, de forma aproximadamente circular, sendo que a ruptura desta elevação não ultrapassa as laterais da ferramenta e, à medida que a ferramenta é movimentada, uma segunda zona de ruptura é formada. O formato desta nova zona de ruptura é o de duas linhas retas que saem das laterais da ferramenta convergindo para a posição central e à frente desta, formando um triângulo isósceles, cuja base é a ferramenta (cunha de solo). Esta segunda zona passa a comportar-se como uma parte da ferramenta, de forma a dividir a primeira zona de ruptura, e as próximas que ocorrerem, ao longo da linha central empurrando as duas metades formadas, lateralmente a fim de permitir a sua passagem.

A ruptura crescente ocorre quando a tensão de cisalhamento do solo no sentido para frente e para cima, para uma determinada profundidade, é menor que aquela no sentido lateral (MANUWA, 2009).

Lambe e Whitman (1969) definiram a resistência ao cisalhamento como a tensão a ser aplicada capaz de provocar movimento relativo entre as partículas. Ela é proporcional a tensão normal entre estas.

A profundidade de trabalho influencia grandemente o esforço de tração, principalmente se a operação estiver sendo executada abaixo da profundidade crítica, que segundo Spoor e Fry (1983), é aquela na qual a quantidade de solo mobilizado pela ponteira é mínima e a ruptura do solo dá-se em planos laterais, ainda, de acordo com Spoor e Godwin (1978), abaixo desta, existe a tendência de ocorrer compactação ao invés de mobilização do solo. Estes autores consideram que a profundidade crítica é dependente da largura da ferramenta, da inclinação da haste e da altura de sucção da ponteira. Godwin e Spoor (1977), na pesquisa de ruptura do solo com ponteiros estreitos verificaram que a profundidade crítica (P_{cr}) é maior que seis vezes a largura da ferramenta. Já Machado et al. (2005) consideram

que a relação entre esta e a largura da ponteira (L_p) é de 5 a 7 vezes, tratando-se de ponteiras estreitas (largura menor que 8 cm).

2.2.3 Análise Energética da Escarificação

Silva et al. (2002), na avaliação de hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras para plantio direto em diferentes profundidades (10, 20 e 30 cm) e espaçamentos laterais entre hastes de 45 e 90 cm da cultura do milho em solo classificado como Nitossolo na Fazenda Experimental Lageado, no município de Botucatu-SP, encontraram valores de demanda de tração em torno de 4.541,0 N por haste, a 30 cm de profundidade e 45 cm de espaçamento entre as hastes.

Sasaki et al. (2005), na análise do desempenho operacional de hastes subsoladoras em função da ponteira e do tipo do solo, realizada em dois solos com diferentes texturas (Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho-Amarelo), em Itatinga-SP, verificaram que a 39 cm de profundidade com ponteira sem asas a demanda foi de 7.063,0 N e para ponteira com asas 8.577,0 N.

Mion et al. (2002), em experimento realizado na Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu, SP, Brasil, no qual, o objetivo do trabalho era avaliar a força de tração (Ft) e a área de solo mobilizada (Asm) variando a profundidade de trabalho de uma haste sulcadora de semeadora de plantio direto, foram utilizados quatro tratamentos variando a profundidade de trabalho da haste (P1 – 12; P2 – 16; P3 – 24 e P4 – 30 cm), encontraram como resultados médios: (i) um acréscimo de 78% tanto no requerimento da força de tração quanto na área de solo mobilizada quando mudou-se a profundidade de 12 para 30 cm; (ii) na mudança da profundidade de 12 para 24 cm ocorreu aumento de 46%(Ft) e 48%(Asm); e (iii) na de 12 para 16 cm, ocorreu um acréscimo de 35% e 17% respectivamente na força de tração e na área de solo mobilizada. Tais resultados evidenciaram que o aumento no requerimento de força foi proporcional ao aumento da área de solo mobilizada quando passou da profundidade P1 para a P4.

Outros fatores também influenciam no esforço de tração e mobilização do solo, entre os quais, temos a velocidade de trabalho e a existência ou não de asas na ponteira. Quanto da inserção de asas pode-se dobrar a mobilização de solo com

um incremento de apenas um terço na força de tração (GODWIN, 2007), aumentando assim a eficiência da operação como apresentado na Figura 2.

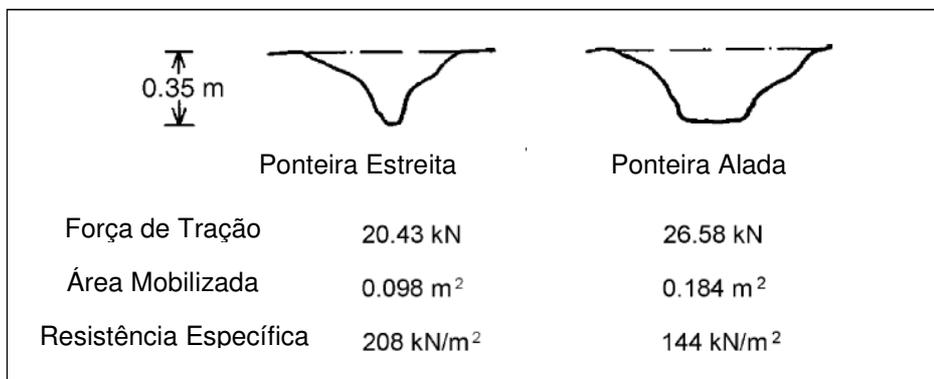


Figura 2 – Efeito da adição de asas à ponteira
(Adaptado de Godwin, 2007)

Efeitos da velocidade de trabalho sobre as forças horizontal e vertical são apresentados na Figura 3. De acordo com Chandon e Kushwaha (2002), houve diferença estatística significativa na força de tração em função da velocidade de trabalho, diferindo ainda para cada tipo de solo, com maiores exigências no franco-arenoso.

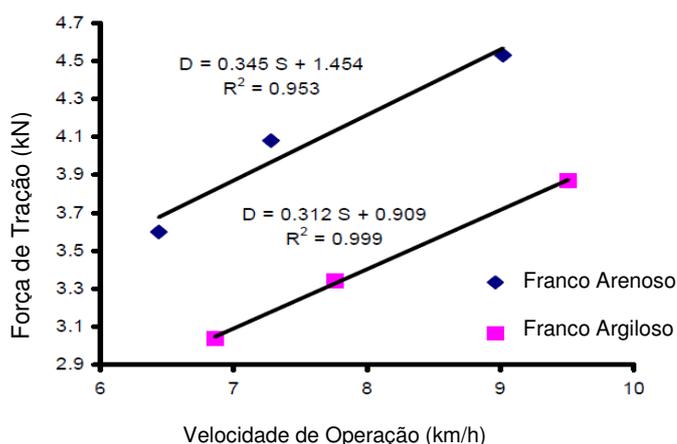


Figura 3 – Efeito da velocidade de operação sobre a força de tração
(Adaptado de Chandon e Kushwaha, 2002)

Chandon e Kushwaha (2002), investigaram também a influência da forma das ponteiros (Figura 4 e Figura 5) sobre a força de tração. Os parâmetros considerados foram os ângulos de ataque e as superfícies de corte.

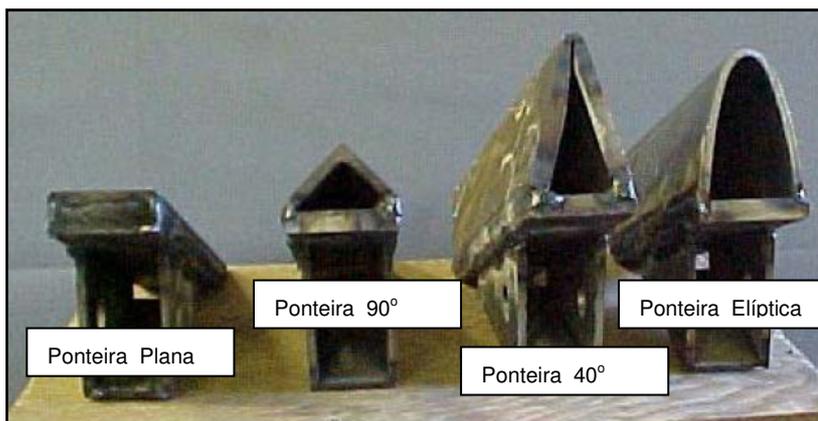


Figura 4 – Ponteiros com ângulo de ataque de 33° e diferentes superfícies de corte
(Adaptado de Chandon e Kushwuaha,2002)

Ao analisar os resultados apresentados na Figura 6, verifica-se que para a superfície de corte elíptica a demanda de tração é a maior e para a superfície de corte plana, menor. Os gumes de corte têm comportamento similar em ambos os solos, sendo que os maiores valores ocorreram no solo franco arenoso.

Com relação aos ângulos de ataque, verificaram-se diferentes tendências, com o de 20° apresentando maior demanda que o de 33° para o solo franco arenoso e menor, para o solo franco argiloso.

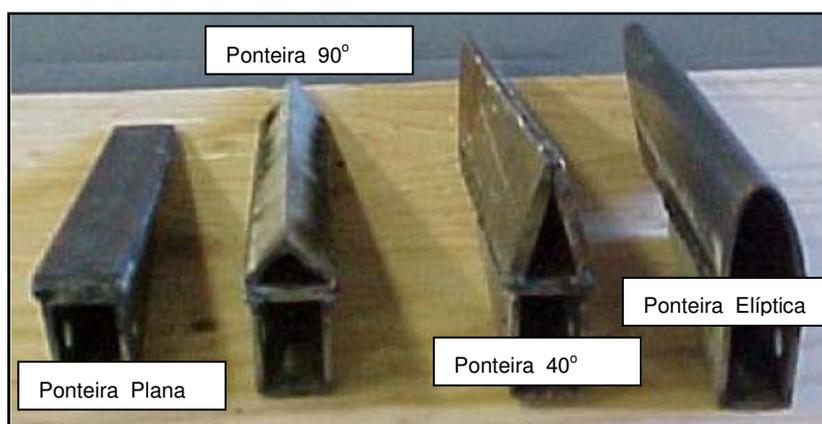


Figura 5 – Ponteiros com ângulo de ataque de 20° e diferentes superfícies de corte
(Adaptado de Chandon e Kushwuaha,2002)

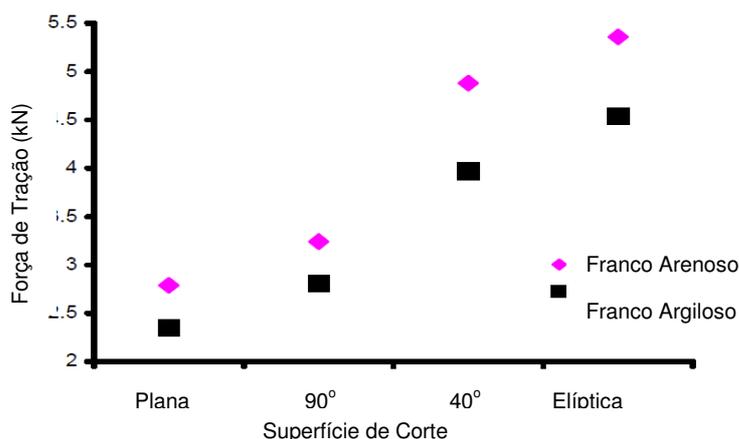


Figura 6 – Força de Tração em função das Superfícies de Corte
(Adaptado de Chandon e Kushwaha,2002)

A Equação 1, apresentada por Hettiaratchi et al (1966) e reportada por Stafford (1979), para força de tração, denota que a profundidade de trabalho (z) influi de forma quadrática em relação ao nível de compactação do solo, e de forma linear quanto a coesão, adesão e sobretaxa de pressão vertical.

$$F = w(\gamma z^2 N_\gamma + cz N_c + c_a z N_a + qz N_q) \sin(\alpha + \delta) \quad (1)$$

Onde:

F – Força de Tração (N);

w – largura da ferramenta (m);

γ - densidade do solo (Mg/m^3);

z – profundidade de trabalho (m);

N_γ, N_c, N_a & N_q – constantes adimensionais;

c – coesão (kPa);

c_a – adesão solo-metal da ferramenta (kPa);

q – sobretaxa de pressão vertical atuando sobre o solo;

α - ângulo de ataque da ferramenta ($^\circ$);

δ - ângulo de atrito solo-ferramenta ($^\circ$);

Bianchini et al. (1999), ao avaliar o comportamento de um escarificador de hastes parabólicas em solo de cerrado (Latosolo Vermelho-Amarelo), verificou que

a força de tração apresenta comportamento quadrático com a profundidade de trabalho.

Spoor e Godwin (1978) pesquisaram sobre uma subsolagem em camadas com duas hastes superficiais, montadas à frente da haste profunda (alada), com diferentes espaçamentos como mostrado na Figura 7.

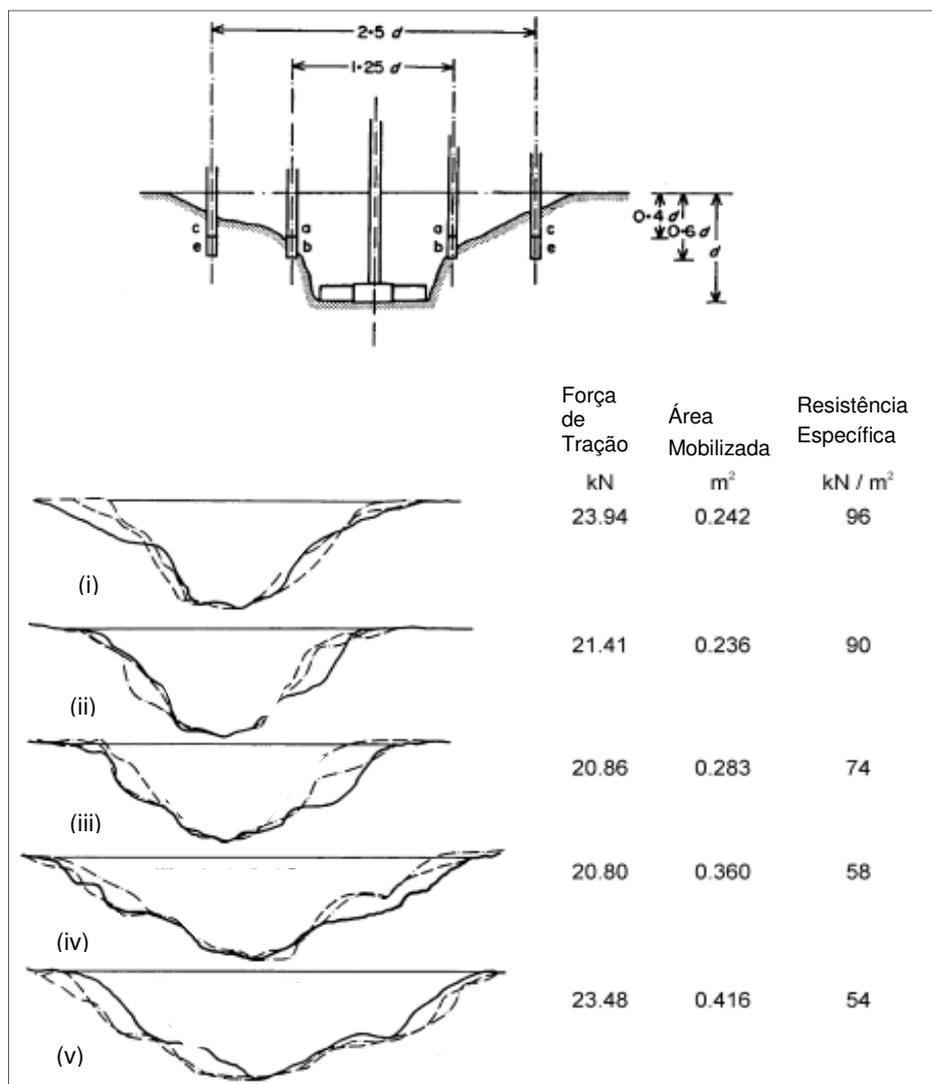


Figura 7 – Força de Tração (kN), Área Mobilizada (m²) e Resistência Específica (kN/m²)
(Adaptado de Spoor e Godwin, 2007)

Neste experimento, foram realizados cinco tratamentos: (i) subsolagem com única haste(alada) a profundidade ($p_i = d = 40$ cm), onde “d” é a profundidade de trabalho; (ii) subsolagem com duas hastes superficiais ($p_{ii} = 0,4.d = 16$ cm), à frente da profunda, espaçadas transversalmente de ($e_{ii} = 1,25.d = 50$ cm); (iii) subsolagem com duas hastes superficiais ($p_{iii} = 0,6.d = 24$ cm), à frente da profunda, espaçadas

transversalmente de ($e_{iii} = 1,25.d = 50$ cm); (iv) subsolagem com duas hastes superficiais ($p_{iv} = 0,4.d = 16$ cm), à frente da profunda, espaçadas transversalmente de ($e_{iv} = 2,50.d = 100$ cm); e (v) subsolagem com duas hastes superficiais ($p_v = 0,6.d = 24$ cm), à frente da profunda, espaçadas transversalmente de $2,50.p$ ($e_v = 2,50.d = 100$ cm). Como resultados deste trabalho têm-se a menor força de tração no tratamento (iv) e menor resistência específica no (v).

Além da profundidade de trabalho, exercem significativa influência no desempenho dos escarificadores, a largura da ponteira, a inclinação, a forma e a espessura da haste, bem como, as propriedades do solo como a densidade e o teor de água. Este último, atua sobre outras propriedades físicas do solo, entre as quais figuram a porosidade, compactação, coesão, adesão e a resistência a penetração. Segundo Lanças(1988), hastes retas inclinadas a 45° apresentam menor demanda de tração.

2.3. Metodologias de Projeto

Como fazem parte do escopo deste trabalho o projeto, a construção e a avaliação de uma ferramenta, juntamente com uma estrutura móvel para suportá-la em operação, capaz de romper o solo em camadas de forma simultânea, apresenta-se então uma revisão bibliográfica sobre as três metodologias que nortearam o processo.

O desenvolvimento da ferramenta e da estrutura de suporte móvel, deu-se por um processo adaptado, baseado na metodologia de projeto do produto de Back et al. (2008), Romano (2003) e na metodologia para o projeto de máquinas seguras (ALONÇO, 2004). Onde a primeira, denominada de Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos – PRODIP –, considera os passos das outras metodologias citadas aqui. Este processo é composto de três macrofases (Planejamento, Elaboração do Projeto do Produto e Implementação do Lote Inicial); oito fases (Planejamento do Projeto, Projeto Informacional, Projeto Conceitual, Projeto Preliminar, Projeto Detalhado, Preparação da Produção Lançamento e Validação). Ao final de cada fase, há uma avaliação do resultado obtido, a partir da qual, caso seja positiva, ocorre a passagem para a fase seguinte. As fases são desdobradas em atividades e estas em tarefas. Como saídas das fases temos: Plano de Projeto,

Especificações de Projeto, Concepção, Viabilidade técnica e econômica, Documentação do Produto, Liberação do Produto, Lote Inicial e Validação do Projeto (Figura 8).

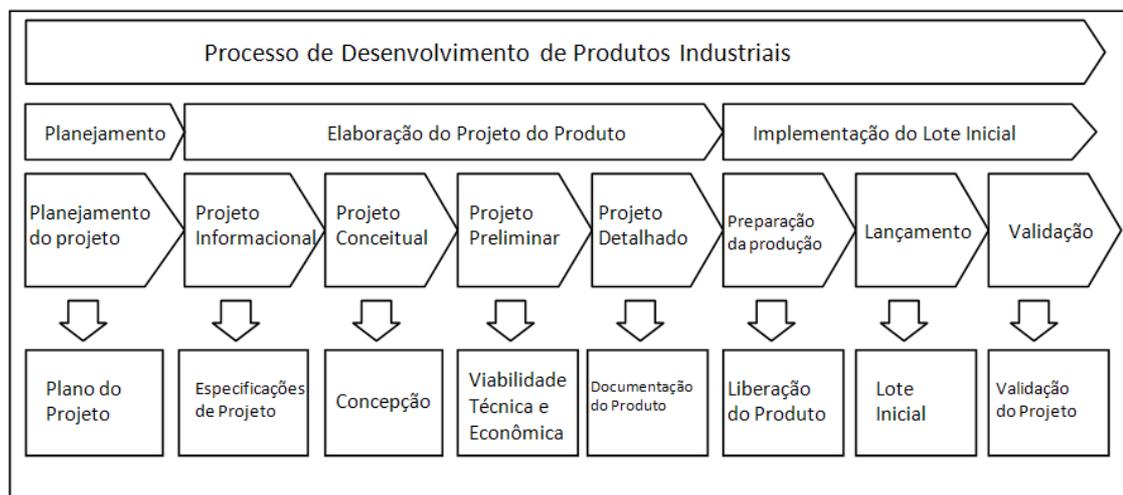


Figura 8 – Processo de desenvolvimento integrado de produtos.

Fonte: Back, 2008.

O Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas (ROMANO, 2003), tem estrutura em macrofases, fases, atividades e tarefas. Para cada fase existe uma saída específica, como apresentado na Figura 9, para Planejamento do Projeto (Plano do Projeto), Projeto Informacional (Especificações de Projeto), Projeto Conceitual (Concepção), Projeto Preliminar (Viabilidade Econômica), Projeto Detalhado (Solicitação de Investimento), Preparação da Produção (Liberação do Produto), Lançamento (Lote Inicial) e Validação (Validação do Projeto).

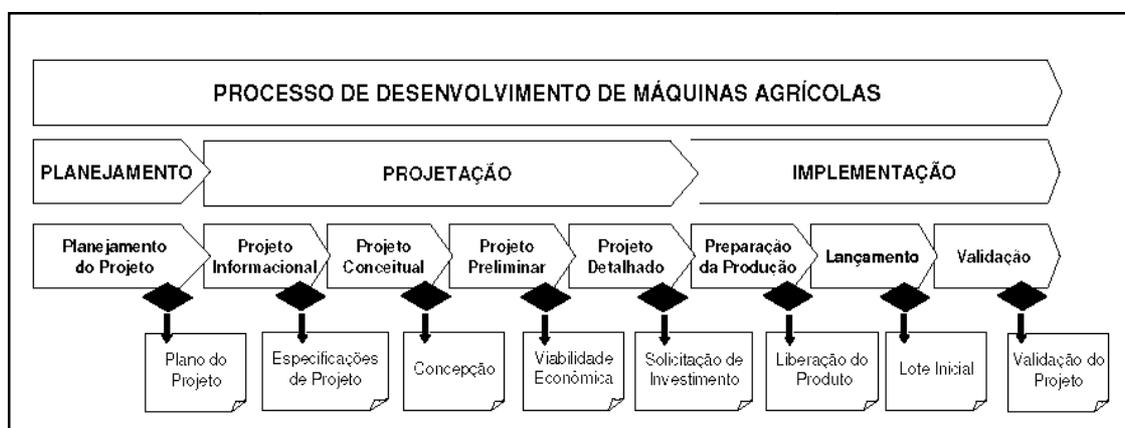


Figura 9 – Modelo de referência para o desenvolvimento de máquinas agrícolas.

Fonte: Romano, 2003

A metodologia para o projeto de máquinas seguras (ALONÇO, 2004) é composta por duas fases principais, na fase informacional, são definidas as restrições de projeto, exigências para segurança baseadas em normas e legislação. Na fase conceitual chegam-se às concepções de projeto para o produto, com as restrições de segurança e princípios de solução para segurança incorporados.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Na sequência serão apresentados o material e metodologias utilizadas, tanto para os projetos e construção das ferramentas e estrutura porta-ferramentas móvel, teste de campo quanto para o delineamento experimental.

3.1. Material

3.1.1 Área Experimental

A área experimental utilizada foi de aproximadamente um hectare e meio, localizada na região Campos de Cima da Serra do Rio Grande do Sul, no município de Capão Bonito do Sul, situada na porção nordeste do RS (Figura 10), que se constitui em uma região aplainada com cotas próximas a 800 m de altitude.



Figura 10 – Área Experimental em Capão Bonito do Sul.

A localização da área é Latitude $28^{\circ}09'2.93''$ S e Longitude $51^{\circ}29'13.72''$ O. A inclinação média na direção das linhas de tração foi de 5,60 % (declive) e na transversal de 6,10% (declive).

A área vem sendo utilizada a cinco anos sob o sistema de plantio direto na cultura de milho para silagem, com tráfego de máquinas intenso, sem nenhum processo de descompactação a pelo menos oito anos. Tal situação evidenciou-se ao

determinar os valores da resistência à penetração na malha composta por trinta e seis pontos, esquematizada de acordo com a Figura 11.

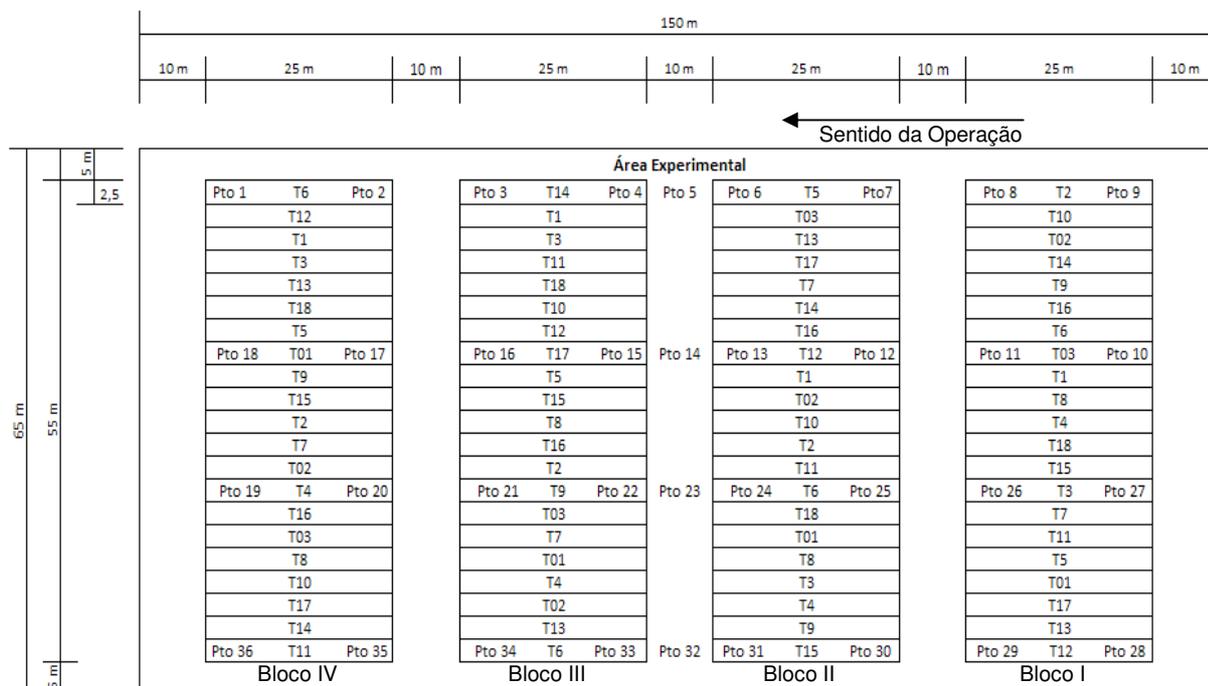


Figura 11 – Localização dos Pontos onde foram determinadas as Resistências à Penetração.

Os valores medidos estão apresentados em forma de resumo, sendo que na Tabela 1 têm-se os valores médios para determinadas profundidades e na Tabela 2 os máximos e suas respectivas profundidades de ocorrência.

Tabela 1 – Resistência à penetração média [kPa] em função da profundidade [m]

	Blocos				Média
	I	II	III	IV	
RPmed 0,10 - (P1)	1.563,88	1.500,00	1.528,00	1.706,88	1.574,69
RPmed 0,15 - (P2')	1.587,00	1.581,00	1.522,13	1.422,63	1.528,19
RPmed 0,20 - (P2)	1.508,50	1.428,50	1.297,13	1.413,00	1.411,78
RPmed 0,30 - (P3)	1.459,50	1.597,63	1.474,00	1.466,13	1.499,31

Ao observar a Tabela 1, nota-se uma tendência geral de menor resistência à penetração média na profundidade de 20 centímetros, e maior compactação a dez centímetros. O comportamento é diferenciado dentro de cada bloco, enquanto no bloco um, a ordem decrescente de compactação é (P2', P1; P2; P3), no bloco dois é

(P3, P2'; P1; P3), no três (P1; P3; P2'; P2) e por fim no quatro é (P1; P2', P3; P2). Esta tendência evidencia potencialmente um perfil de solo com duas camadas mais compactadas acima (P1 e P2') separadas de outra (P3), por uma camada menos compactada (P2).

Tabela 2 – Resistência à penetração máxima [kPa] em função da profundidade [m].

	Blocos			
	I	II	III	IV
RP _{máx}	2.436,00	2.560,00	2.088,00	2.289,00
Prof. _{RP_{máx}}	0,30	0,25	0,13	0,11

Nesta tabela observam-se três regiões nas quais o solo encontra-se mais compactado, e com valores expressivos de resistência à penetração, sendo uma das regiões próxima a dez centímetros de profundidade e outra próxima dos vinte e cinco e trinta centímetros.

3.1.2 Solo

O solo desta região é classificado como Latossolo Vermelho Aluminoférrico Típico (legenda mapa de solos LVaf), como mostrado na Figura 12. Este solo possui boa aptidão agrícola em função de suas propriedades físicas (profundos, bem drenados, muito porosos, friáveis e bem estruturados) e condições de relevo suave, desde que corrigida a fertilidade química. Podem apresentar certa toxicidade por alumínio e também existem limitações climáticas para lavouras de verão, sendo propícios para frutíferas de clima temperado, pastagens e culturas de inverno (Streck et al.,2008).



Figura 12 – Situação da Área Experimental no mapa de distribuição de solos do RS, Streck et al.,2008.

Considerando a Tabela 3 e aplicando as proporções no triângulo textural, as três camadas são classificadas como muito argilosa.

Tabela 3 – Análise granulométrica do solo e densidade de partículas.

Camadas (m)	Granulometria			Ds
	% Areia	% Silte	% Argila	Mg/m ³
0,00 - 0,10	3,3	34,2	62,5	2,73
0,10 - 0,20	3,2	33,6	63,2	2,78
0,20 - 0,30	3,0	31,3	65,7	2,75

Analisado a densidade aparente do solo mostrada na Tabela 4, observa-se uma leve tendência de maior compactação nos dois primeiros intervalos de profundidade, em todos os blocos.

Tabela 4 – Densidade do solo [Mg m⁻³].

Camadas (m)	Blocos					Média
	I	II	III	IV		
0,00 - 0,10	1,28	1,36	1,34	1,35	1,33	
0,10 - 0,20	1,32	1,40	1,29	1,38	1,35	
0,20 - 0,30	1,17	1,22	1,29	1,28	1,24	

Os dados relativos ao teor de água do solo por camadas no dia do experimento de campo, juntamente com os limites de plasticidade estão apresentados na Tabela 5. Observa-se que a operação ocorreu com o solo numa condição propícia, visto que a umidade do solo encontra-se abaixo do limite inferior de plasticidade.

Tabela 5 – Teor de água (w) do solo no dia do experimento e média dos Limites Plasticidade [%].

Camadas (m)	Blocos						
	I	II	III	IV	Média		
	w	w	w	w	LL	LP	w
0,00 - 0,10	21,0	23,3	25,0	21,1	45,0	39,0	22,6
0,10 - 0,20	22,9	24,2	25,5	24,4	46,0	38,0	24,3
0,20 - 0,30	22,0	23,2	19,6	20,5	53,0	42,0	21,3

Visualizando a porosidade total e a microporosidade apresentadas na Tabela 6, a última é praticamente noventa por cento da primeira, indicando que o solo encontra-se realmente compactado, visto que deveria existir um equilíbrio entre a macro e a microporosidade.

Tabela 6 – Porosidade Total e Microporosidade do solo na área experimental [%].

Camadas (m)	Porosidade Total e Microporosidade									
	Blocos									
	I		II		III		IV		Media	
	Pt	Mi	Pt	Mi	Pt	Mi	Pt	Mi	Pt	Mi
0,00 - 0,10	53,2	46,2	50,2	47,9	50,8	45,4	50,5	45,2	51,2	46,2
0,10 - 0,20	52,6	46,7	49,6	47,9	53,5	46,8	50,3	47,5	51,5	47,3
0,20 - 0,30	57,4	47,1	55,7	47,9	53,1	50,4	53,5	49,7	54,9	48,8

Para determinação da textura e densidade dos sólidos, foram retirados dois grupos de três amostras estratificadas por bloco (0 – 10 cm, 10 – 20 cm e 20 – 30 cm). Estas amostras foram misturadas obedecendo às faixas de mesma profundidade, para ao final, retirar-se três amostras finais de cada intervalo de profundidade. Deste material também foi retirada certa quantidade para determinação dos limites de liquidez e plasticidade e cálculo do índice de plasticidade.

Na determinação da densidade aparente, da microporosidade e da umidade atual do solo foram retirados dois grupos de três amostras estratificadas por bloco (0 – 10 cm, 10 – 20 cm e 20 – 30 cm), as quais foram impermeabilizadas, pesadas e levadas ao laboratório para secagem e pesagem posterior.

3.1.3 Maquinaria

3.1.3.1. Trator

Como fonte móvel de potência foi usado um Trator de rodas com tração traseira, potência no motor de 53 kW, Marca Massey Ferguson, Modelo 275, ano de fabricação 1986. Tal trator está equipado com os itens 1 a 4 do Quadro 1 – Instrumentação utilizada no experimento.. A instrumentação foi baseada em Russini (2009), apresentada na seção (3.1.4).

3.1.3.2. Estrutura Porta-Ferramentas Móvel, Hastes e Ponteiras

A estrutura porta-ferramentas móvel, hastes e ponteiras são resultados parciais desta tese e encontra-se nos itens 4.1 e 4.2 do Capítulo 4 (Resultados e Discussão). A EPFM e as Hastes foram montadas na oficina pertencente ao LASERG, com a maior parte dos materiais e peças fornecidos pela empresa Stara S.A. (Não-Me-Toque – RS), parceira deste projeto. No entanto as ponteiras foram adquiridas em partes na empresa Idema S.A. (Santa Maria – RS). Foram utilizados equipamentos e ferramentas de construção mecânica, como transformador de solda elétrica, policorte, esmerilhadeiras, furadeiras manuais e de bancada, chaves de boca, conjugadas, fenda, Philips e allen, além de paquímetros, linhas para alinhamentos e trenas.

3.1.4 Instrumentação

No Quadro 1 está relacionada a instrumentação utilizada no experimento, sendo os quatro primeiros itens embarcados no trator, o sexto item foi emprestado pelo NEMA e o sétimo foi construído no próprio LASERG.

Quadro 1 – Instrumentação utilizada no experimento.

INSTRUMENTAÇÃO				
Item	Função	Fabricante/Construtor	Nome/Modelo	Quantidade
1	Medir Força	Alfa Equipamentos	Célula de Carga , Cap. 5T	1 un
2	Identificar Posição	GARMIN	GPS, map60CS	1 un
3	Medir Patinagem e Velocidade	LM	Sensor Indutivo, LM 12-3004 PC	2 un
4	Medir Consumo de Combustível	Oval Corporation	Fluxômetro, Oval M-III LSF 41	1 un
5	Armazenagem de Dados	Campbell Scientific	Datalogger CR 1000	1 un
6	Medir Resistência a Penetração	Falker (NEMA-UFSM)	Penetrolog PLG 1020 Ponta nº 2	1 un
7	Determinar Micro-relevo do Solo	LASERG	Perfilômetro	1 un
	Determinar Perfil Empolado do Solo			
	Determinar Perfil Basal do Solo			

Quanto ao perfilômetro este é apresentado na Figura 13, construído em estrutura de aço com 0,60 m de largura, montado com tubos quadrados e retangulares ocos, espessura de parede (0,0015 m), composto por quinze hastes em alumínio (barras circulares) com diâmetro de 0,012 m e comprimento 0,55 m, espaçadas de centro a centro por 0,052 m. Possui uma placa de madeira removível, a qual, foram fixadas as folhas de papel milimetrado de formato A2. Capacidade de medição de até 0,35 m.



Figura 13 – Perfilômetro.

3.1.5 Recursos Físicos usados nas Análises do Solo

Para retirada das amostras de solo foram utilizados anéis volumétricos, porta-anéis, martelo, pá-de-corte, enxadão, filme plástico, sacos plásticos, potes plásticos, pincéis atômicos e estiletos.

Para pesagem das amostras tanto no campo, quanto no laboratório, foi usada uma balança digital com 0,001g de resolução.

Na secagem das amostras foi utilizada uma estufa elétrica com capacidade de operação em temperaturas desde 50°C até 150°C, regulada em 110 °C.

As determinações da macro e microporosidade, densidade dos sólidos, Granulometria e Limites de Atterberg foram realizadas no Laboratório de Física dos Solos da UFSM.

3.2. Metodologia de Projeto da Estrutura Porta-Ferramentas Móvel

Com a finalidade de testar a ferramenta para escarificação em camadas de forma simultânea do solo, foi desenvolvida uma estrutura porta-ferramentas móvel com as seguintes diretrizes:

- Ser versátil, ou seja, ter capacidade para ser utilizada em outros testes e experimentos de natureza similar;
- Ter dimensões mínimas e ser robusta o suficiente para testar no mínimo três séries de hastes;
- Permitir tantas regulagens quantas forem necessárias para montagem dos arranjos de hastes;
- Ter suficientes regulagens de altura, tanto no cabeçalho quanto no rodado de modo que a barra de tração e a célula de carga trabalhem sempre na posição horizontal;
- Possuir mecanismo para inserção das hastes no solo com exigência de menor esforço;
- Ser equipamento de arrasto, devido às implicações na instrumentação que ocorreriam caso fosse do tipo montado no sistema hidráulico do trator, como a necessidade de um comboio ou um anel octogonal; e
- Possuir mecanismo que possibilite lastragem.

Como mencionado no item 2.3, a metodologia utilizada no desenvolvimento da ferramenta foi uma adaptação das três citadas (Back et al. (2008), Romano (2003) e Alonço (2004)), com algumas particularidades. As últimas fases que dizem respeito ao lançamento do lote inicial serão suprimidas deste trabalho, visto que, não se objetiva, por hora, a produção em escala desta ferramenta. A Figura 14 mostra as fases do projeto com suas saídas.

Basicamente foram quatro fases, Projeto Informacional, Conceitual, Preliminar e Detalhado, monitoradas e modificadas quando necessário, as quais ficaram armazenadas em um banco de dados (Sistema de Documentação de Projetos (GASSEN, 2008)).

Esse sistema de armazenagem de informações é composto por modelos de documentos gerenciais e técnicos padronizados, cuja função é registrar as saídas

das principais atividades do processo de projeto. Nesta tese serão apresentados apenas os documentos técnicos.

3.2.1 Projeto Informacional

Na Fase 1 foram sete atividades principais: Ciclo de Vida e Clientes, Definição dos Requisitos dos Clientes, Valoração dos Requisitos dos Clientes, Determinação dos Requisitos de Projeto, Hierarquização dos Requisitos de Projeto, Identificação das Restrições de Segurança e Apresentação das Especificações de Projeto.

O ciclo de vida do produto é constituído por todas as etapas desde a projeção até a obsolescência, utilizando-se como referência Menegatti (2004), este é composto por projeto, fabricação, montagem, testes e ensaios, transporte/distribuição, comercialização, uso, manutenção, reaproveitamento ou descarte.

Os clientes/usuários são as pessoas que se relacionam com o produto durante o seu ciclo de vida, segundo Romano (2003), podem ser externos (pessoas que compram ou usam o produto e especialistas), intermediários (responsáveis pela distribuição, marketing e pós-venda do produto) e internos (envolvidos na projeção e na implementação do produto).

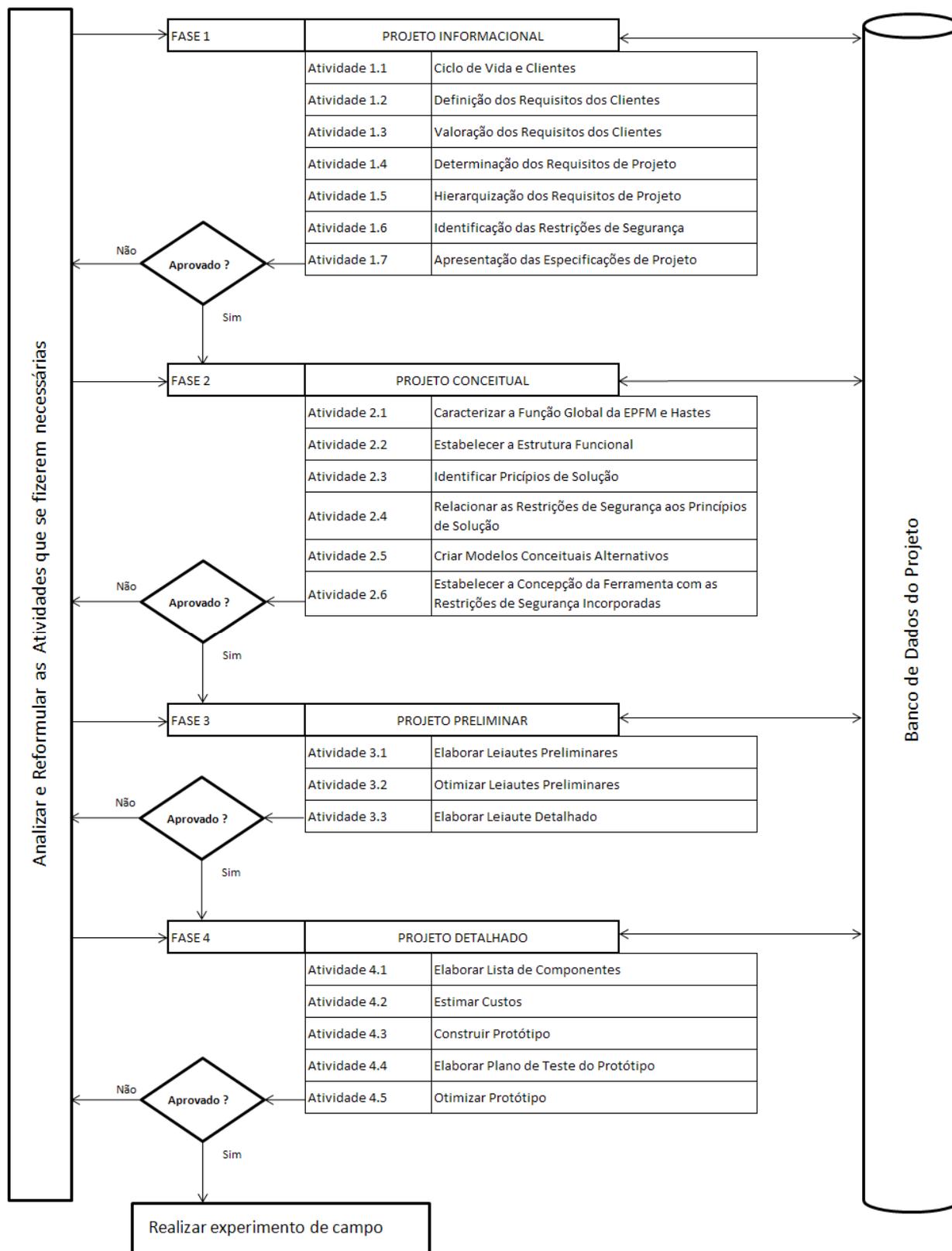


Figura 14 – Metodologia do Projeto da Estrutura Porta-ferramentas Móvel e da Ferramenta.

Os requisitos dos clientes/usuários derivam das necessidades destes (desejos e/ou exigências em linguagem informal e até subjetiva), as quais foram obtidas por entrevistas, conhecimentos técnicos de especialistas da própria equipe de projeto. Os requisitos dos clientes apresentados, são as necessidades do cliente expressas em linguagem de engenharia, de acordo com Fonseca (2000), são expressões padronizadas, que podem não conter elementos físicos mensuráveis, indispensáveis para guiar a execução do projeto.

A terceira atividade da fase informacional de projeto, valoração dos requisitos dos clientes, visa minimizar opiniões pessoais de cada membro da equipe de projeto. É uma tarefa importante, pois serve de apoio para a valoração dos requisitos de projeto (são entrada para casa da qualidade), segundo Menegatti (2004). Esta valoração foi realizada através da aplicação do Diagrama de Mudge, o qual, é uma matriz em que as colunas e as linhas são compostas pelos requisitos de clientes, formando uma matriz quadrada, onde foram comparados os requisitos das linhas com todos os das colunas, considerando o grau de importância entre eles, Baumhardt (2009).

Os requisitos de projeto, apresentados neste trabalho transcrevem como podem ser atendidos os requisitos dos clientes, de forma que uma vontade é convertida em uma ou mais grandezas mensuráveis (ROMANO, 2003). Na sequência fez-se a hierarquização dos requisitos de projeto, através da primeira matriz da casa da qualidade. Esta hierarquização é fundamental, pois ela mostra em ordem de importância, quais entre os requisitos de projeto afetam ou são mais afetados pelos requisitos de clientes.

Antes das especificações de projeto foram identificadas as restrições de segurança seguindo a Metodologia de Projeto para Concepção de Máquinas Agrícolas Seguras (ALONÇO, 2004). Estas restrições são as exigências obrigatórias da legislação, e são vinculadas a atributos de segurança, dentre os quais em função do tipo de produto, destacam-se: capacitação, comunicação tátil, comunicação visual, dimensão, dinâmica, elementos mecânicos, energia geradora ou gerada, equipamento de proteção individual, esforço físico, estabilidade do equipamento, manual técnico, ruído, vibração, visibilidade.

Ao final desta fase informacional obteve-se como saída as especificações de projeto, que consistem nos requisitos de projeto acompanhados do valor meta a ser

atingido, forma de avaliação deste e aspectos que devem ser evitados (ROMANO 2003).

3.2.2 Projeto Conceitual

Na Fase 2, Projeto Conceitual foram realizadas seis etapas: Caracterização da Função Global da Ferramenta, Definição da Estrutura Funcional, Identificação dos Princípios de Solução, Listagem do Relacionamento das Restrições de Segurança aos Princípios de Solução, Criação dos Modelos Conceituais Alternativos, Definição da Concepção com as Restrições de Segurança Incorporadas.

A função global apresentada é a caracterização do problema “maior” do projeto, segundo Baumhardt (2009). Para Fonseca (2000), ela deve expressar os relacionamentos entre as grandezas de entrada e saída do produto, trazendo um resumo do que se pode esperar em termos funcionais.

A partir da função global, e com o intuito de encontrar a solução para o problema de projeto, procedeu-se à elaboração da estrutura de funções, que de acordo com Maribondo (2000), é a combinação de funções parciais (divisões representativas da função global do sistema técnico). Compõem ainda a estrutura funcional as funções auxiliares (funções que contribuem para a função global de uma forma indireta, complementar) e as elementares (último nível de desdobramento da função global, não admitindo subdivisão).

Na sequência foram então identificados princípios de solução que atendiam às funções elementares, a partir dos quais foi montada a matriz morfológica, que serviu para a criação das concepções alternativas (variantes), ou seja, criação modelos dos conceituais alternativos.

Com o auxílio da equipe de projeto, montou-se uma matriz de decisão, na qual, foram atribuídas notas aos modelos conceituais alternativos proporcionalmente ao nível de atendimentos que estes davam aos requisitos de projeto. A partir desta matriz foi escolhida a concepção do produto com os princípios de solução para as restrições de segurança incorporadas.

3.2.3 Projeto Preliminar

Começada a Fase 3, Projeto Preliminar, buscou-se a elaboração de leiautes preliminares alternativos, nos quais foram definidos os requisitos de forma (dimensões), posicionamentos, material, segurança, ergonomia, manufatura e custos estimados, segundo Romano (2003).

A atividade de otimizar os leiautes foi encerrada com um relatório de avaliação dos mesmos, o qual é composto pelo desenho dos componentes.

Após analisar o relatório de otimização dos leiautes, identificou-se o mais adequado e detalhou-se este, de forma a apresentar os componentes com seus respectivos detalhamentos.

3.2.4 Projeto Detalhado

Na última fase da projeção foram executadas cinco atividades principais, Elaboração da Lista de Componentes, Estimativa de Custos, Construção, Elaboração do Plano de Teste e a Otimização do Protótipo.

A lista de componentes consistiu na listagem de todos os componentes, relativos ao leiaute final, com destaque tanto dos componentes novos como dos componentes já disponíveis no mercado. Nesta lista também foram identificados os componentes fabricados e aqueles comprados.

Foi elaborada a estimativa de custo, a qual, é uma planilha que relaciona o nome e o código de cada componentes, apresenta na primeira página as disposições gerais e a explicação da codificação adotada, e na última os custos parciais dos componentes novos, dos comprados e o custo estimado total do protótipo.

A próxima atividade executada foi a construção e montagem do protótipo propriamente dita. Esta fase foi seguida pela elaboração do plano de teste do

protótipo, no qual, foram descritos os tipos de teste e os métodos a serem utilizados para testar aspectos de funcionabilidade e segurança.

De posse dos resultados da atividade anterior, iniciou-se um plano de ações corretivas do protótipo para em seguida proceder-se à sua otimização, através de modificações e/ou implementações que se fizeram necessárias.

Após a aprovação do protótipo, iniciou-se a avaliação de desempenho das ferramentas, ou seja, a execução dos experimentos, descrita na sequência.

Esta última etapa, por não ser o processo de projeto o objetivo desta tese, não consta no Apêndice C.

3.3. Metodologia Experimental

3.3.1 Caracterização do Solo

Os experimentos de campo iniciaram com a análise de solo seguida pela avaliação da ferramenta em questão. A primeira teve por objetivo a caracterização da área experimental, sendo executada por uma sequência de atividades:

- i) Divisão da área total em quatro blocos;
- ii) Delimitação das 21 unidades experimentais em cada bloco;
- iii) Retirada das amostras de solo;
- iv) Medição da Resistência à Penetração (malha da Figura 11); e
- v) Determinação em laboratório da textura, densidade do solo, densidade dos sólidos, macro e microporosidade, umidade atual e limites de liquidez e plasticidade do solo.

Quando da execução dos experimentos, de acordo com Mialhe (1996), para a caracterização do campo experimental, foram determinados:

- Sobre o solo:
 - Granulometria (Textura do solo);
 - Densidade dos Sólidos;
 - Densidade do Solo;
 - Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade;
 - Conteúdo de Umidade (Umidade atual); e
 - Macro e Microporosidade e Porosidade Total.

- Sobre o Local:
 - Localização Geográfica;
 - Declividade; e
 - Histórico.

A textura do solo, de acordo com Lemos & Santos (1996), foi definida pela proporção relativa das classes de tamanho de partículas do solo menores do que 2 mm, desconsiderando a presença da matéria orgânica. As classes de textura dos solos são: Areia grossa (2 a 0,2 mm ou 2000 a 200 μm); Areia fina (0,2 a 0,05 mm ou 200 a 50 μm); Silte (0,05 a 0,002 mm ou 50 a 2 μm); e Argila (menor do que 2 μm). Para a definição das classe texturais do solo é usado um sistema de classificação gráfico, o Triângulo Textural (TT).

A análise granulométrica foi realizada pelo método do densímetro, descrito no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (1997).

A densidade das partículas é definida por Brady (1989) como a massa de uma unidade de volume do solo, expressa em (Mg/m^3 - megagramas por metro cúbico). A sua determinação foi realizada através da determinação do volume de álcool etílico necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico, contendo solo seco em estufa (EMBRAPA, 1997).

A densidade do solo é a relação entre a massa do solo seco e o volume não deformado desta. Esta propriedade é um dos principais indicadores da compactação do solo, também pode servir para medir alterações da estrutura e porosidade do solo. Os valores normais para solos arenosos variam de 1,2 a 1,9 g/cm^3 , enquanto solos argilosos apresentam valores mais baixos, de 0,9 a 1,7 g/cm^3 (REINERT & REICHERT, 2006). Sua determinação realizou-se pelo método do anel volumétrico.

A umidade atual ou teor de água é o conteúdo de umidade presente na amostra de solo que foi transportada em embalagem impermeável e vedada, obtida através do seguinte procedimento: (i) colocação da amostra, sem estrutura deformada (junto com o anel volumétrico), em lata de alumínio e de peso conhecido; (ii) pesada e transferida para estufa a 105°C – 110°C, deixando nesta condição durante 24 horas; e (iii) retirada da estufa, deixada esfriar e pesada. Calculou-se então o teor de água pela seguinte equação:

$$w (\%) = 100.(a - b)/b \quad (2)$$

Onde:

w – teor de água do solo (%);

a – peso da amostra úmida (g), descontado o peso do anel volumétrico;

b – peso da amostra seca (g), descontado o peso do anel volumétrico;

Para determinação do Limite de Liquidez (conteúdo de umidade de um solo referente à mudança do estado líquido para o estado plástico) utilizou-se o procedimento com o aparelho de Casagrande (EMBRAPA, 1997).

A determinação do Limite de Plasticidade (conteúdo de umidade no qual ocorre a mudança do estado plástico para o semi-sólido) foi pelo método do bastão cilíndrico (EMBRAPA, 1997). O Índice de Plasticidade é a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade.

A porosidade do solo é a relação percentual do volume de poros totais, ocupados por água e/ou ar. Ela é responsável por um conjunto de fenômenos e desenvolve uma série de mecanismos de importância na física de solos, tais como retenção e fluxo de água e ar, e, se analisada conjuntamente com a matriz do solo, gera um grupo de outras propriedades físicas do solo associadas às relações de massa e volume das fases do sistema solo (REINERT & REICHERT, 2006). Foi obtida de forma indireta, pela Equação 3:

$$Pt = 100.(a - b)/a \quad (3)$$

Onde:

Pt – Porosidade Total (%);

a – densidade de partículas; e

b – densidade do solo.

Também foram determinadas a macro e a microporosidade (M_i) do solo. Esta última foi calculada ($M_i = (M_{S60} - M_{SS}) / V_t$) considerando-se que ela corresponde ao diâmetro dos poros que conseguem reter água, quando submetidas a uma sucção de 0,60 metros de coluna d'água (mca) em volume conhecido de solo (V_t). Para

tanto, as amostras foram saturadas, pesadas e submetidas à sucção até estabelecer o equilíbrio entre a água retirada da amostra e a sucção aplicada, e então pesadas (M_{S60}). Na seqüência, são secadas em estufa a 105°C e pesadas novamente (M_{SS}).

A macroporosidade (M_a), de acordo com Jong Van Lier (1997), corresponde aos poros que em condições normais de campo, não contém água, servindo para aeração do perfil de solo e distribuição rápida de água e pode ser calculada ($M_a = P_T - M_i$).

3.3.2 Delineamento Experimental e Tratamentos

Com a finalidade de explicar os tratamentos apresenta-se aqui de forma apenas ilustrativa um resultado parcial da ferramenta para escarificação em camadas do solo.

A ferramenta desenvolvida e estudada é apresentada na Figura 15, juntamente com a identificação dos parâmetros característicos do escarificador progressivo. Considerando esta figura, observam-se três fatores de influência: “Pt” – profundidade de trabalho –, “Ap” – aprofundamento – e “Av” – avanço da ponteira. As ponteiras têm larguras variáveis, levando-se em consideração a relação largura da ponteira/profundidade crítica de trabalho.

O aprofundamento é a espessura da camada de solo a ser rompida por cada uma das hastes e o avanço da ponteira é a distância longitudinal entre as pontas das ponteiras (frentes de rompimento).

Com relação ao experimento de campo, durante os tratamentos, além das variáveis resposta principais, Força Horizontal Média na Barra de Tração (F_{HMBT}), Área de Solo Mobilizado (A_{sm}) e consumo horário de combustível (C_{hc}), também foram quantificadas, a resistência à penetração do solo (R_p) e a patinação do trator (P_i). O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso.

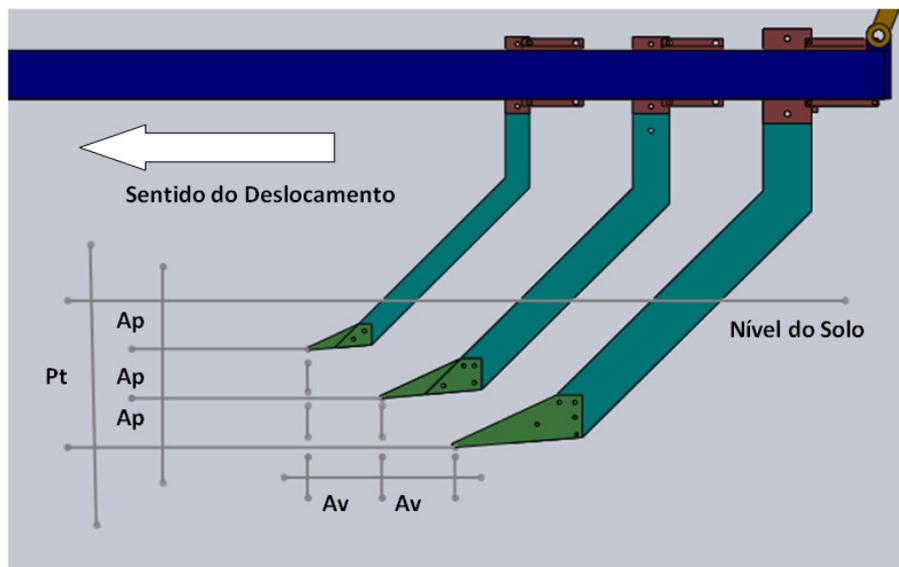


Figura 15 – Parâmetros relativos à ferramenta para Escarificação Progressiva

O experimento tem por objetivo avaliar os efeitos decorrentes de três fatores com um tratamento testemunha e depois disso entre si, com quatro repetições, num latossolo vermelho distrófico aluminoférico, totalizando oitenta e quatro parcelas:

- (i) **Fator 1 - Aprofundamento** ou espessura da camada com dois níveis ($Ap_1=10$ cm – 3 hastes; $Ap_2=15$ cm – 2 hastes) e uma testemunha ($Ap_0=P_t=30$ cm – 1 haste); e
- (ii) **Fator 2 - Avanço** ou distância longitudinal entre as pontas das ponteiros, com três níveis ($Av_1=40$ cm; $Av_2=30$ cm; $Av_3=20$ cm).
- (iii) **Fator 3 - Velocidade de Trabalho** com três níveis ($V_1=3,0$ km/h; $V_2=6,0$ km/h; $V_3=7,0$ km/h);

Cada parcela foi dimensionada com 2,5 metros de largura por vinte e cinco metros de comprimento, sendo que os primeiros e os últimos dois metros e meio, serviram para a estabilização de entrada e saída da ferramenta no solo, necessitando uma área experimental de aproximadamente um hectare. Este estudo, primeiramente, comparou a escarificação em camada única com a escarificação em camadas simultâneas, para cada nível de velocidade, e na sequência, investigou a influência da variação do aprofundamento, do avanço da ponteira e da velocidade sobre a Força Horizontal Média na Barra de Tração, Área de Solo Mobilizado, Resistência específica e sobre o consumo horário de combustível. A Figura 16 mostra o croqui do experimento.

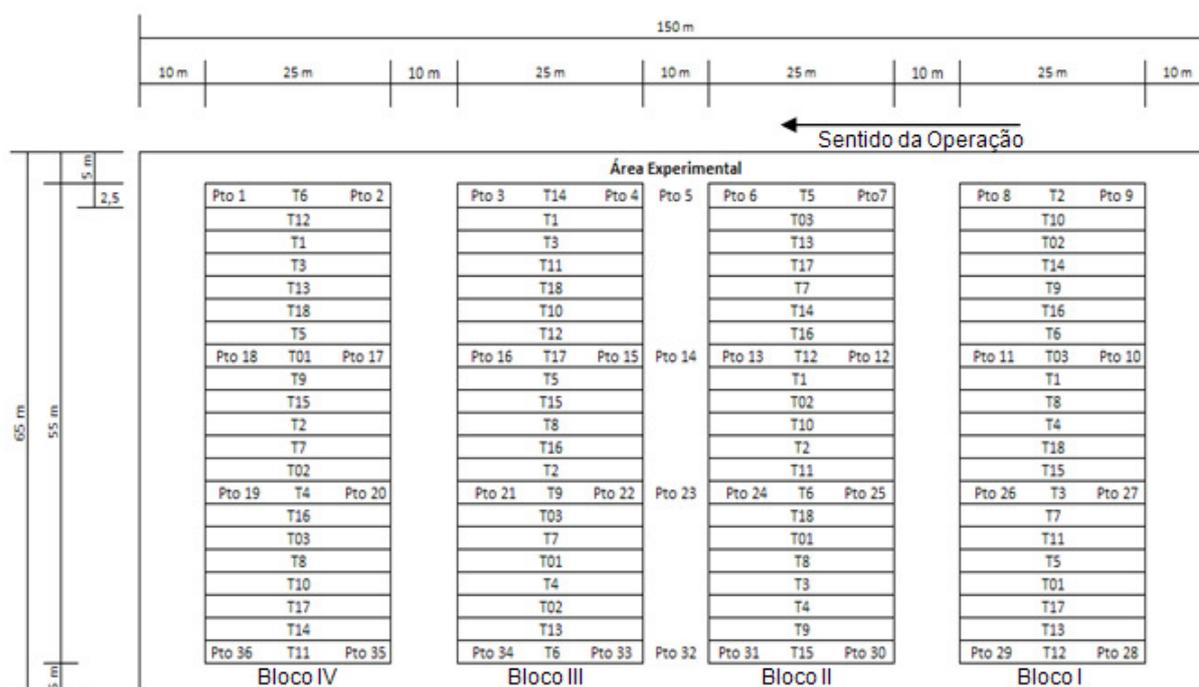


Figura 16 – Croqui da Área Experimental

As velocidades idealizadas primeiramente eram 4, 6 e 8 km h⁻¹, porém no dia do experimento não se conseguiu alcançar a maior, então adotou-se como critério uma velocidade abaixo e duas dentro dos limites apresentados por Hunt (1977), isto é, velocidades operacionais para escarificação entre 6 e 9 Km h⁻¹. Estas, foram alcançadas através de procedimento no qual foi especificada uma rotação de 1900 rpm no motor do trator seguida da busca por uma marcha adequada, deste modo, para operar a 3, 6 e 7 km h⁻¹ as marchas foram respectivamente, segunda reduzida, terceira reduzida e quarta reduzida.

De acordo com o

Quadro 2 foram três tratamentos testemunha, nestes as ponteiros utilizadas foram estreitas com largura de aproximadamente um quinto da profundidade de trabalho ($P_t=30$ cm de profundidade de trabalho) com três diferentes velocidades. Além destes, foram montadas e ensaiadas dezoito combinações de configurações de hastes e velocidades. Os primeiros nove com rompimento do solo em três camadas aproximadamente iguais ($Ap_1=P_t/3$) e três avanços decrescentes ($Av_1=40$ cm; $Av_2=30$ cm e $Av_3=20$ cm), enquanto nos nove últimos têm-se duas camadas aproximadamente iguais ($Ap_2=P_t/2$) e os mesmos três avanços decrescentes ($Av_1=40$ cm; $Av_2=30$ cm e $Av_3=20$ cm).

Quadro 2 – Caracterização dos Tratamentos executados nos experimentos de campo.

Tratamentos	Aprofundamento	Avanço	Velocidade de Trabalho
T01	$Ap_0=P_1=30$ cm	----	$V_1=3,0$ kmh ⁻¹
T02	$Ap_0=P_1=30$ cm	----	$V_2=6,0$ kmh ⁻¹
T03	$Ap_0=P_1=30$ cm	----	$V_3=7,0$ kmh ⁻¹
T1	$Ap_1=10$ cm (3 hastes)	$Av_1=40$ cm	$V_1=3,0$ kmh ⁻¹
T2	$Ap_1=10$ cm	$Av_1=40$ cm	$V_2=6,0$ kmh ⁻¹
T3	$Ap_1=10$ cm	$Av_1=40$ cm	$V_3=7,0$ kmh ⁻¹
T4	$Ap_1=10$ cm	$Av_2=30$ cm	$V_1=3,0$ kmh
T5	$Ap_1=10$ cm	$Av_2=30$ cm	$V_2=6,0$ kmh ⁻¹
T6	$Ap_1=10$ cm	$Av_2=30$ cm	$V_3=7,0$ kmh ⁻¹
T7	$Ap_1=10$ cm	$Av_3=20$ cm	$V_1=3,0$ kmh ⁻¹
T8	$Ap_1=10$ cm	$Av_3=20$ cm	$V_2=6,0$ kmh ⁻¹
T9	$Ap_1=10$ cm	$Av_3=20$ cm	$V_3=7,0$ kmh ⁻¹
T10	$Ap_2=15$ cm (2 hastes)	$Av_1=40$ cm	$V_1=3,0$ kmh ⁻¹
T11	$Ap_2=15$ cm	$Av_1=40$ cm	$V_2=6,0$ kmh ⁻¹
T12	$Ap_2=15$ cm	$Av_1=40$ cm	$V_3=7,0$ kmh ⁻¹
T13	$Ap_2=15$ cm	$Av_2=30$ cm	$V_1=3,0$ kmh ⁻¹
T14	$Ap_2=15$ cm	$Av_2=30$ cm	$V_2=6,0$ kmh ⁻¹
T15	$Ap_2=15$ cm	$Av_2=30$ cm	$V_3=7,0$ kmh ⁻¹
T16	$Ap_2=15$ cm	$Av_3=20$ cm	$V_1=3,0$ kmh ⁻¹
T17	$Ap_2=15$ cm	$Av_3=20$ cm	$V_2=6,0$ kmh ⁻¹
T18	$Ap_2=15$ cm	$Av_3=20$ cm	$V_3=7,0$ kmh ⁻¹

Na sequência tem-se a apresentação da figura 17 composto pelos esquemas representativos das configurações utilizadas no teste de campo. Na célula (a), tem-se uma configuração de hastes que rompe o solo em três camadas de dez centímetros de espessura com a distância longitudinal entre as pontas das ponteiros de quarenta centímetros. Nas células abaixo desta (b e c), o número de camadas permanece o mesmo, porém o avanço entre as pontas diminui para trinta e vinte centímetros, respectivamente. Na coluna da direita são mostrados os esquemas de montagem das hastes para o rompimento do solo em duas camadas, primeiramente (d) com avanço de quarenta decrescendo para trinta (e) e vinte centímetros (f).

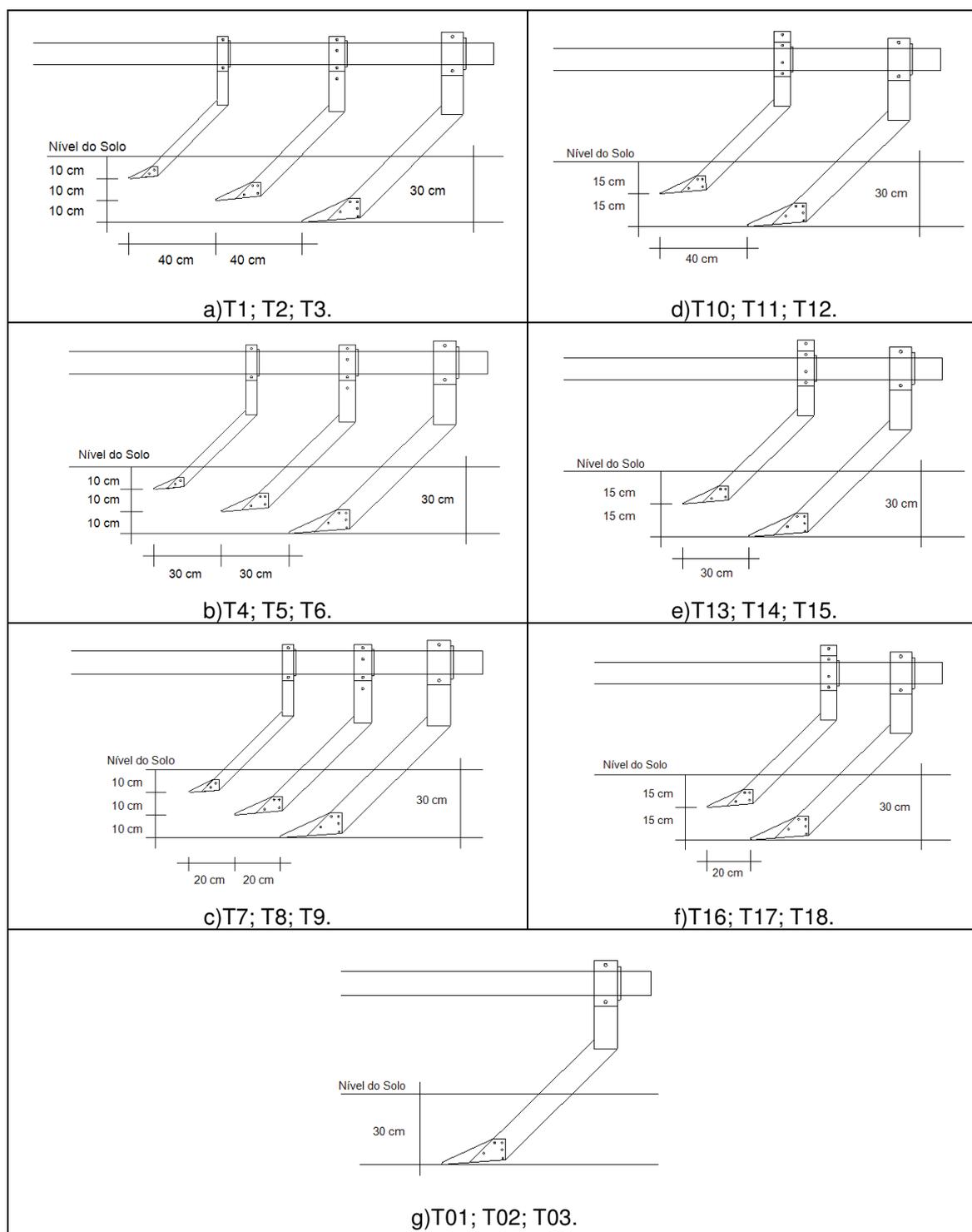


Figura 17 – Esquemas Representativos das Configurações de Hastes Utilizadas no Teste de Campo.

Por último está representada a configuração usada para os tratamentos testemunhas ou controles com uma haste operando na profundidade de trabalho, de modo a romper o solo em uma única camada.

A nomenclatura usada para os tratamentos com objetivo de romper o solo em camadas é composta por TX (Ap; Av; V), onde “T” significa tratamento, “X” identifica

a ordem deste, variando de 1 a 18, e os termos entre parênteses da esquerda para a direita são: Aprofundamento (espessura de cada camada), Avanço (distância longitudinal entre as pontas das ponteiras, ou frentes de rompimento) e velocidade da operação.

Para a identificação dos tratamentos testemunhas ou controles, a nomenclatura recebe um zero entre a letra “T” e o número de ordem “Y”, que varia de 1 a 3, T0Y(30; 00; V).

3.3.3 Variáveis Resposta

Neste experimento tem-se como variáveis resposta principais a F_{HMBT} , C_{hc} e a A_{sm} e secundária, a patinagem das rodas do trator.

A F_{HMBT} foi calculada como a diferença entre a média da força medida durante o experimento (F_{HBTMed}) e a média da resistência ao rolamento do conjunto (R_{ROL}).

$$F_{HMBT} = F_{HBTMed} - R_{ROL} \quad (4)$$

A média da força medida na barra de tração a ser considerada na análise é a média das forças instantâneas medidas nos 25m da unidade experimental, coletadas e armazenadas automaticamente pela instrumentação a cada dois segundos, de forma semelhante foi tratado o consumo horário de combustível.

A resistência ao rolamento (R_{ROL}) foi determinada pela média dos valores medidos de força horizontal média na barra de tração necessária para tracionar o conjunto estrutura porta-ferramentas móvel e ferramentas não enterradas no solo.

O consumo horário de combustível foi obtido diretamente da medida decorrente do fluxômetro já especificado no item relativo à instrumentação.

Para determinação da área de solo mobilizado foi instalado um perfilômetro na linha média de cada unidade experimental anteriormente à passagem da ferramenta no sentido transversal ao deslocamento do conjunto (trator + estrutura porta-ferramentas), determinando desta forma o micro-relevo do solo mobilizado. Na sequência, imediatamente a passagem da ferramenta, nesta mesma seção

transversal, foi re-instalado o mesmo instrumento de medição e obtido o empolamento do solo.

Por fim, após remoção completa do solo desagregado foi determinado o perfil basal do sulco. Com estes dados e um adequado tratamento gráfico/matemático, determinaram-se as áreas em questão. Tal tratamento de dados consistiu em inseri-los em uma planilha eletrônica, e nesta através da utilização de fórmulas para cálculo de áreas obtiveram-se os resultados procurados. Visando a conferência destas áreas, plotaram-se em sistema CAD os pontos referentes às leituras do perfilômetro e por recursos do sistema determinaram-se algumas áreas, escolhidas ao acaso, comparando-as com as calculadas. As figuras relativas às médias das quatro repetições das áreas em questão encontram-se no Apêndice B.

Relacionando a força horizontal média na barra de tração com a área de solo mobilizada tem-se a Resistência Específica dada em kN m^{-2} , a qual foi um dos critérios usados na análise estatística, visto que esta é um indicativo do dispêndio de energia por unidade de solo descompactado.

Outras variáveis foram monitoradas para auxiliar na interpretação dos resultados, a patinagem e a velocidade do conjunto. O monitoramento da patinagem, neste trabalho, serviu para auxiliar na interpretação de variações bruscas nos valores medidos da força horizontal de tração e em alguns casos no consumo horário de combustível.

A importância de conhecer o valor da velocidade real (instantânea) do conjunto está no fato desta ser um dos fatores em estudo e também por ela ser utilizada para o cálculo da patinagem. O método usado para determinar a patinagem foi uma adaptação da metodologia proposta por Gabriel Filho et al. (2004):

$$P_i = \left\{ \left[\frac{(V_{RT} - V_{Re})}{V_{RT}} \right] \times 100 \right\} \quad (5)$$

Onde:

V_{RT} — Velocidade na roda do trator, determinada pela multiplicação da rotação medida pelo perímetro dinâmico da roda (média entre as rodas traseiras direita e esquerda);

V_{Re} — Velocidade real;

A circunferência dinâmica da roda foi calculada através do valor médio encontrado na divisão da distância percorrida pelo trator para completar cinco voltas pelo número de voltas, considerando três repetições.

A V_{Re} é a velocidade real instantânea medida pelo GPS.

3.3.4 Análise Estatística

Os tratamentos propostos visam responder a questões como: (i) existe alguma diferença significativa entre a escarificação em única camada ou em mais de uma camada, considerando a força horizontal média na barra de tração, a mobilização do solo, a resistência específica e o consumo horário médio de combustível como critérios, para cada nível de velocidade? ; (ii) de que forma influí o Aprofundamento (espessura das camadas) na força horizontal média na barra de tração F_{HMBT} ?; e (iii) como atua o Avanço (distância longitudinal entre as ponteiras das hastes), sobre a área de solo mobilizada (A_{sm})?

Com o objetivo de responder à primeira pergunta, foram comparados os tratamentos testemunha com as configurações de hastes para cada nível de velocidade como apresentado no Quadro 3, através do software *Assistat Versão 7.6 beta*, em experimentos fatoriais diferenciados.

Quadro 3 – Comparação de Tratamentos em Camadas Múltiplas com camada única.

Variáveis Resposta								
F_{HMBT} , [N]; A_{sm} , [m ²]; $R_{esp} = F_{HMBT} / A_{sm}$, [kN m ⁻²]; Chc , [L.h ⁻¹]								
Método para Comparação de Médias								
Dunnett								
Comparação em $v_1=3$ km h ⁻¹			Comparação em $v_2=6$ km h ⁻¹			Comparação em $v_3=7$ km h ⁻¹		
T1	X	T01	T2	X	T02	T3	X	T03
T4			T5			T6		
T7			T8			T9		
T10			T11			T12		
T13			T14			T15		
T16			T17			T18		

Segundo Banzatto e Kronka (2008), o teste de Dunnnett é usado quando interessam ao experimentador as comparações entre um determinado tratamento padrão (testemunha) e cada um dos demais. Este método tem seus resultados

representados por barras verticais, de forma que quando estas estão alinhadas as médias dos tratamentos testados não diferem estatisticamente daquela relativa ao controle.

Visando responder a segunda e terceiras perguntas, foram comparados entre si através da análise fatorial todos os tratamentos com rompimento em mais de uma camada do solo, pelo mesmo software. Nesta análise verificou-se a existência de interação entre os fatores, e quando necessário realizaram-se as análises complementares.

Os fatores mesmo sendo expressos por números, nesta análise são considerados qualitativos, visto que os mesmos apresentam-se com poucos níveis: o Aprofundamento possui dois, o Avanço, três e a Velocidade da operação também possui três níveis. Além disto, não faz parte deste trabalho a obtenção de modelos ajustados para predições de força de tração, resistência específica, consumo de combustível, etc.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos e partes de suas respectivas análises estatísticas para os parâmetros avaliados serão apresentados na forma de Tabelas e Figuras. As primeiras com legendas de significância e métodos de comparações de média logo abaixo das mesmas (maiores detalhamentos sobre estas estão no Apêndice A).

A sequência de apresentação dos resultados começa com a Estrutura Porta-Ferramentas Móvel e Ferramentas (hastes e ponteiros), seguida pelas velocidades e profundidades médias, Força Horizontal Média na Barra de Tração, Área de Solo Mobilizada, Resistência Específica, Consumo horário de Combustível e Patinagem.

4.1. Estrutura Porta-Ferramentas Móvel (EPFM) e Ferramentas

Os detalhamentos dimensionais dos componentes mostrados nesta seção estão no Apêndice C desta Tese.

A figura 18 apresenta a estrutura por completo, montada com uma série de três hastes alinhadas, que atuam simultaneamente no solo em diferentes profundidades, proporcionando assim uma escarificação em camadas.

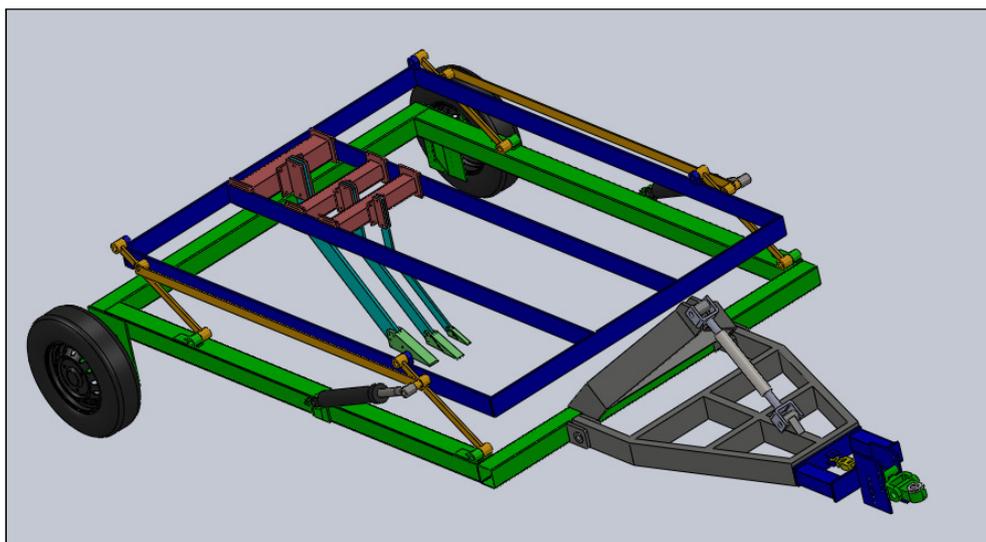


Figura 18 – Perspectiva da EPFM e Ferramentas.

Na sequência pode-se distinguir três subconjuntos principais: chassi principal com cabeçalho (Figura 19 – a), suporte das barras deslizantes (Figura 19 – b)

composto por quatro longarinas dispostas na direção da operação e sistema hidráulico pantográfico para enterramento no solo e elevação das hastes e ponteiros (Figura 19 – c). Nesta mesma figura é apresentado o suporte dos cubos de rodas (Figura 19 – d) com sistema de regulagem de altura por furos passantes que se combinados com aqueles da parte posterior do chassi principal proporcionam a regulagem escalonada da profundidade de trabalho.

O sistema de enterramento das hastes no solo opera de forma que estas penetram o mesmo com o conjunto em movimento já na posição de trabalho, mantendo o ângulo de ataque das ponteiros e inclinação das hastes constantes, o que facilita o enterramento dos órgãos ativos.

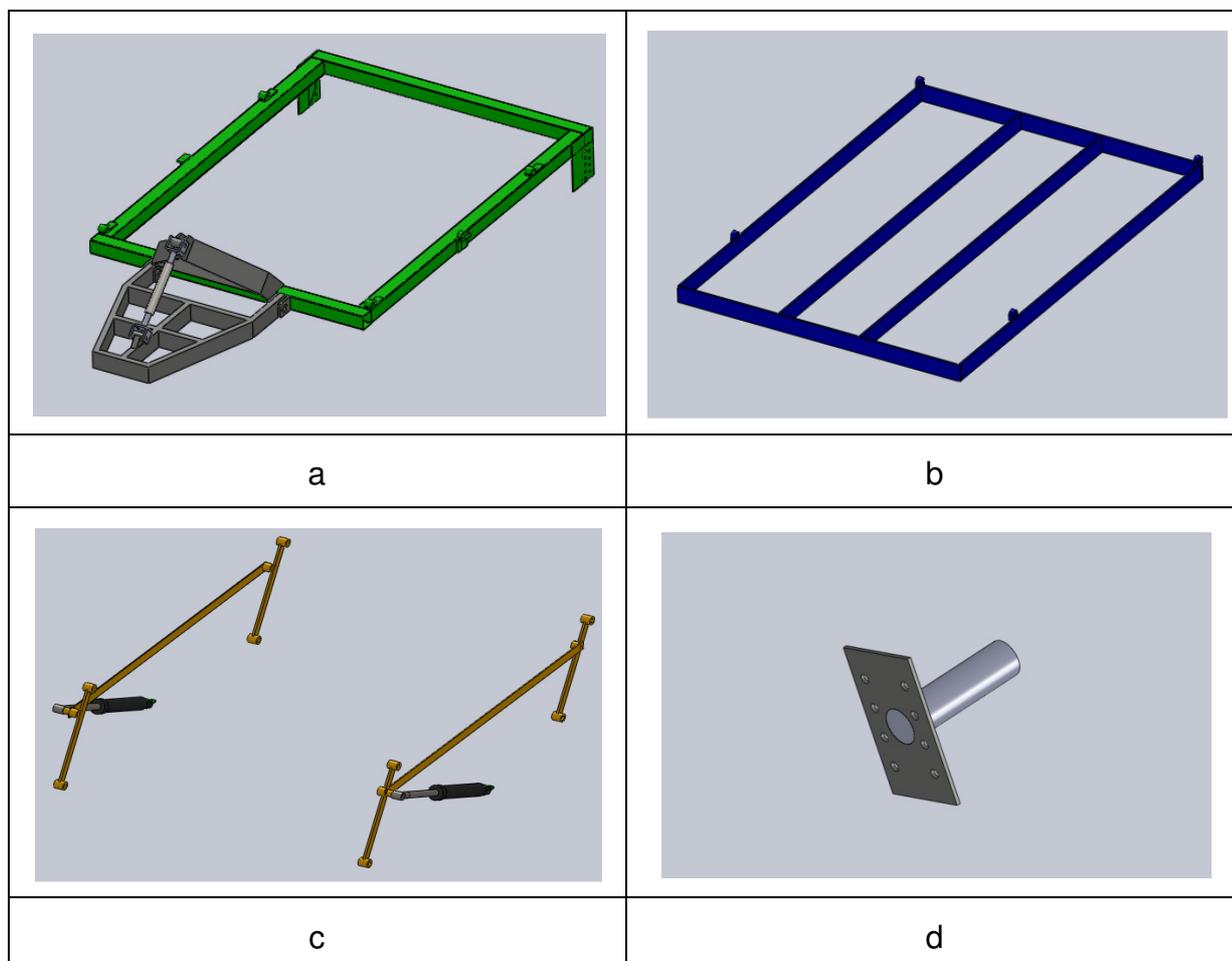


Figura 19 – Subconjuntos da EPFM.

Na Figura 20 têm-se as barras deslizantes (a), os suportes das hastes com suas respectivas presilhas (b) e uma montagem (c). As primeiras podem ser deslocadas longitudinalmente e fixadas em qualquer ponto das longarinas (ajustes de espaçamentos longitudinais), enquanto que os suportes das hastes permitem movimentação transversal, o que proporcionará para configurações de mais de uma série de hastes regulagens de espaçamento lateral.

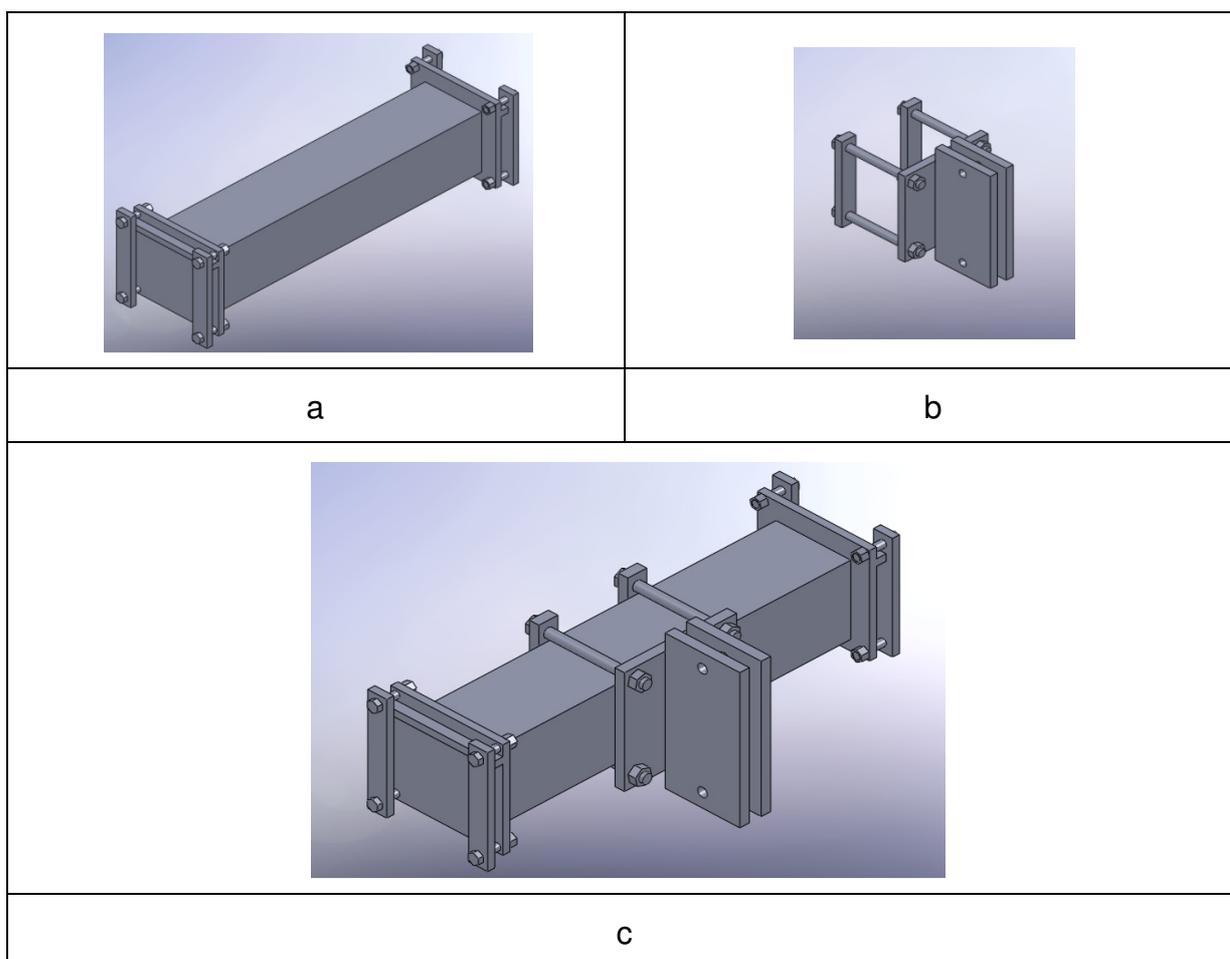


Figura 20 – Barras Deslizantes e Suportes das Hastes.

A forma das hastes é reta e inclinada a 45° , que segundo Lanças (1988), apresentam menor demanda de tração, a espessura destas também é variável: H100 (9,5 mm); H 150/200 (12,7mm) e H 300 (15,9mm) – Figura 21.

As ponteiros são estreitas, isto é, tem larguras menores que 80 mm, visando um rompimento de solo tridimensional, pois de acordo com Payne (1956), ponteiros estreitos produzem um rompimento deste tipo, com a massa movendo-se de baixo para cima, para frente e também lateralmente.

Arbitrou-se a largura da ponteira aproximadamente igual a um quinto da profundidade de trabalho, para assegurar estas não alcançariam a profundidade crítica (P_{cr}), considerando as recomendações de Godwin e Spoor (1977), ou seja, maior que seis vezes a largura da ferramenta e Machado et al. (2005), entre cinco e sete vezes, tratando-se de ponteiras estreitas. As ponteiras serão de superfície plana, visto que Chandon e Kushwaha (2002) consideraram-nas como menos exigentes à tração, quando compararam quatro tipos de superfície para ponteiras (plana, elíptica, em ângulo de 40° e 90°).

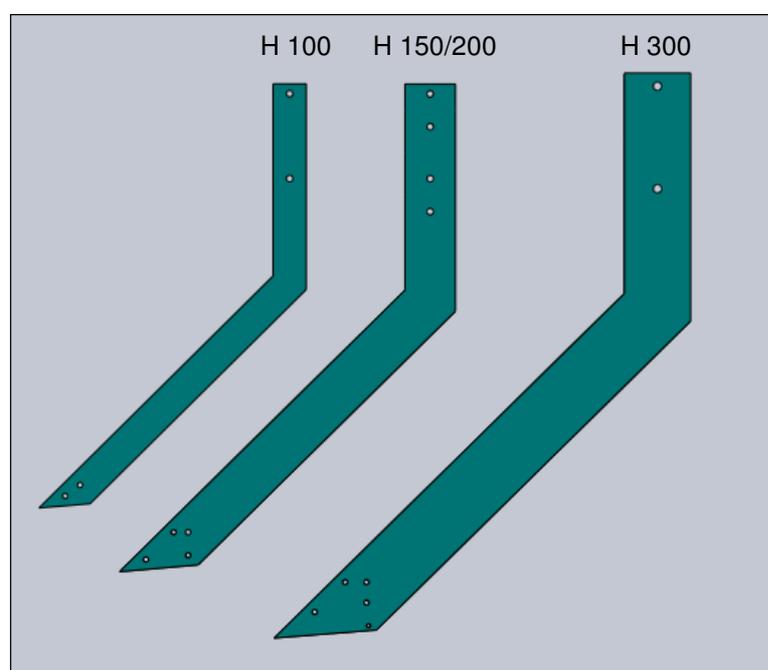


Figura 21 – Hastes para rompimento em camadas.

O ângulo de ataque das ponteiras arbitrado foi de aproximadamente 25° , pois de acordo com Chandon e Kushwaha (2002), 20° apresenta menor demanda que 33° para solos argilosos.

As ponteiras quando montadas nas hastes possuem ângulo de sucção de 3° , com o objetivo de minimizar o atrito entre sua face inferior e o solo.

As larguras das ponteiras (Figura 22) são 61 mm (0,061 m), 38 mm (0,038 m), 32 mm (0,032 m) e 22 mm (0,022 m) respectivamente para PH300, PH 200, PH 150 e PH 100, as quais, estão detalhadas no Apêndice C.

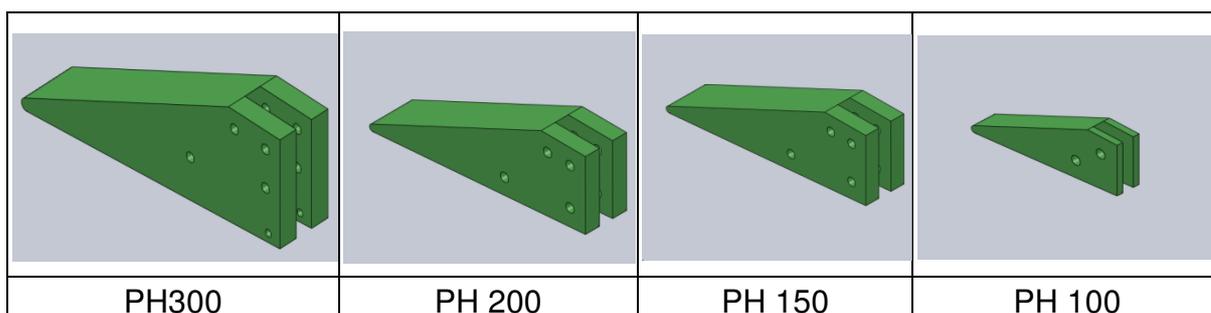


Figura 22 – Ponteiros utilizadas nas hastes.

4.2. Velocidades Médias Observadas

As velocidades médias reais ficaram próximas das planejadas como mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 – Comparativo entre as Velocidades Planejadas e as Médias Observadas.

Velocidades Planejadas (km h ⁻¹)	Velocidades Médias Obs. (km h ⁻¹)	Desvio (%)	Situação
3,00	3,04	1,33	acima
6,00	5,61	6,50	abaixo
7,00	6,59	5,86	abaixo

Pode-se notar que para o menor nível de velocidade planejado o desvio do valor médio real foi menor que para os outros níveis e, além disso, situou-se acima daquele pretendido.

4.3. Profundidade Média Observada

A profundidade média observada através do perfilômetro, alcançada no experimento foi de 30,5 cm (0,305m), bastante próxima da planejada 30 cm (0,30m).

4.4. Força Horizontal média na Barra de Tração

Nesta seção serão apresentados os resultados relativos à força horizontal média na barra de tração, considerando primeiramente a abordagem de um Experimento Fatorial Diferenciado com uma testemunha ou controle, para cada um dos níveis de velocidade. Na sequência, têm-se uma abordagem do teste de campo como um Experimento Trifatorial apenas dos tratamentos com rompimento em mais

de uma camada entre si cujos fatores são: Ap, Av e V. Tais análises também compõem o Apêndice A.

A apresentação para a primeira abordagem seguirá a seguinte ordem: (i) a análise de variância (Teste F – Snedecor); (ii) comparação das médias dos tratamentos com o controle ou testemunha (Dunnett); e (iii) em caso de interação entre os fatores, a comparação de médias (Tukey).

Para a segunda abordagem a sequência de apresentação dos resultados é: (i) a análise de variância (Teste F – Snedecor) desdobrada nos graus de liberdade para o trifatorial; (ii) apresentação das médias gerais; e (iii) em caso de interação entre os fatores, a comparação de médias (Tukey).

Tabela 8 – Resumo da Análise de Variância da F_{HMBT}

F.V.	G.L.	$V_1=3 \text{ km h}^{-1}$	$V_2=6 \text{ km h}^{-1}$	$V_3=7 \text{ km h}^{-1}$
Fator Ap	1	**	**	ns
Fator Av	2	**	**	**
Int. Ap x Av	2	**	ns	**
Fat. x Testm.	1	ns	*	**
Tratamentos	6	**	**	**
Blocos	3	*	**	**
Resíduo	18			
Total	27			

Teste “F”

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns não significativo ($p \geq 0,05$)

A Tabela 8 mostra que tanto para a menor velocidade testada quanto para a maior houve interação significativa entre os fatores aprofundamento (Ap) e avanço (Av), além disso, o efeito dos tratamentos foi significativo e o bloqueamento necessário em todas as velocidades. Esta interação entre os fatores indica que existe uma dependência entre eles e que as forças médias resultantes são diferentes quando um fator varia dentro dos níveis do outro.

Quando comparam-se as médias da força horizontal média na barra de tração dos tratamentos inovadores com aquelas da sua respectiva testemunha, para cada um dos níveis de velocidade testados, pelo método de Dunnett (Tabela 9), observa-se que existe diferença estatística em nível de cinco por cento de erro nos três casos.

duas, a melhor situação é definida quando a distância entre as frentes de ruptura é 40 cm.

Ao analisar a influência dos avanços em cada nível do aprofundamento, observa-se que tanto para 40 quanto para 30 cm a tendência é a mesma, menor força para rompimento em duas camadas. Tal tendência se inverte para o avanço de 20 cm.

Tabela 10 – Médias da F_{HMBT} (N) para $v_1 = 3 \text{ km h}^{-1}$ da Interação de ($A_p \times A_v$)

A_p	A_v		
	40 cm	30 cm	20 cm
10 cm	7.181,7 aA	7.232,3 aA	7.209,4 bA
15 cm	6.051,2 bB	6.518,9 bB	7.740,7 aA

DMS para colunas = 413,7

DMS para linhas = 502,8

Colunas – Classific.c/letras minúsculas

Linhas – Classific.c/letras maiúsculas

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade .

Considerando o desdobramento dos efeitos do aprofundamento dentro de cada nível do avanço na maior velocidade, como mostrado na Tabela 11, verifica-se que o comportamento não apresenta a mesma tendência, para a escarificação em três camadas iguais e simultâneas os resultados alcançados foram em ordem crescente de força para o avanço de 30, 40 e 20 cm, enquanto que a operação em duas camadas apresenta menor demanda a tração no avanço de 40, crescendo em 30 e atingindo o máximo em 20 cm. As amplitudes máximas de variação alcançam 1840 N na menor espessura de camada e 1020 N na maior.

Tabela 11 – Médias da F_{HMBT} (N) para $v_3 = 7 \text{ km h}^{-1}$ da Interação de ($A_p \times A_v$)

A_p	A_v		
	40 cm	30 cm	20 cm
10 cm	8.863,7 aB	8.624,6 bB	10.464,7 aA
15 cm	8.785,4 aB	9.462,6 aA	9.811,3 bA

DMS para colunas = 343,5

DMS para linhas = 417,5

Colunas – Classific.c/letras minúsculas

Linhas – Classific.c/letras maiúsculas

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Quanto aos efeitos causados pelas variações dos avanços dentro dos aprofundamentos, têm-se comportamentos diferenciados, para a maior distância entre as frentes de ruptura do solo (40 cm) não existe diferença estatística

significativa entre as diferentes espessuras das camadas, enquanto que no avanço intermediário e no menor as melhores situações são respectivamente para o rompimento em três e duas camadas.

Tanto para a velocidade de 3 km h⁻¹ quanto para 7 km h⁻¹, a dependência entre os fatores é semelhante, de forma que a variação dos avanços (representada pelas linhas nas Tabelas 10 e 11) provoca mudanças mais pronunciadas nas amplitudes entre os valores de força média horizontal na barra de tração, possuindo então, maior influência na operação.

Com o objetivo de analisar o comportamento da Força Horizontal Média na Barra de Tração em função da espessura das camadas (Ap), o experimento foi abordado como um Trifatorial (2x3x3), para a comparação dos tratamentos inovadores entre si, com dois níveis de aprofundamento, três de avanço e três de velocidade. Na análise da variância (Apêndice AD) tanto os fatores sozinhos, as interações entre eles quanto os tratamentos alcançaram diferença estatística significativa. Também ficou evidenciado que o bloqueamento fez-se necessário.

Na Tabela 12, estão apresentados os resultados gerais relativos à F_{HMBT}, com a média geral (MG), o coeficiente de variação (CV) e a síntese das comparações de médias para cada fator.

Tabela 12 – Médias Gerais da F_{HMBT}(N) para o Exp. Trifatorial (Ap, Av e V).

MG	8.246,2					
CV	3,44%					
F _{HMBT}	Ap		Av		V	
		8.422,8 a	10 cm	7.946,3 b	40 cm	6.988,7 c
	8.069,5 b	15 cm	7.843,5 b	30 cm	8.414,4 b	6 km h ⁻¹
			8.948,7 a	20 cm	9.335,4 a	7 km h ⁻¹
DMS	134,4		197,9		197,8	

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Esta tabela revela a tendência de ocorrer menor força horizontal média na barra de tração para a operação em duas camadas quando comparada a três, porém como existe interação significativa entre os fatores fazem-se necessárias análises complementares entre os fatores.

Tabela 13 – Análise Complementar D.E. Trifatorial da F_{HMBT} (N) para a Interação de (Ap x Av)

Ap	Av		
	40 cm	30 cm	20 cm
10 cm	8.219,0 aB	7.896,1 aC	9.153,3 aA
15 cm	7.673,6 bB	7.790,8 aB	8.744,1 bA

DMS para colunas = 232,8

DMS para linhas = 279,8

Colunas – Classific.c/letras minúsculas

Linhas – Classific.c/letras maiúsculas

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Ao comparar os efeitos causados pela variação de cada nível avanço dentro do aprofundamento na Tabela 13 os comportamentos convergem para menor força quando o rompimento é realizado em duas camadas. Deve-se notar também que a melhor situação é alcançada no maior avanço ($Av=40$ cm).

Na Tabela 14 estão apresentados os resultados da relação de dependência entre a velocidade da operação e o aprofundamento. O comportamento segue a mesma tendência para 3 e 6 $km\ h^{-1}$, com menor força quando o solo é rompido em duas camadas. Para a maior velocidade de operação neste experimento, os diferentes aprofundamentos não diferem estatisticamente, apresentam-se com valores muito próximos.

Tabela 14 – Análise Complementar D.E. Trifatorial da F_{HMBT} (N) para a Interação de (Ap x V).

Ap	V		
	3 $km\ h^{-1}$	6 $km\ h^{-1}$	7 $km\ h^{-1}$
10 cm	7.207,8 aC	8.742,9 aB	9.317,6 aA
15 cm	6.769,6 bC	8.085,8 bB	9.353,1 aA

DMS para colunas = 343,5

DMS para linhas = 417,5

Colunas – Classific.c/letras minúsculas

Linhas – Classific.c/letras maiúsculas

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Concluindo esta seção apresenta-se a síntese dos resultados para a corrente variável resposta, confrontando a operação em camadas simultâneas com a convencional e na sequência comparando os tratamentos deste novo princípio de solução entre si. Na Figura 23 pode-se observar que, de forma geral, a força horizontal média na barra de tração cresce com o aumento da velocidade, tanto na escarificação em camada única, demonstrando concordância com os resultados de Stafford (1979), Lanças (1988), Chandon e Kushwaha (2002), entre outros, quanto naquelas em duas e três.

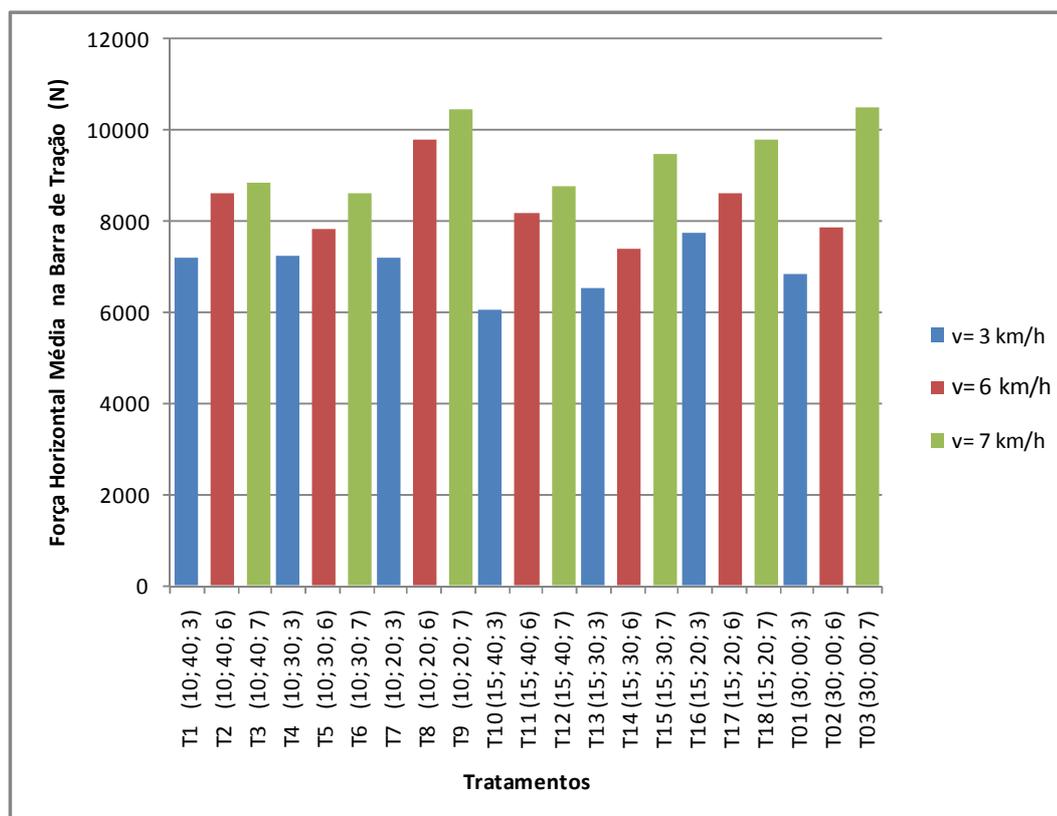


Figura 23 – Comparativo da F_{HMBT} entre todos os tratamentos.

Além disso, ao comparar os processos de escarificação em duas e três camadas com o convencional, esperava-se como resultado, uma redução na força de tração na medida em que se aumentasse o número de camadas, o que não ocorreu, pois com aprofundamento de quinze centímetros a média foi de 8.069,5N enquanto que para escarificação em três camadas simultâneas o valor foi de 8.422,8N. Pode-se tentar explicar este fato observando a coincidência da profundidade de trabalho das hastes H100 e H300 com os dois níveis de máximos da resistência à penetração apresentados na Tabela 1. Outro fator importante é a área de contato entre o solo e as ponteiros que no caso de uso das três aumenta aproximadamente onze por cento podendo aumentar a força de adesão, a qual, segundo Mckey e Desir (1984), pode atingir de 5 a 25% do esforço de tração. Nesta mesma ilustração percebe-se que na operação em duas camadas tanto na maior, quanto na menor velocidade, a força apresenta a tendência de crescimento com a diminuição do avanço. Enquanto que na velocidade intermediária a menor solicitação a tração ocorre para o avanço de trinta centímetros, e a maior quando a distância longitudinal entre as pontas das ponteiros é vinte centímetros.

Quando a escarificação ocorre em três camadas simultâneas, para a velocidade de 3 km h⁻¹ o avanço praticamente não influi na força horizontal média na barra de tração. Para os outros dois níveis de velocidade o comportamento é semelhante, com as menores solicitações ocorrendo nos avanços de quarenta e trinta centímetros, com pequena vantagem para este último.

Ao observar a Figura 23 com foco sobre o avanço das pontas, nota-se que quando há diferença expressiva de valores de força, os piores casos ocorreram na menor distância ($A_v=20$ cm), indicando que nestas configurações as três hastes se comportam como uma única, com uma área de contato entre a ferramenta e o solo que não permite a formação da cunha de solo à frente da ponteira (GODWIN E SPOOR, 1977; PAYNE, 1956), o que pode dificultar o processo de ruptura do solo.

Complementando a abordagem Trifatorial para os tratamentos com rompimento do solo em mais de uma camada simultânea apresenta-se no Quadro 4, uma comparação de médias duas a duas, a fim de fazer uma hierarquização da melhor para a pior situação.

Quadro 4 – Comparativo F_{HMBT} (N) nas Operações de Escarificação em duas e três camadas entre si.

Tratamentos	Classificação	F_{HMBT} [N]
T10 (15;40;3)	h	6.051,2
T13 (15;30;3)	g h	6.517,1
T1 (10;40;3)	f g	7.181,7
T7 (10;20;3)	f g	7.209,4
T4 (10;30;3)	f g	7.232,3
T14 (15;30;6)	f	7.392,9
T16 (15;20;3)	e f	7.740,8
T5 (10;30;6)	e f	7.831,5
T11 (15;40;6)	d e	8.184,1
T2 (10;40;6)	d	8.611,7
T6 (10;30;7)	d	8.624,6
T17 (15;20;6)	d	8.680,4
T12 (15;40;7)	c d	8.785,4
T3 (10;40;7)	c d	8.863,7
T15 (15;30;7)	b c	9.462,6
T8 (10;20;6)	a b	9.785,6
T18 (15;20;7)	a b	9.811,3
T9 (10;20;7)	a	10.464,7

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. DMS=737,1

Entre outras observações tem-se que algumas combinações de aprofundamento e avanço contrariam a tendência da força de tração crescer com a velocidade. Os tratamentos T8, T16 e T17 apresentaram demanda maior, quando comparados com aqueles com velocidade superior. Em todos os casos este fenômeno ocorre no espaçamento longitudinal mínimo entre as pontas das ponteiros, reforçando a idéia de que a cunha de solo à frente da ferramenta atuando como uma extensão desta melhora a eficiência da ruptura.

4.5. Área de Solo Mobilizada

Nesta seção serão apresentados os resultados relativos à Área de Solo Mobilizada, nesta variável resposta quanto maior o valor melhor é a situação.

De acordo com a Tabela 15 houve interação entre os fatores aprofundamento e avanço e os efeitos dos tratamentos são significativos, para os três patamares de velocidade, porém o bloqueamento era necessário apenas para a velocidade de seis quilômetros por hora.

Tabela 15 – Resumo da Análise de Variância da A_{sm}

F.V.	G.L.	$V_1=3 \text{ km h}^{-1}$	$V_2=6 \text{ km h}^{-1}$	$V_3=7 \text{ km h}^{-1}$
Fator Ap	1	*	ns	ns
Fator Av	2	**	**	ns
Int. Ap x Av	2	**	**	*
Fat. x Testm.	1	*	ns	*
Tratamentos	6	**	**	*
Blocos	3	ns	**	ns
Resíduo	18			
Total	27			

Teste "F"

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns não significativo ($p \geq 0,05$)

Pela análise de Dunnett para experimentos fatoriais diferenciados observa-se no Tabela 16 para a menor velocidade que existe diferença significativa entre a testemunha e os tratamentos T4(10; 30; 3) e T16(15; 20; 3), sendo o primeiro o maior valor, com área de solo mobilizada de 25,82 % maior em relação à testemunha. Mesmo não diferindo estatisticamente, existe a tendência do T1(10; 40;

3) apontar para um decréscimo na área mobilizada de 9,11% em relação à testemunha.

Tabela 16 – Comparativo da Asm (m²) para os três níveis de velocidade.

V ₁ =3 km h ⁻¹		V ₂ =6 km h ⁻¹		V ₃ =7 km h ⁻¹	
Trat	Asm	Trat	Asm	Trat	Asm
T1	0,0721	T2	0,0755	T3	0,0781
T4	0,0998	T5	0,0960	T6	0,0882
T7	0,0775	T8	0,0821	T9	0,0804
T10	0,0863	T11	0,0857	T12	0,0834
T13	0,0847	T14	0,0807	T15	0,0832
T16	0,0971	T17	0,0936	T18	0,0915
T 01	0,0793	T 02	0,0850	T 03	0,0768

DMS = 0,0119

DMS = 0,0083

DMS = 0,0112

Foi aplicado o Teste de Dunnett ao nível de 5% de erro.

Para a velocidade intermediária três tratamentos diferem significativamente do controle: T2(10; 40; 6), T5(10; 30; 6) e T17(15; 20; 6), sendo a melhor configuração aquela na qual a operação ocorre com rompimento em três camadas simultâneas (Ap=10 cm) e distância longitudinal intermediária (Av=30 cm), ou seja, T5. O T2 mobiliza uma área de solo em relação à testemunha em torno de 11% menor, enquanto que T5 e T17 chegam próximos a 13% e 10% maiores, respectivamente.

Na maior velocidade, pelo método de Dunnett, apresentado na Tabela 16 existe diferença significativa entre a testemunha ou controle e dois outros tratamentos: T6(10; 30; 7) e T18(15; 20; 7). Nos dois casos a área de solo mobilizada é maior em relação à testemunha, aproximadamente 15% para T6 e 19% para T18.

Como existe interação significativa entre o aprofundamento e o avanço, procede-se a análise complementar, na qual a Tabela 17 mostra que na menor velocidade para a operação em três camadas de dez centímetros cada, a área mobilizada não apresenta relação direta nem inversa de proporcionalidade com o avanço, enquanto que no rompimento do solo em duas camadas o comportamento é inversamente proporcional, com a área aumentando na medida em que a distância entre as pontas das ponteiras diminui.

Tabela 17 – Médias da A_{sm} (m²) para $v_1=3$ km h⁻¹ da Interação de (Ap x Av).

Ap	Av					
	40 cm		30 cm		20 cm	
10 cm	0,0721	bB	0,0998	aA	0,0775	bB
15 cm	0,0863	aB	0,0847	bB	0,0971	aA

DMS para colunas = 0,0087

DMS para linhas = 0,0106

Colunas – Classific.c/letras minúsculas

Linhas – Classific.c/letras maiúsculas

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Quando a velocidade da operação no experimento foi de seis quilômetros por hora, também existe interação significativa entre os fatores aprofundamento e avanço, na Tabela 18 é possível observar que tanto em duas quanto em três camadas não há proporção entre a área mobilizada e o avanço, contudo as configurações com maior eficiência se repetem: (Ap=10 cm com Av=30 cm) e (Ap=15 cm com Av=20 cm).

Tabela 18 – Médias da A_{sm} (m²) para $v_2=6$ km h⁻¹ da Interação de (Ap x Av).

Ap	Av					
	40 cm		30 cm		20 cm	
10 cm	0,0755	bB	0,0959	aA	0,0821	bB
15 cm	0,0857	aB	0,0807	bB	0,0936	aA

DMS para colunas = 0,0062

DMS para linhas = 0,0075

Colunas – Classific.c/letras minúsculas

Linhas – Classific.c/letras maiúsculas

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A Tabela 19 trata da dependência entre o avanço dentro de cada nível do aprofundamento e vice versa para a maior velocidade. O comportamento segue as mesmas tendências, tanto de não apresentar proporcionalidade quanto das configurações com melhores resultados.

Tabela 19 – Médias da A_{sm} (m^2) para $v_3=7 \text{ km h}^{-1}$ da Interação de ($A_p \times A_v$).

A_p	A_v		
	40 cm	30 cm	20 cm
10 cm	0,0781 aB	0,0882 aA	0,0804 bAB
15 cm	0,0833 aA	0,0831 aA	0,0914 aA

DMS para colunas = 0,0083

DMS para linhas = 0,0101

Colunas – Classific.c/letras minúsculas

Linhas – Classific.c/letras maiúsculas

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Visando uma comparação dos tratamentos inovadores apenas entre si, procedeu-se à análise dos resultados obtidos para a Área de Solo Mobilizada do experimento, abordando-o como um Trifatorial ($2 \times 3 \times 3$), com dois níveis de aprofundamento, três de avanço e três níveis de velocidade (Apêndice AH). Nesta verificou-se que as interações entre o aprofundamento e o avanço assim como os tratamentos alcançaram significância estatística, e também ficou evidenciado que o bloqueamento era necessário.

Na Tabela 20, estão apresentados os resultados gerais relativos à A_{sm} , com a média geral (MG), o coeficiente de variação (CV) e a síntese das comparações de médias para cada fator. Analisando os efeitos em separado dos fatores poder-se-ia inferir as melhores situações são aprofundamento de quinze e avanço de trinta ou vinte centímetros, já que estes não diferem estatisticamente e que a velocidade não influi na mobilização do solo, porém como está indicado no parágrafo imediatamente anterior que existe interação entre os fatores, faz-se necessária uma análise complementar.

Tabela 20 – Médias Gerais da A_{sm} [m^2] para o Exp. Trifatorial (A_p , A_v e V).

MG 853,28 CV 6,14%	Fatores					
	A_p		A_v		V	
A_{sm}	0,0833 b	10 cm	0,0801 b	40 cm	0,0862 a	3 km h^{-1}
	0,0873 a	15 cm	0,0887 a	30 cm	0,0856 a	6 km h^{-1}
			0,0870 a	20 cm	0,0841 a	7 km h^{-1}
DMS	0,0025		0,0037		0,0037	

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Ao comparar os efeitos causados pela variação dos fatores um dentro do outro (Tabela 21), quando o rompimento do solo dá-se em três camadas, o avanço que apresenta o maior resultado é o de 30 cm, sendo que os outros dois não diferem

estatisticamente entre si, enquanto que para aprofundamento de 15 cm têm-se resultados do avanço, da situação mais para a menos favorável, de 40, 30 e 20 cm.

Tabela 21 – Análise Complementar D.E. Trifatorial da A_{sm} para a Interação de (Ap x Av)

Ap	Av		
	40 cm	30 cm	20 cm
10 cm	0,0752 bB	0,0947 aA	0,0800 bB
15 cm	851,01 aB	0,0828 bB	0,0940 aA

DMS para colunas = 42,96

DMS para linhas = 51,64

Colunas – Classific.c/letras minúsculas

Linhas – Classific.c/letras maiúsculas

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Como apresentado ao final da seção anterior, tem-se uma síntese do comportamento da corrente variável resposta, comparando cada um dos tratamentos relativos à escarificação em duas e/ou três camadas com sua respectiva testemunha.

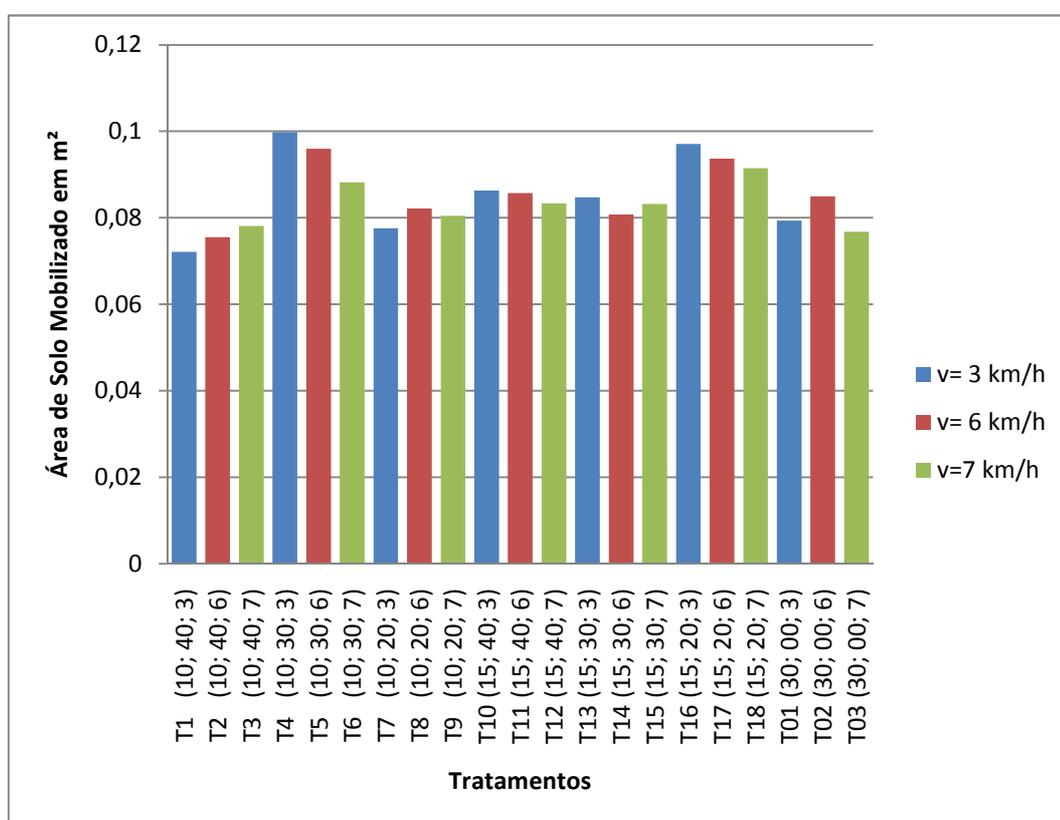


Figura 24 – Comparativo da A_{sm} (m²) entre todos os tratamentos.

Através da Figura 24 pode-se observar que a área de solo mobilizada não segue uma tendência comportamental, para certas combinações aprofundamento e avanço esta cresce com a velocidade, em outras decresce, bem como apresenta-se em algumas configurações com valor máximo na velocidade intermediária. Pode-se visualizar também por esta mesma figura que os melhores casos ocorreram nos tratamentos T4(10; 30; 3), T16(15; 20; 3), T5(10; 30; 6), T17(15; 20; 6), T6(10; 30; 7) e T18(15; 20; 7), os quais revelam que as combinações de aprofundamento e avanço (10;30 e 15;20), são mais eficientes na ruptura do solo quanto a área de solo mobilizada, revelando que não existe uma relação de proporcionalidade entre o avanço e a mobilização.

Quadro 5 – Comparativo entre os ganhos de área de solo mobilizada.

Tratamentos	% de Aumento da A_{sm} x Testemunha
T4 (10; 30; 3)	25,8 %
T16 (15; 20; 3)	22,3 %
T5 (10; 30; 6)	12,9 %
T17 (15; 20; 6)	10,0 %
T6 (10; 30; 7)	14,8 %
T18 (15; 20; 7)	19,1 %

Pelo Quadro 5 pode-se deduzir que os melhores casos para cada nível de velocidade, nos dois menores (3 e 6 km.h⁻¹), ocorrem quando o rompimento é feito em três camadas com avanço de trinta centímetros (T4 e T5), enquanto que para a maior velocidade a situação mais eficiente dá-se para o rompimento em duas camadas e avanço de vinte centímetros (T18).

4.6. Resistência Específica

Nesta seção serão apresentados os dados relativos à resistência específica à tração obtidos do experimento. Esta variável resposta é um indicativo do gasto de energia por unidade de solo mobilizado, portanto quanto menor o valor, melhor a situação. A análise de variância para os três níveis de velocidade apresentada na Tabela 22 evidencia a significância estatística da interação entre os fatores e o efeito dos tratamentos, enquanto que a necessidade de bloqueamento faz-se necessária apenas para a velocidade de 6 km h⁻¹.

Tabela 22 – Resumo da Análise de Variância da R_{esp} .

F.V.	G.L.	$V_1=3 \text{ km h}^{-1}$	$V_2=6 \text{ km h}^{-1}$	$V_3=7 \text{ km h}^{-1}$
Fator Ap	1	*	*	ns
Fator Av	2	**	**	**
Int. Ap x Av	2	**	**	**
Fat. x Testm.	1	ns	*	*
Tratamentos	6	**	**	*
Blocos	3	ns	**	ns
Resíduo	18			
Total	27			

Teste "F"

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns não significativo ($p \geq 0,05$)

Através da Tabela 23 é possível observar que para a menor velocidade as configurações de hastes com melhores resultados diferentes estatisticamente quando comparados ao controle T01(30; 00; 3) ocorrem nos três tratamentos com a espessura de cada camada de 15 cm e em um caso para rompimento com aprofundamento 10 cm, cuja ordem de classificação da menor para a maior R_{esp} é T10(15; 40; 3), T4(10; 30; 3) e T13(15; 30; 3).

Tabela 23 – Comparativo da R_{esp} (kN m^{-2}) para os três níveis de velocidade.

$V_1=3 \text{ km h}^{-1}$		$V_2=6 \text{ km h}^{-1}$		$V_3=7 \text{ km h}^{-1}$	
Trat	Asm	Trat	Asm	Trat	Asm
T1	99,6	T2	114,1	T3	113,5
T4	72,5	T5	81,6	T6	97,8
T7	93,0	T8	119,1	T9	130,1
T10	70,1	T11	95,5	T12	105,4
T13	77,0	T14	91,6	T15	113,8
T16	79,7	T17	91,9	T18	107,3
T 01	86,5	T 02	92,5	T 03	136,8

DMS = 8,86

DMS = 9,53

DMS = 15,99

Foi aplicado o Teste de Dunnett ao nível de 5% de erro.

Na velocidade de 6 km h^{-1} três tratamentos mostraram-se mais eficientes que a testemunha T02 (30; 00; 6), são eles: T5(10; 30; 6), T14(15; 30; 6) e T17(15; 20; 6), onde apenas a primeira apresenta-se com diferença significativa.

Na maior velocidade testada, cinco são os tratamentos que mostram-se mais eficientes com diferença significativa em relação ao testemunha T03(30; 00; 7), assim classificados em ordem do menor para o maior: T6(10; 30; 7), T12(15; 40; 7), T18(15; 20; 7), T15(15; 30; 7) e T3(10; 40; 7).

Observando conjuntamente os três níveis de velocidade, duas configurações se destacam entre as mais promissoras neste critério (R_{esp}), aparecendo em todos eles, uma com rompimento em três camadas e distância entre as pontas das ponteiros de trinta centímetros e outra com ruptura do solo com aprofundamento de 15 cm e avanço de trinta centímetros.

Com o objetivo de comparar os efeitos dos tratamentos inovadores entre si, foi realizada uma análise dos resultados obtidos para a Resistência Específica a Tração do experimento abordando-o como um Trifatorial (2x3x3), com dois níveis de aprofundamento, três de avanço e três níveis de velocidade. Como resultado tem-se que tanto os fatores sozinhos, quanto os efeitos dos tratamentos e as interações entre o avanço e a velocidade e avanço e aprofundamento alcançaram significância estatística (Apêndice AL). Também ficou evidente que o bloqueamento não era necessário.

Na Tabela 24, estão apresentados os resultados gerais relativos à R_{esp} , com a média geral (MG), o coeficiente de variação (CV) e a síntese das comparações de médias para cada fator.

Tabela 24 – Médias Gerais da R_{esp} [kN m^{-2}] para o Exp. Trifatorial (Ap, Av e V).

MG	0,9766								
	Fatores			Fatores			Fatores		
CV	5,92%			5,92%			5,92%		
	Ap			Av			Vel		
R_{esp}	102,55	a	10 cm	100,16	a	40 cm	82,12	c	3 km h ⁻¹
	92,78	b	15 cm	89,12	b	30 cm	99,16	b	6 km h ⁻¹
				103,70	a	20 cm	111,70	a	7 km h ⁻¹
DMS	2,74			4,03			4,03		

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Pela Tabela 24 ao analisar cada um dos fatores de cada vez, concluir-se-ia que a resistência específica cresce juntamente com o aumento da velocidade e do número de camadas e que o melhor avanço é o de trinta centímetros, porém como as interações são significativas, fazem-se necessárias as análises complementares.

Ao estudar a dependência sobre os efeitos entre o avanço e o aprofundamento na Tabela 25, observa-se que a operação mais eficiente é aquela alcançada quando A_p é 10 cm e A_v , 30cm.

Tabela 25 – Análise Complementar D.E. Trifatorial da R_{esp} para a Interação de ($A_p \times A_v$)

A_p	A_v		
	40 cm	30 cm	20 cm
10 cm	109,58 aA	83,92 bB	114,17 aA
15 cm	90,75 bA	94,33 aA	93,25 bA

DMS para colunas = 4,75

DMS para linhas = 5,71

Colunas – Classific.c/letras minúsculas

Linhas – Classific.c/letras maiúsculas

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Considerando a dependência entre a velocidade e o avanço (Tabela 26) tem-se a confirmação de que a resistência específica cresce com o aumento da velocidade, para os três níveis deste. Quando trata-se do comportamento gerado pela variação do avanço dentro de cada nível da velocidade os resultados mostram que o tratamento com o avanço de trinta centímetros como menor resultado tanto para três quanto para seis quilômetros por hora, enquanto que para 7 km h⁻¹ coexistem como mais eficientes os dois maiores avanços.

Tabela 26 – Análise Complementar D.E. Trifatorial da R_{esp} para a Interação de ($A_v \times V$)

A_v	V		
	3 km h ⁻¹	6 km h ⁻¹	7 km h ⁻¹
40 cm	84,88 aB	105,13 aA	110,50 bA
30 cm	74,88 bC	86,50 bB	106,00 bA
20 cm	86,63 aC	105,88 aB	118,63 aA

DMS para colunas = 6,99

DMS para linhas = 6,99

Colunas – Classific.c/letras minúsculas

Linhas – Classific.c/letras maiúsculas

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A resistência específica é um bom indicador da eficiência da operação, pois relaciona a força de tração necessária à execução da operação com a área de solo, de forma geral o parâmetro em questão cresce de forma diretamente proporcional a velocidade de trabalho, mantendo a tendência da força de tração, em outras palavras, o comportamento divergente demonstrado pela área de solo mobilizado não foi forte o bastante para influenciar a R_{esp} .

Com base nas Tabelas 25 e 26 pode-se considerar que quando o critério é a R_{esp} , a montagem com A_p de 10 cm e A_v de 30 cm é a melhor configuração seguida de perto pela operação cuja espessura da camada é de 15 cm com avanço de 40cm.

4.7. Consumo Horário de Combustível

Nesta seção serão apresentados os resultados relativos ao Consumo horário de Combustível em litros por hora, seguindo a mesma sequência de apresentação das seções anteriores. Para esta variável resposta quanto menor o valor, melhor é a situação.

Tabela 27 – Resumo da Análise de Variância da C_{hc} .

F.V.	G.L.	$V_1=3 \text{ km h}^{-1}$	$V_2=6 \text{ km h}^{-1}$	$V_3=7 \text{ km h}^{-1}$
Fator A_p	1	**	**	**
Fator A_v	2	*	**	**
Int. $A_p \times A_v$	2	**	**	**
Fat. x Testm.	1	ns	**	ns
Tratamentos	6	**	**	**
Blocos	3	**	**	ns
Resíduo	18			
Total	27			

Teste "F"

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns não significativo ($p \geq 0,05$)

As análises de variância (Tabela 27) denotam que os efeitos dos tratamentos são significativos para os três níveis de velocidade, enquanto que a interação entre os fatores não é significativa para seis quilômetros por hora. O bloqueamento para as velocidades de 3 e 6 km h^{-1} faz-se necessário.

Tabela 28 – Comparativo do C_{hc} ($L h^{-1}$) para os três níveis de velocidade.

$V_1=3 \text{ km h}^{-1}$		$V_2=6 \text{ km h}^{-1}$		$V_3=7 \text{ km h}^{-1}$	
Trat	Asm	Trat	Asm	Trat	Asm
T1	5,69	T2	8,54	T3	9,52
T4	5,04	T5	7,26	T6	9,00
T7	4,77	T8	9,12	T9	11,25
T10	4,61	T11	8,34	T12	9,68
T13	4,66	T14	7,31	T15	9,02
T16	5,34	T17	8,04	T18	9,13
T 01	4,89	T 02	7,48	T 03	9,38

DMS = 0,41

DMS = 0,54

DMS = 0,87

Foi aplicado o Teste de Dunnett ao nível de 5% de erro.

Ao comparar os efeitos dos tratamentos da escarificação em camadas com o controle ou testemunha (Tabela 28), constata-se que para todas as velocidades testadas os tratamentos que apresentam diferença estatística significativa consomem maior quantidade de combustível que o tratamento testemunha.

Para três quilômetros por hora, os tratamentos T10(15; 40; 3), T13(15; 30; 3), T7(10; 20; 3) e T4(10; 30; 3) não diferiram significativamente do T01(30; 00; 3), porém nota-se uma tendência de menores consumos nos três primeiros casos. Na velocidade de 6 km h^{-1} os dois tratamentos que se apresentam com menor consumo horário de combustível que o T02(30; 00; 6) são o T5(10; 30; 6) e T14(15; 30; 6), enquanto que para a maior velocidade os tratamentos com tendência de menores consumos que T03 (30; 00; 7) são T6(10; 30; 7) , T15(15; 30; 7) e T18(15; 20; 7).

Considerando os três patamares de velocidade testados, em todos eles, existem configurações com os dois níveis de aprofundamento testados (10 e 15 cm).

Na comparação dos resultados decorrentes dos tratamentos inovadores entre si, para o Consumo horário de combustível do experimento abordado como um Trifatorial ($2 \times 3 \times 3$), com dois níveis de aprofundamento, três de avanço e três níveis de velocidade, tanto os fatores sozinhos, quanto os efeitos dos tratamentos e as interações entre eles, exceto aquela entre o aprofundamento e a velocidade, alcançaram significância estatística (Apêndice AP). Também ficou evidenciada a necessidade do bloqueamento.

Na Tabela 29, estão apresentados os resultados gerais relativos ao Chc, com a Média Geral (MG), o Coeficiente de Variação (CV) e a síntese das comparações

de médias para cada fator. Por esta tabela, para cada um dos fatores agindo sozinho, o menor C_{hc} ocorreria para a espessura da camada de 15 cm, distância longitudinal entre as pontas das ponteiras de 30 cm e na menor velocidade, porém como as interações são significativas, fazem-se necessárias as análises complementares.

Tabela 29 – Médias Gerais da C_{hc} em [$L h^{-1}$] para o Exp. Trifatorial (Ap, Av e V).

MG	7,5823	Fatores								
		Ap		Av		V				
CV	4,06%									
C_{hc}		7,81	a	10 cm	7,93	a	40 cm	5,02	c	3 km h ⁻¹
		7,35	b	15 cm	7,05	b	30 cm	8,10	b	6 km h ⁻¹
					7,96	a	20 cm	9,62	a	7 km h ⁻¹
DMS		0,14		0,21		0,21				

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A dependência entre os fatores (Tabela 30) mostra-se favorável ao avanço de trinta em ambos os aprofundamentos, enquanto que o rompimento do solo em duas camadas de 15 cm revela-se mais eficiente, isto é, com menor consumo de combustível.

Tabela 30 – Análise Complementar D.E. Trifatorial da C_{hc} ($L h^{-1}$) para a Interação de (Ap x Av)

Ap	Av		
	40 cm	30 cm	20 cm
10 cm	7,92 aB	7,10 aC	8,42 aA
15 cm	7,54 bA	7,00 aB	7,50 bA

DMS para colunas = 0,25

DMS para linhas = 0,30

Colunas – Classific.c/letras minúsculas

Linhas – Classific.c/letras maiúsculas

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Considerando a influência da velocidade dentro de cada nível do avanço tem-se o mesmo comportamento para os três níveis, nos quais quanto maior é a velocidade maior é o consumo horário (Tabela 3131). Confirma-se aqui também o menor consumo para o avanço de 30 cm.

Tabela 31 – Análise Complementar D.E. Trifatorial da C_{hc} ($L h^{-1}$) para a Interação de (Av xV).

Av	V		
	3 km h ⁻¹	6 km h ⁻¹	7 km h ⁻¹
40 cm	5,15 aC	8,44 aB	9,60 bA
30 cm	4,85 aC	7,28 bB	9,01 cA
20 cm	5,05 aC	8,58 aB	10,25 aA

DMS para colunas = 0,37

DMS para linhas = 0,37

Colunas – Classific.c/letras minúsculas

Linhas – Classific.c/letras maiúsculas

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4.8. Patinagem

A patinagem neste trabalho não é uma variável resposta principal, contudo o conhecimento de seu comportamento pode auxiliar na interpretação de variações bruscas na força horizontal média na barra de tração, bem como servir para demonstrar que a exigência de tração é compatível com a potência disponível no trator. Esta seção apresenta sucintamente os resultados deste parâmetro, maiores detalhes estão nos Apêndices AQ, AR, AS e AT.

Na menor velocidade testada a testemunha apresentou-se com valor médio da patinagem aproximado de 8,5%, enquanto os tratamentos inovadores alcançaram patinagens entre 7,0% e 10,8%.

Na velocidade intermediária testada, a patinagem média da testemunha manteve-se em torno dos 8,5% e os tratamentos inovadores variando de 7,5% a 12,8%, enquanto que em sete quilômetros por hora a escarificação em única camada mostrou-se com valor da patinagem próximo a 13,5 % e os tratamentos em duas e três camadas alcançaram valores na ordem de 10,3% a 13,4%.

Na busca por uma visão global sobre o desempenho das montagens (tratamentos), é apresentada a Figura 25, que mostra a tendência comportamental entre a força horizontal média na barra de tração, área de solo mobilizada, resistência específica, consumo horário de combustível e patinagem em relação aos tratamentos, que estão agrupados e dispostos da esquerda para a direita no eixo horizontal, por classes com mesmos avanços e velocidades, nas quais, tem-se a variação da espessura da camada, sempre na ordem de dez para quinze centímetros.

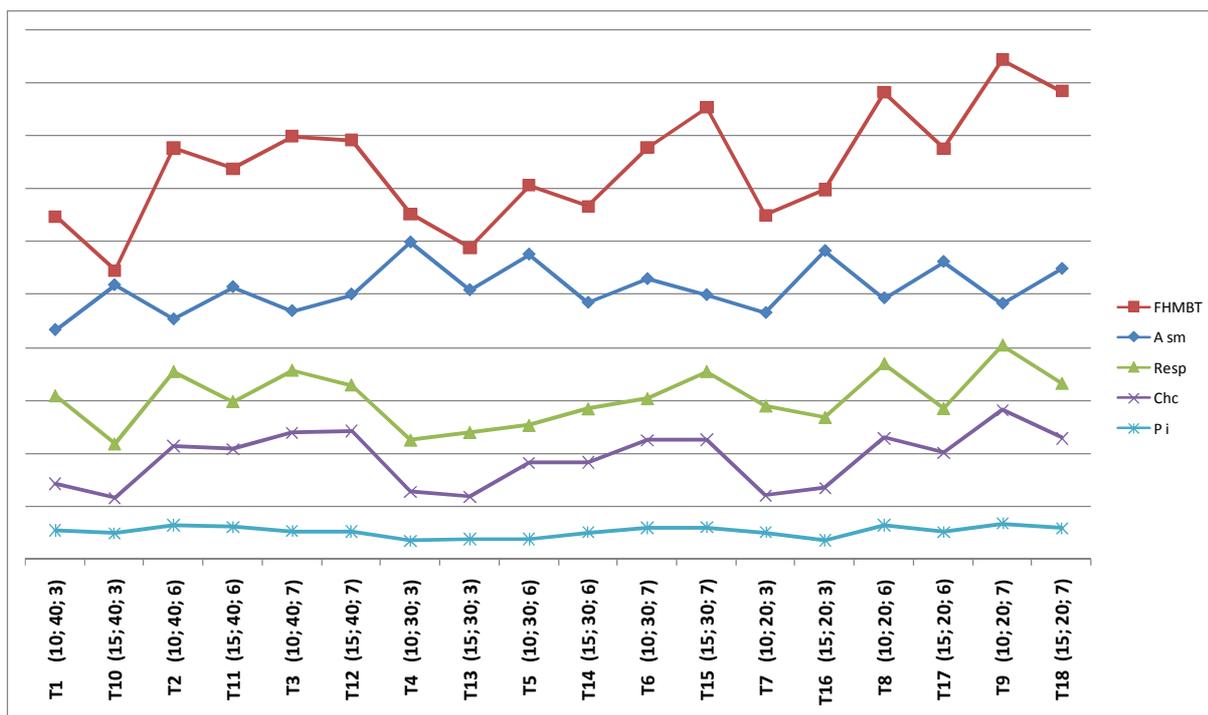


Figura 25 – Comportamento das variáveis respostas em função da variação do aprofundamento.

Esta figura evidencia a similaridade de comportamento entre as duas grandezas que se relacionam com a eficiência energética (R_{esp} e C_{hc}), com apenas duas situações nas quais enquanto uma cresce em valor a outra decresce, a discrepância mais acentuada ocorre na velocidade de 7 km h^{-1} com distância longitudinal entre as pontas das ponteiros de 40 cm, quando o aprofundamento varia de 10 cm para 15 cm. O outro comportamento divergente acontece em 3 km h^{-1} , com avanço de 20 cm quando a espessura da camada aumenta de 10 cm para 15 cm. Em ambos os casos anteriores a resistência específica diminui enquanto o consumo horário de combustível aumenta.

A área de solo mobilizada apresenta-se com um comportamento diferenciado para cada avanço considerado, no maior e no menor deles, para os três níveis de velocidade a A_{sm} aumenta com o aumento do aprofundamento, enquanto que no avanço intermediário este comportamento se inverte.

A força horizontal média na barra de tração apresenta comportamento diferenciado quando analisada em relação à variação da espessura da camada, para cada avanço e velocidade considerados. Quando o avanço é de 40 cm o comportamento é o mesmo para os três níveis de velocidade com a força diminuindo enquanto o aprofundamento entre uma ponta e a subsequente aumenta.

No avanço intermediário a força diminui com o aumento da espessura da camada nas duas menores velocidades, já na maior, esta tendência se inverte. Entretanto, quando a distância longitudinal entre as frentes de rompimento é a menor a força aumenta com o aumento do aprofundamento nas velocidades de seis e sete quilômetros por hora.

Dentre todas as variáveis consideradas sob a variação do aprofundamento a área de solo mobilizada é aquela que mais contraria a tendência comportamental das outras.

A figura 26 mostra a tendência comportamental entre a força horizontal média na barra de tração, área de solo mobilizada, resistência específica, consumo horário de combustível e patinagem em relação aos tratamentos, que estão agrupados e dispostos da esquerda para a direita no eixo horizontal, por classes com mesmos aprofundamentos e velocidades, nas quais, tem-se a variação do avanço, sempre na ordem de quarenta para trinta e vinte centímetros.

Mesmo mudando o foco da análise, o comportamento entre a R_{esp} e o C_{hc} mantém o aspecto de similaridade com duas tendências contrárias, uma na operação de escarificação em três camadas de dez centímetros com a menor velocidade testada (3kmh^{-1}), quando o avanço passa de trinta para vinte centímetros. A outra divergência ocorre no rompimento em duas camadas na maior velocidade (7kmh^{-1}) na variação do avanço de quarenta para trinta centímetros.

A área de solo mobilizada, quando mantidas constantes a velocidade e a espessura da camada, considerando a variação do avanço, apresenta-se com dois comportamentos distintos. Para rompimento com três camadas ($A_p=10\text{ cm}$) as maiores áreas ocorrem sempre no avanço de trinta centímetros, para cada nível de velocidade, enquanto para o aprofundamento de 15 cm os picos de solo mobilizado acontecem em vinte centímetros de avanço.

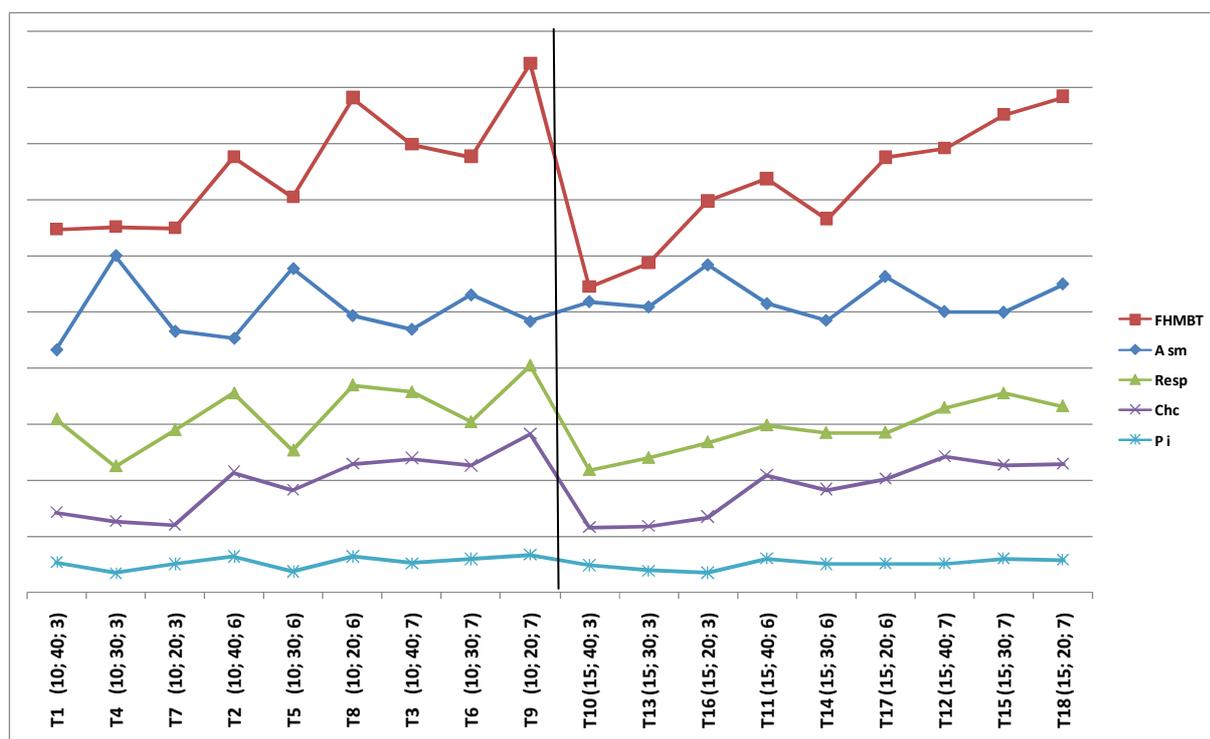


Figura 26 – Comportamento das variáveis respostas em função da variação do avanço.

A força horizontal média na barra de tração mostra-se com tendências semelhantes nas duas maiores velocidades para aprofundamento de 10 cm, decrescendo quando o avanço diminui de 40 cm para 30 cm e crescendo quando este passa de 30 cm para 20 cm. Na menor velocidade a força mostrou-se potencialmente insensível a variação na distância longitudinal entre as pontas das ponteiros.

Na operação em duas camadas simultâneas de 15 cm tanto na maior quanto na menor velocidade, a força aumenta na medida em que o avanço diminui. Para seis quilômetros por hora, há primeiramente, um decréscimo na força quando a distância entre as pontas das ponteiros varia de 40 cm para 30 cm e na sequência um aumento na passagem do avanço de 30 cm para 20 cm.

Com base nos resultados apresentados, na sequência são apresentadas as conclusões, as considerações finais e as sugestões de trabalhos futuros.

5. CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Como este trabalho trata de uma pesquisa inicial sobre um novo princípio de solução para uma operação de preparo primário do solo, ele gerou muito mais perguntas do que respostas. Dúvidas estas que serão contextualizadas nas sugestões de trabalhos futuros.

Cumprindo a proposta original desta pesquisa, a qual é ratificar ou não três hipóteses básicas apresentadas no Capítulo 1 desta tese, são apresentadas a seguir as conclusões, as considerações finais e as sugestões de trabalhos futuros.

5.1. Conclusões

5.1.1 Relativas à Hipótese 1

Neste caso como estão envolvidas três variáveis resposta principais e três patamares de velocidades as hipóteses se confirmam de forma parcial, por exemplo:

- i) No critério, força horizontal média na barra de tração, alcançaram valores inferiores à testemunha, com diferença estatística significativa, as montagens relativas aos tratamentos T10(15; 40; 3), T6(10; 30; 7), T12(15; 40; 7), T3(10; 40; 7), T15(15; 30; 7) e T18(15; 20; 7). Pode-se inferir que na maior velocidade tem-se maior número de tratamentos mais eficientes que o convencional, tanto para a escarificação em duas quanto em três camadas. Entretanto chama a atenção que na velocidade de seis quilômetros por hora apenas o tratamento T14(15; 30; 6), a força mostra-se menor que a testemunha, porém sem apresentar diferença significativa.

- ii) Para o consumo horário de combustível, existe pelo menos um caso em cada velocidade testada que apresenta resultado inferior àqueles relativos às testemunhas, porém nenhum deles mostra-se com diferença estatística significativa. Em ordem crescente tem-se T10(15; 40; 3), T13(15; 30; 3), T5(10; 30; 6), T14(15; 30; 6), T6(10; 30; 7), T15(10; 30; 6) e T18(15; 20; 7).
- iii) Quando a Resistência Específica é o parâmetro de ponderação, em todos os níveis de velocidade existe pelo menos um resultado abaixo daquele referente ao tratamento testemunha, para sete quilômetros por hora, são cinco, os quais em ordem crescente são T6(10; 30; 7), T12(15; 40; 7), T18(15; 20; 7), T15(15; 30; 7) e T3(10; 40; 7), enquanto que no nível intermediário tem-se apenas um T5(10; 30; 6) e no mínimo são três tratamentos T10(15; 40; 3), T4(10; 30; 3) e T13(15; 30; 3).

5.1.2 Relativas à Hipótese 2

Não existe a tendência esperada no comportamento, ou seja, esta hipótese não se confirma, pois as menores forças para três e seis quilômetros por hora ocorreram em uma escarificação em duas camadas de quinze centímetros, e no nível mais alto de velocidade a maior demanda acontece com a operação em três camadas.

5.1.3 Relativas à Hipótese 3

Considerando apenas a operação de escarificação em mais de uma camada, comparando os tratamentos entre si, dois a dois, a classificação decrescente da área de solo mobilizada foi: T4(10;30;3), T16(15;20;3), T5(10;30;6), T17(15;20;6), T18(15;20;7), T6(10;30;7), T10(15;40;3), T11(15;40;6), T13(15;30;3), T12(15;40;7), T15(15;30;7), T8(10;20;6), T14(15;30;6), T9(10;20;7), T3(10;40;7), T7(10;20;3),

T2(10;40;6) e T1(10;40;3). Estes resultados mostram que não existe tendência comportamental nenhuma em relação ao avanço, mesmo quando se analisa dentro de cada nível de velocidade, ou seja, a expectativa não se confirma.

É possível concluir que existem combinações de aprofundamento, avanço e velocidade, mais eficientes na operação em camadas simultâneas quando comparadas à operação em camada única.

As montagens das ferramentas para rompimento do solo em duas camadas de 15 cm e distância longitudinal entre as pontas das ponteiros tanto de trinta quanto de quarenta centímetros, apresentaram-se como as de melhor desempenho, pois elas figuram sempre entre os melhores casos nos três critérios (F_{HMBt} ; R_{esp} e C_{hc}). Outra configuração com bons resultados ocorre para a operação em três camadas simultâneas de dez centímetros de espessura e distância entre as pontas das ponteiros de trinta centímetros.

5.2. Considerações Finais

Por tratar-se da pesquisa inicial sobre um novo princípio de solução para uma operação de preparo primário do solo, ao final deste permanecem algumas perguntas a serem respondidas, por exemplo:

- i) Qual é o comportamento deste princípio em um solo com predominância de areia?
- ii) Como influi o teor de água do solo na escarificação em camadas?
- iii) Qual será o comportamento de um implemento com pelo menos três séries de hastes?
- iv) Qual o espaçamento lateral entre as séries de hastes ideal para este novo princípio?
- v) Como a operação em camadas reagirá quando montada em conjunto com dispositivos com corte de palha?
- vi) Será que existe alguma relação ideal entre aprofundamento, avanço e velocidade, e como esta se relaciona com o tipo e a condição do solo a ser trabalhado?

vii) De que modo o formato das ponteiros influi na performance da operação em camadas?

viii) De que modo a inclinação das hastes influi no desempenho da escarificação em camadas?

5.3. Sugestões para trabalhos futuros

Como este trabalho foi a base para o início do estudo sobre um novo método de descompactação do solo, e este princípio de solução deve transformar-se em um produto, muitos são os passos que devem ser seguidos, porém os mais iminentes são:

- Testar os mesmos tratamentos em solos diferentes;
- Verificar o comportamento das ferramentas em diferentes umidades do solo;
- Testar ponteiros que apresentem um alívio lateral;
- Analisar a utilização de inclinações de hastes diferentes para cada uma das profundidades de trabalho;
- Verificar como a utilização de camadas com espessura diferentes pode interferir nos resultados da operação;
- Utilizar-se das melhores configurações para testar o desempenho conjunto com outras séries de hastes;
- Verificar a influência da inserção de dispositivos para corte de palha;
- Determinar a melhor posição relativa entre as profundidades de atuação das ferramentas com relação aos picos de resistência a penetração do solo; e
- Realizar um estudo exploratório sobre a performance de três séries de hastes em níveis de velocidades acima das utilizadas.

6. REFERÊNCIAS

ADAMS, B. A.; WULFSOHN, D. Variation of the critical-state boundaries of an agricultural soil. **European Journal of Soil Science**, v.48, p.739-748, 1997.

ALONÇO A. dos S. **Metodologia de projeto para a concepção de máquinas agrícolas seguras**. 2004. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ARAÚJO, A. G.; CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R. Mecanização do plantio direto: problemas e soluções. **Informe de Pesquisa Fundação Agrônômica do Paraná**, Londrina, v. 137, p. 1-18, 2001.

ASAE-D497, **Agricultural machinery management**, 2003.

BACK, N. et al. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri: Manole, 2008. 601 p.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 310p.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S.N. **Experimentação Agrícola**. Jaboticabal: Funep, 2008. 249p.

BAUMHARDT, U. B. **Projeto de um nebulizador autopropelido para aplicação de inseticidas no combate aos mosquitos: fases informacional e Conceitual**. Santa Maria, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria.

BELTRAME, L.F. S.; TAYLOR, J. C. Causas e efeitos da compactação do solo. **Lavoura Arrozeira**, v. 32, p. 59-62, 1980.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.39, n.6, p.581-588, Junho 2004.

BIANCHINI et al., Comportamento operacional de um escarificador de hastes parabólicas em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, n.3, v.3, p.395-401, 1999 Campina Grande, PB.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos Solos**. Livro. Editora Freitas Bastos, 7ª Ed. Rio de Janeiro, 1989. 898 p.

CARVALHO, R. P. L. O sistema de plantio direto no estado de São Paulo: potencialidades e desafios. In: **Encontro Nacional de Plantio Direto**, 2002. Águas de Lindóia. Resumos: Federação Nacional de Plantio Direto na Palha, 2002. p. 29-31.

CHANDON, K.; KUSHWAHA R. L. Soil force and shank vibration on deep tillage. **Paper ASAE, 2002. ASAE Annual International Meeting / CIGR XVth World Congress Sponsored by ASAE and CIGR Hyatt Regency Chicago Chicago, Illinois, USA: 2002.**

COHRON, G. T. Force's causing soil compaction. In: BARNES, K. K. et al. **Compaction of agricultural soils**. ASAE, Michigan, 1971, cap. 4, p. 106-124.

DERPSCH, R.; HOOGMOED, W.; SIDIRAS, N.; ALMEIDA, F.S. **A escarificação como alternativa de preparo e conservação do solo**. Trabalho apresentado no IV ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DE SOLOS. Campinas, 1982.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2ª Ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FLOWERS, M. D.; LAL, R. Axial load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northwest Ohio. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.48, p.21-35, 1998.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 947-953, Agosto, 2003.

FONSECA, A. J. H. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional**. 2000. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

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

GAMERO, A. C. **Desempenho operacional de um subsolador de hastes com curvatura lateral (“paraplow”), em função de diferentes velocidades de deslocamento e profundidades de trabalho**. Dissertação, 2008. Faculdade de Ciências Agrônomicas (Energia na Agricultura), UNESP.

GASSEN, 2008. **Desenvolvimento de um sistema de documentação para o projeto de máquinas agrícolas: modelo de referência**. Dissertação, 2008. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Santa Maria.

GODWIN, R.J., SPOOR, G., 1977. Soil failure with narrow tines. **Journal of Agricultural Engineering Research** (22), p.213–228.

GODWIN, R.J., A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. **Soil & Tillage Research** 97 (2007), p. 331–340.

GUÉRIF, J. The influence of water-content gradient and structure anisotropy on soil compressibility. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 29, p. 367-374. 1984.

HAMBLIM, A. P. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. **Advances in Agronomy**, New York, v. 38, p.95-158, 1985.

HETTIARATCHI, D. R. P. A critical state soil mechanics model for agricultural soils. **Soil Tillage & Research**, v. 56, p. 117-129, 1987.

HETTIARATCHI, D.R.P., WHITNEY, B.D., REECE, A.R., 1966. The calculation of passive pressure in two-Dimensional soil failure. **Journal of Agricultural Engineering Research** n.11, v.2, p. 89–107.

HORN, R.; DOMZAL, H.; SLOWINSKA-JURKIEWICZ, A.; VAN OUWERKERK, C. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and environment. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.35, p.23-36, 1995.

HUNT D. Farm Power and Machinery Management. **The Iowa State University Press, USA:1977**. 365 p.

JONG VAN LIER, Q. Cálculo de alguns parâmetros físicos do solo. Apostila DF/SA/UFRGS, 1977. 7f.

LAMBE, T. W.; WHITMAN, R. V. **Soil mechanics, SI version**. Series in soil engineering. 553p, 1969.

LANÇAS, K. P. **Subsolador: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiras e número de hastes**. Botucatu – SP, 1988. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista.

LANÇAS, K. P. **Subsolador: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiras e velocidades de deslocamento**. Botucatu – SP, 1987. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista.

LARSON, W. E.; GUPTA, S. C.; USECE, R. A. Compression of agricultural soils from eight soil orders. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 450-457, 1980.

LEMOES, R. C. de. e SANTOS, R. D. dos. Manual de descrição e coleta de solo no campo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo** – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 3ª Ed., p. 83, Campinas-SP, 1996.

MACHADO, A. L. T. et al. Avaliação do desempenho de escarificador em planossolo. **Revista Brasileira de Agrocência**, v.2, n.3, p. 151–154, set – dez, 1996.

MACHADO, A. L. T., REIS, A. V., MORAES, M. L. B., ALONÇO, A. dos S. **Máquinas para preparo do solo, Semeadura, Adubação e Tratamentos Culturais**. Livro. 2^a ed. Pelotas, RS:Ed. Univ. UFPEL, 2005. 253p.

MANUWA, S. I. Performance evaluation of tillage tines operating under different depths in a sandy clay loam soil. **Soil & Tillage Research** **103** (2009), p. 399-405.

MARIBONDO, J. de F. **Desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas modulares, aplicada a unidades de processamento de resíduos sólidos domiciliares**. 2000. 277f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MAZIERO, J. V. G.; MIALHE, L. G.; CORREA, I. M.; YANAI, K.; MENEZES, J. F. Efeito da patinagem da roda motriz de um trator agrícola na compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v.56, n.1, p.191-197, 1997.

MCKYES, E., DESIR, F.L., Prediction and field measurements of tillage tool draft forces and efficiency in cohesive soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, n.4, p. 459 – 470, 1984.

MCKYES, E., MASWAURE, J.,. Effect of design parameters of flat tillage tools on loosening of a clay soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, n.43, p. 195–204, 1997.

MENEGATTI, F.A. **Desenvolvimento de Sistema de Dosagem para Agricultura de Precisão**. Florianópolis, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.

MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz - FEALQ, 1996. 722p.

MION, R. L., NERY, N. S., CARVALHO, W. P. A., RUIZ, E. R., FAGGION, F., GROSSI, C. H., MARQUES, J. P., MAHL, D., SILVA, A. R. B., BENEZ, S. H. Influência da profundidade de trabalho de uma haste de semeadora na força de tração e na área de solo mobilizada em plantio direto. **Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. Salvador-BA, 2002. Jaboticabal. SBEA, 2002.

NICOLOSO, S. N. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do Rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 1723-1734, 2008.

PAYNE, P.C.J., 1956. The relationship between the mechanical properties of soil to the performance of simple cultivation implements. **Journal of Agricultural Engineering Research** n.1, v.1, p. 23–50.

REINERT, D. J. **Soil structural form and stability induce by tillage in a Typic Hapludalf**. 1990. 129f. Thesis (Doctorate) - Michigan State University, East Lansing, 1990.

REINERT, D. J. ; REICHERT, J. M. **Propriedades Físicas do Solo**. Apostila. Curso Agronomia. Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

ROMANO, L. N. **Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas**. Florianópolis, 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.

ROSA, D. P. **Comportamento Dinâmico e Mecânico do Solo sob Níveis Diferenciados de Escarificação e Compactação**. Santa Maria, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria.

RUSSINI, A. **Projeto, construção e teste de Instrumentação eletrônica para avaliação do desempenho de tratores agrícolas**. Santa Maria, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria.

SANTOS, J.C. **Análise de desempenho de um escarificador**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, 1994.

SASAKI, C. M.; GONÇALVES J. L. M.; BENTIVENHA, S. R. P. Desempenho operacional de hastes subsoladoras em função da ponteira e do tipo do solo. **Scientia Forestalis** n. 67, p.44-52, abril 2005.

SECCO, D.; REINERT, D. J. Efeitos imediato e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho-escuro sob plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 16, p. 52-61, 1997.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, v. 30, p. 795-801, 2000.

SILVA, P. R. A. et al. Avaliação da demanda energética de hastes sulcadoras de Semeadoras-adubadoras de plantio direto. **Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. Salvador-BA, 2002. Jaboticabal. SBEA, 2002.

SOANE, B.D. & OUWERKERK, C. van. Soil compaction problems in world agriculture. In: SOANE, B.D. & OUWERKERK, C. van. eds. **Soil compaction in crop production**. Netherlands, Elsevier, 1994. p.01-21.

SPOOR, G.; GODWIN, R. J. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. **Journal of Agricultural Engineering Research, Bedfordshire**, v.23, p.243-258, 1978.

SPOOR, G., FRY, R.K., 1983. Soil disturbance generated by deep-working low rake angle narrow tines. **Journal of Agricultural Engineering Research** 28, p. 217–234.

STAFFORD, J. V. The performance of a rigid tine in relation to soil properties and speed. **Journal of Agricultural Engineering Research, Bedfordshire**, v.24, p.41-55, 1979.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2008. Livro. EMATER/RS 2ª Edição Revisada.

SUZUKI, L. E. A. S. **Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas**. 2005. 159f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER JR., J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v.102, n.1, p.18-22, 1966.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.333-339, 1996.

TROUSE, A. C. Soil Condition as they affect plant establishment, root development, and yield. In: BARNES, K. K. et al. **Compaction of agricultural soils**. Michigan: ASAE, 1971. cap. 6, p. 225-306.

WARD, L. D. Implements for Conservation Tillage. **Queensland Agriculture Journal**, Queensland, v.112, n.4, p.177-185, 1986.

Apêndice AA – Análise Estatística da F_{HMBT} para $V= 3 \text{ km h}^{-1}$

=====

ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011) - Homepage <http://www.assistat.com>
 Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG - Atualiz.02/05/2011

=====

QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (F1)	1	11485.25002	11485.25002	14.7997 **
Fator2 (F2)	2	31034.43776	15517.21888	19.9953 **
Int. FlxF2	2	29899.14081	14949.57040	19.2638 **
Fat x Testemun	1	544.03204	544.03204	0.7010 ns
Tratamentos	6	72962.86062	12160.47677	15.6698 **
Blocos	3	8919.35144	2973.11715	3.8311 *
Resíduo	18	13968.79664	776.04426	
Total	27	95851.00870		

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

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

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	18	8.2854	14.7997	0.0012
2	18	6.0129	19.9953	<0.001
2	18	6.0129	19.2638	<0.001
1	18	0.001	0.701032	>0.050
6	18	4.0146	15.6698	<0.001
3	18	3.1599	3.8311	0.0277

Fator 1 = Ap

Fator 2 = Av

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	718.17000
2	723.22750
3	720.94250
4	605.12250
5	651.88750
6	774.07500
Test	686.30750

DMS = 55.74612

Foi aplicado o Teste de Dunnett
 ao nível de 5% de probabilidade

Médias de bloco

1	675.99000	a
2	705.78670	a
3	704.84000	a
4	709.00000	a

DMSB = 45.49122

Médias do fator1

1	720.78000	a
2	677.02830	b

DMS1 = 23.88411

Médias do fator2

1	661.64620	b
2	687.55750	b
3	747.50870	a

DMS2 = 35.55539

MÉDIAS DE INTERAÇÃO

Médias Fator 1 x Fator 2

Fator 1	Fator 2		
	1	2	3
1	718.1700 aA	723.2275 aA	720.9425 bA
2	605.1225 bB	651.8875 bB	774.0750 aA

DMS para colunas = 41.3685 DMS para linhas = 50.2829
 Classific.c/letras minúsculas Classific.c/letras maiúsculas

PARA BLOCOS FATOR 1 FATOR 2...

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

MG = 697.10464

CV% = 3.99618

DADOS

```

-----
686.11  724.07  725.12  737.38
742.85  721.70  720.35  708.01
719.30  740.70  704.21  719.56
563.10  616.91  614.32  626.16
580.71  649.61  689.31  687.92
763.87  781.73  775.73  774.97
617.13  672.69  701.83  753.58
-----

```

SIGLAS E ABREVIACÕES

UFCG = Universidade Federal de Campina Grande

CTRN = Centro de Tecnologia e Recursos Naturais

DEAG = Departamento de Engenharia Agrícola

F.V. = Fonte de variação G.L. = Graus de liberdade

S.Q. = Soma de quadrado Q.M. = Quadrado médio

F = Estatística do teste F MG = Média geral

CV% = Coeficiente de variação em %

DMS = Diferença mínima significativa

NOTA

Quando o F fica muito próximo mas não atinge a significância poderá haver diferença significativa entre a maior e a menor média. Também poderá não haver diferença significativa entre médias quando o F é significativo porém muito próximo da não significância. Isso é limitação da aplicação conjunta dos testes F e de Tukey, citada por Frederico Pimentel Gomes no seu livro; Curso de EXTATÍSTICA EXPERIMENTAL(ver o item 3.3.

Apêndice AB – Análise Estatística da F_{HMBT} para $V= 6 \text{ km h}^{-1}$

QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (F1)	1	27921.76384	27921.76384	13.7760 **
Fator2 (F2)	2	100277.02307	50138.51154	24.7374 **
Int. F1xF2	2	7445.09313	3722.54656	1.8366 ns
Fat x Testemun	1	10204.74656	10204.74656	5.0348 *
Tratamentos	6	145848.62660	24308.10443	11.9931 **
Blocos	3	46023.56490	15341.18830	7.5690 **
Resíduo	18	36483.01023	2026.83390	
Total	27	228355.20172		

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

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

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	18	8.2854	13.7761	0.0016
2	18	6.0129	24.7374	<0.001
2	18	3.5546	1.8366	0.188
1	18	4.4139	5.0348	0.0377
6	18	4.0146	11.9931	<0.001
3	18	5.0919	7.569	0.0018

Fator 1 = Ap ou EC

Fator 2 = Av

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	861.16750
2	783.15250
3	978.56500
4	818.41250
5	739.28500
6	860.53500
Test	785.63000
DMS =	90.09081

Foi aplicado o Teste de Dunnett
ao nível de 5% de probabilidade

Médias de bloco

1	784.58000	b
2	854.42170	ab
3	851.99330	ab
4	869.75000	a

DMSB = 73.51796

Médias do fator1

1	874.29500	a
2	806.07750	b

DMS1 = 38.59890

Médias do fator2

1	839.79000	b
2	761.21880	c
3	919.55000	a

DMS2 = 57.46075

MÉDIAS DE INTERAÇÃO

Médias Fator 1 x Fator 2

Fator 1	Fator 2		
	1	2	3
1	861.1675 aB	783.1525 aB	978.5650 aA
2	818.4125 aAB	739.2850 aB	860.5350 bA
DMS para colunas = 66.8553		DMS para linhas = 81.2618	
Classific.c/letras minúsculas		Classific.c/letras maiúsculas	

PARA BLOCOS FATOR 1 FATOR 2...

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 832.39250

CV% = 5.40855

DADOS

```
-----  
845.67  866.51  862.48  870.01  
745.21  812.26  749.15  825.99  
950.35  970.05  995.18  998.68  
722.63  876.51  822.25  852.26  
677.32  757.05  769.52  753.25  
766.30  844.15  913.38  918.31  
668.88  730.89  801.57  941.18  
-----
```

Apêndice AC – Análise Estatística da F_{HMBT} para $V= 7 \text{ km h}^{-1}$

QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (F1)	1	75.36670	75.36670	0.1409 ns
Fator2 (F2)	2	79222.97586	39611.48793	74.0499 **
Int. F1xF2	2	22631.25916	11315.62958	21.1535 **
Fat x Testemun	1	47004.27507	47004.27507	87.8700 **
Tratamentos	6	148933.87679	24822.31280	46.4029 **
Blocos	3	19716.73584	6572.24528	12.2862 **
Resíduo	18	9628.73641	534.92980	
Total	27	178279.34904		

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

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

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	18	0.001	0.140891	>0.050
2	18	6.0129	74.0499	<0.001
2	18	6.0129	21.1535	<0.001
1	18	8.2854	87.87	<0.001
6	18	4.0146	46.4029	<0.001
3	18	5.0919	12.2862	<0.001

Fator 1 = Ap

Fator 2 = Av

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	886.36750	
2	862.46250	
3	1046.47250	
4	878.54250	
5	946.26250	
6	981.13000	
Test	1050.62750	

DMS = 46.28282

Foi aplicado o Teste de Dunnett
ao nível de 5% de probabilidade

Médias de bloco

1	890.96500	b
2	941.79670	a
3	948.90500	a
4	952.49160	a

DMSB = 37.76876

Médias do fator1

1	931.76750	a
2	935.31160	a

DMS1 = 19.82961

Médias do fator2

1	882.45500	b
2	904.36250	b
3	1013.80100	a

DMS2 = 29.51961

MÉDIAS DE INTERAÇÃO

Médias Fator 1 x Fator 2

		Fator 2		
Fator 1	1	2	3	
1	886.3675	862.4625	1046.4730	aB bB aA
2	878.5425	946.2625	981.1300	aB aA bA

DMS para colunas = 34.3459 DMS para linhas = 41.7470
 Classific.c/letras minúsculas Classific.c/letras maiúsculas

PARA BLOCOS FATOR 1 FATOR 2...

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 950.26643 CV% = 2.43390

DADOS

```
-----  
880.83  889.35  904.54  870.75  
809.45  874.25  883.29  882.86  
955.91  1048.13  1076.96  1104.89  
852.05  885.98   896.70  879.44  
890.29  972.43   945.42  976.91  
957.26  980.64   986.52  1000.10  
990.81  1047.40  1080.40  1083.90  
-----
```

Apêndice AD – Análise Estatística da F_{HMBT} Trifatorial

=====

ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011) - Homepage <http://www.assistat.com>
 Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG - Atualiz.04/03/2011

=====

EXPERIMENTO FATORIAL

QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (F1)	1	22465.28717	22465.28717	27.8625 **
Fator2 (F2)	2	178946.05174	89473.02587	110.9685 **
Fator3 (F3)	2	670998.29877	335499.14938	416.1012 **
Int. FlxF2	2	6092.19471	3046.09736	3.7779 *
Int. FlxF3	2	15038.93402	7519.46701	9.3260 **
Int. F2xF3	4	36439.95508	9109.98877	11.2986 **
Int.FlxF2x3	4	52483.38206	13120.84552	16.2731 **
Tratamentos	17	982464.10356	57792.00609	71.6762 **
Blocos	3	41311.03295	13770.34432	17.0786 **
Resíduo	51	41120.90593	806.29227	
Total	71	1064896.04243		

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

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

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	51	7.1607	27.8625	<0.001
2	51	5.0484	110.9685	<0.001
2	51	3.1791	3.7779	0.0295
2	51	5.0484	416.1012	<0.001
2	51	5.0484	9.326	<0.001
4	51	3.7123	11.2986	<0.001
4	51	3.7123	16.2731	<0.001
17	51	2.3396	71.6763	<0.001
3	51	4.1918	17.0786	<0.001

Fator 1 = Ap

Fator 2 = Av

Fator 3 = Velocidade

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de bloco

1	783.84500	b
2	834.00110	a
3	835.20610	a
4	845.41390	a

DMSB = 25.14931

Médias do fator1

1	842.28060	a
2	806.95250	b

DMS1 = 13.44322

Médias do fator2

1	794.63040	b
2	784.34960	b
3	894.86960	a

DMS2 = 19.78879

Médias do fator3

1	698.87410	c
2	841.43590	b
3	933.53960	a

DMS3 = 19.78879

MÉDIAS DE INTERAÇÃO

Médias Fator 1 x Fator 2

Fator 1	Fator 2		
	1	2	3
1	821.9017 aB	789.6142 aC	915.3258 aA
2	767.3592 bB	779.0850 aB	874.4133 bA

DMS para colunas = 23.2843 DMS para linhas = 27.9856
 Classific.c/letras minúsculas Classific.c/letras maiúsculas

Médias Fator 1 x Fator 3

		Fator 3				
Fator 1		1	2	3		
1	720.7800	aC	874.2942	aB	931.7675	aA
2	676.9683	bC	808.5775	bB	935.3116	aA
DMS para colunas =		23.2843	DMS para linhas =		27.9856	
Classific.c/letras minúsculas			Classific.c/letras maiúsculas			

Médias Fator 2 x Fator 3

		Fator 3				
Fator 2		1	2	3		
1	661.6462	bC	839.7900	bB	882.4550	bA
2	687.4675	bC	761.2188	cB	904.3625	bA
3	747.5087	aC	923.2988	aB	1013.8010	aA
DMS para colunas =		34.2752	DMS para linhas =		34.2752	
Classific.c/letras minúsculas			Classific.c/letras maiúsculas			

PARA BLOCOS FATOR 1 FATOR 2, FATOR 3...

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 824.61653 CV% = 3.44345

DADOS

686.11	724.07	725.12	737.38
845.67	866.51	862.48	870.01
880.83	889.35	904.54	870.75
742.85	721.70	720.35	708.01
745.21	812.26	749.15	825.99
809.45	874.25	883.29	882.86
719.30	740.70	704.21	719.56
950.35	970.04	995.18	998.68
955.91	1048.13	1076.96	1104.89
563.10	616.91	614.32	626.16
722.63	876.51	822.25	852.26
852.05	885.98	896.70	879.44
580.71	649.61	688.59	687.92
677.32	757.05	769.52	753.25
890.29	972.43	945.42	976.91
763.87	781.73	775.73	774.97
766.30	844.15	913.38	948.31
957.26	980.64	986.52	1000.10

Apêndice AE – Análise Estatística da Asm para V= 3 km h⁻¹

=====				
EXPERIMENTO FATORIAL				
QUADRO DE ANÁLISE				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1(F1)	1	23034.86920	23034.86920	6.5130 *
Fator2(F2)	2	69706.17816	34853.08908	9.8546 **
Int. F1xF2	2	138831.14686	69415.57343	19.6270 **
Fat x Testemun	1	16406.53121	16406.53121	4.6389 *
Tratamentos	6	247978.72544	41329.78757	11.6859 **
Blocos	3	24014.09952	8004.69984	2.2633 ns
Resíduo	18	63661.19005	3536.73278	
Total	27	335654.01501		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	18	4.4139	6.513	0.02
2	18	6.0129	9.8546	0.0013
2	18	6.0129	19.627	<0.001
1	18	4.4139	4.6389	0.0451
6	18	4.0146	11.6859	<0.001
3	18	3.1599	2.2633	0.1159

Fator 1 = Ap
 Fator 2 = Av

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	721.07000
2	998.08500
3	775.45000
4	862.68750
5	847.16000
6	970.64000
Test	793.34000

DMS = 119.00700

Foi aplicado o Teste de Dunnett
 ao nível de 5% de probabilidade

Médias de bloco

1	828.52830	a
2	874.19830	a
3	868.65670	a
4	878.67830	a

DMSB = 97.11481

Médias do fator1

1	831.53500	b
2	893.49580	a

DMS1 = 50.98788

Médias do fator2

1	791.87870	b
2	922.62250	a
3	873.04500	a

DMS2 = 75.90376

MÉDIAS DE INTERAÇÃO

Médias Fator 1 x Fator 2

Fator 1	Fator 2		
	1	2	3
1	721.0700 bB	998.0850 aA	775.4500 bB
2	862.6875 aB	847.1600 bB	970.6400 aA

DMS para colunas = 88.3136 DMS para linhas = 107.3441
 Classific.c/letras minúsculas Classific.c/letras maiúsculas

PARA BLOCOS FATOR 1 FATOR 2...

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 852.63321 CV% = 6.97491

DADOS

```
-----  
677.97  714.43  731.22  760.66  
1021.65 994.65  997.00  979.04  
787.98  810.45  692.50  810.87  
863.22  922.11  825.12  840.30  
730.02  821.52  936.10  901.00  
890.33  982.03  1030.00 980.20  
650.32  780.45  866.12  876.47  
-----
```

Apêndice AF – Análise Estatística da Asm para V= 6 km h⁻¹

EXPERIMENTO FATORIAL QUADRO DE ANÁLISE				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (F1)	1	2791.80510	2791.80510	1.6067 ns
Fator2 (F2)	2	30477.91856	15238.95928	8.7700 **
Int. F1xF2	2	90757.38741	45378.69370	26.1152 **
Fat x Testemun	1	141.51521	141.51521	0.0814 ns
Tratamentos	6	124168.62629	20694.77105	11.9098 **
Blocos	3	27302.01081	9100.67027	5.2374 **
Resíduo	18	31277.37791	1737.63211	
Total	27	182748.01501		

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

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

ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	18	4.4139	1.6067	0.221
2	18	6.0129	8.77	0.0022
2	18	6.0129	26.1153	<0.001
1	18	0.001	0.081441	>0.050
6	18	4.0146	11.9098	<0.001
3	18	5.0919	5.2374	0.0089

Fator 1 = Ap

Fator 2 = Av

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	754.81000	
2	959.65000	
3	821.46750	
4	856.72500	
5	807.45250	
6	936.46250	
Test	849.67000	

DMS = 83.41619

Foi aplicado o Teste de Dunnett
ao nível de 5% de probabilidade

Médias de bloco

1	812.72670	b
2	893.61830	a
3	850.56670	ab
4	867.46670	ab

DMSB = 68.07118

Médias do fator1

1	845.30910	a
2	866.88000	a

DMS1 = 35.73919

Médias do fator2

1	805.76750	b
2	883.55130	a
3	878.96500	a

DMS2 = 53.20361

MÉDIAS DE INTERAÇÃO
Médias Fator 1 x Fator 2

Fator 1	Fator 2		
	1	2	3
1	754.8100 bB	959.6500 aA	821.4675 bB
2	856.7250 aB	807.4525 bB	936.4625 aA

DMS para colunas = 61.9021 DMS para linhas = 75.2413
 Classific.c/letras minúsculas Classific.c/letras maiúsculas

PARA BLOCOS FATOR 1 FATOR 2...

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 855.17679 CV% = 4.87442

DADOS

765.11	754.63	743.90	755.60
910.35	997.65	920.20	1010.40
820.00	835.12	815.32	815.43
730.50	966.10	860.10	870.20
763.00	876.04	810.00	780.77
887.40	932.17	953.88	972.40
765.09	883.21	897.50	852.88

Apêndice AG – Análise Estatística da Asm para $V= 7 \text{ km h}^{-1}$

EXPERIMENTO FATORIAL QUADRO DE ANÁLISE				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (F1)	1	8390.69010	8390.69010	2.6930 ns
Fator2 (F2)	2	13767.02943	6883.51472	2.2093 ns
Int. F1xF2	2	26618.62763	13309.31382	4.2717 *
Fat x Testemun	1	18381.35800	18381.35800	5.8995 *
Tratamentos	6	67157.70517	11192.95086	3.5924 *
Blocos	3	27280.88233	9093.62744	2.9186 ns
Resíduo	18	56082.99857	3115.72214	
Total	27	150521.58607		

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

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

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	18	4.4139	2.693	0.118
2	18	3.5546	2.2093	0.1387
2	18	3.5546	4.2717	0.0303
1	18	4.4139	5.8996	0.0258
6	18	2.6613	3.5924	0.0161
3	18	3.1599	2.9186	0.0623

Fator 1 = Ap

Fator 2 = Av

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	781.19250
2	882.22000
3	804.23750
4	833.62500
5	831.56750
6	914.64500
Test	768.02750

DMS = 111.69940

Foi aplicado o Teste de Dunnett
ao nível de 5% de probabilidade

Médias de bloco

1	789.39000 a
2	836.92170 a
3	877.85330 a
4	860.82670 a

DMSB = 91.15148

Médias do fator1

1	822.55000 a
2	859.94590 a

DMS1 = 47.85697

Médias do fator2

1	807.40880 a
2	856.89370 a
3	859.44120 a

DMS2 = 71.24290

MÉDIAS DE INTERAÇÃO
Médias Fator 1 x Fator 2

Fator 1	Fator 2		
	1	2	3
1	781.1925 aB	882.2200 aA	804.2375 bAB
2	833.6250 aA	831.5675 aA	914.6450 aA

DMS para colunas = 82.8907 DMS para linhas = 100.7527
 Classific.c/letras minúsculas Classific.c/letras maiúsculas

PARA BLOCOS FATOR 1 FATOR 2...

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 830.78786 CV% = 6.71876

DADOS

690.33	720.70	943.74	770.00
843.80	866.40	915.70	902.98
749.50	788.10	815.25	864.10
712.20	856.30	910.78	855.22
855.21	868.98	745.32	856.76
885.30	921.05	936.33	915.90
743.10	754.21	790.20	784.60

Apêndice AH – Análise Estatística Trifatorial da Asm

EXPERIMENTO TRIFATORIAL QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (F1)	1	29246.92051	29246.92051	10.6539 **
Fator2 (F2)	2	99408.08839	49704.04419	18.1059 **
Fator3 (F3)	2	5711.65734	2855.82867	1.0403 ns
Int. FlxF2	2	230519.80142	115259.90071	41.9862 **
Int. FlxF3	2	4970.44390	2485.22195	0.9053 ns
Int. F2xF3	4	14543.03776	3635.75944	1.3244 ns
Int.FlxF2x3	4	25687.36048	6421.84012	2.3393 ns
Tratamentos	17	410087.30981	24122.78293	8.7873 **
Blocos	3	44630.34085	14876.78028	5.4192 **
Resíduo	51	140004.52848	2745.18683	
Total	71	594722.17913		

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

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

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	51	7.1607	10.6539	0.002
2	51	5.0484	18.1059	<0.001
2	51	5.0484	41.9862	<0.001
2	51	3.1791	1.0403	0.3607
2	51	0.0253	0.9053	>0.050
4	51	2.5537	1.3244	0.2735
4	51	2.5537	2.3393	0.0675
17	51	2.3396	8.7873	<0.001
3	51	4.1918	5.4192	0.0026

Fator 1 = Ap

Fator 2 = Av

Fator 3 = V

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de bloco

1	810.21500	b
2	868.24610	a
3	865.69220	a
4	868.99050	a

DMSB =	46.40510	

Médias do fator1

1	833.13140	b
2	873.44060	a

DMS1 = 24.80521

Médias do fator2

1	801.68500	b
2	887.68910	a
3	870.48380	a

DMS2 = 36.51395

Médias do fator3

1	862.51540	a
2	856.09460	a
3	841.24790	a

DMS3 = 36.51395

MÉDIAS DE INTERAÇÃO

Médias Fator 1 x Fator 2

		Fator 2	
Fator 1	-----	1	2
		1	2
1	752.3575	bB	946.6517 aA
2	851.0125	aB	828.7267 bB
		3	
			800.3850 bB
			940.5825 aA
DMS para colunas = 42.9639		DMS para linhas = 51.6385	
Classific.c/letras minúsculas		Classific.c/letras maiúsculas	

Médias Fator 1 x Fator 3

		Fator 3	
Fator 1	-----	1	2
		1 <td>2 </td>	2
1	831.5350		845.3091
2	893.4958		866.8800
		3	
			822.5500
			859.9459

Não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo

Médias Fator 2 x Fator 3

		Fator 3		
Fator 2	1	2	3	
1	791.8787	805.7675	807.4088	
2	922.6225	883.5513	856.8937	
3	873.0450	878.9650	859.4412	

Não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo

PARA BLOCOS FATOR 1 FATOR 2, FATOR 3...

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 853.28597

CV% = 6.14032

DADOS

677.97	714.43	731.22	760.66
765.11	754.63	743.90	755.60
690.33	720.70	943.74	770.00
1021.65	994.65	997.00	979.04
910.35	997.65	920.20	1010.40
843.80	866.40	915.70	902.98
787.98	810.45	692.50	810.87
820.00	835.12	815.32	815.43
749.50	788.10	815.25	864.10
863.22	922.11	825.12	840.30
730.50	966.10	860.10	870.20
712.20	856.30	910.78	855.22
730.02	821.52	936.10	901.00
763.00	876.04	810.00	780.77
855.21	868.98	745.32	856.76
890.33	982.03	1030.00	980.20
887.40	932.17	953.88	972.40
885.30	921.05	936.33	915.90

Apêndice AI – Análise Estatística da Resp para V= 3 km h⁻¹

EXPERIMENTO FATORIAL QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (F1)	1	0.09500	0.09500	48.4049 **
Fator2 (F2)	2	0.06430	0.03215	16.3805 **
Int. F1xF2	2	0.11573	0.05787	29.4832 **
Fat x Testemun	1	0.00815	0.00815	4.1515 ns
Tratamentos	6	0.28319	0.04720	24.0473 **
Blocos	3	0.00250	0.00083	0.4240 ns
Resíduo	18	0.03533	0.00196	
Total	27	0.32101		

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

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

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	18	8.2854	48.4049	<0.001
2	18	6.0129	16.3805	<0.001
2	18	6.0129	29.4832	<0.001
1	18	4.4139	4.1515	0.0564
6	18	4.0146	24.0473	<0.001
3	18	0.0707	0.424	>0.050

Fator 1 = Ap

Fator 2 = Av

MÉDIAS E MEDIDAS Médias de tratamento

1	0.99500	
2	0.72500	
3	0.93250	
4	0.70250	
5	0.77250	
6	0.80000	
Test	0.87000	

DMS = 0.08865

Foi aplicado o Teste de Dunnett
ao nível de 5% de probabilidade

Médias de bloco

1	0.82667 a
2	0.81833 a
3	0.82667 a
4	0.81333 a

DMSB = 0.07235

Médias do fator1

1	0.88417 a
2	0.75833 b

DMS1 = 0.03798

Médias do fator2

1	0.84875 a
2	0.74875 b
3	0.86625 a

DMS2 = 0.05654

MÉDIAS DE INTERAÇÃO
Médias Fator 1 x Fator 2

Fator 1	Fator 2		
	1	2	3
1	0.9950 aA	0.7250 aB	0.9325 aA
2	0.7025 bB	0.7725 aAB	0.8000 bA

DMS para colunas = 0.0658 DMS para linhas = 0.0800
 Classific.c/letras minúsculas Classific.c/letras maiúsculas

PARA BLOCOS FATOR 1 FATOR 2...

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 0.82821

CV% = 5.34914

DADOS

1.01	1.01	.99	.97
.73	.73	.72	.72
.91	.91	1.02	.89
.65	.67	.74	.75
.80	.79	.74	.76
.86	.80	.75	.79
.95	.86	.81	.86

Apêndice AJ – Análise Estatística da Resp para V= 6 km h⁻¹

ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011) – Homepage <http://www.assistat.com>
 Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG – Atualiz.04/05/2011

=====

EXPERIMENTO FATORIAL
 QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1(F1)	1	0.08402	0.08402	38.4530 **
Fator2(F2)	2	0.18752	0.09376	42.9135 **
Int. FlxF2	2	0.15111	0.07555	34.5798 **
Fat x Testemun	1	0.01562	0.01562	7.1497 *
Tratamentos	6	0.43827	0.07305	33.4315 **
Blocos	3	0.02610	0.00870	3.9813 *
Resíduo	18	0.03933	0.00218	
Total	27	0.50370		

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

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

ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	18	8.2854	38.453	<0.001
2	18	6.0129	42.9135	<0.001
2	18	6.0129	34.5798	<0.001
1	18	4.4139	7.1497	0.0155
6	18	4.0146	33.4315	<0.001
3	18	3.1599	3.9813	0.0244

Fator 1 = Ap

Fator 2 = Av

MÉDIAS E MEDIDAS
 Médias de tratamento

1	1.14250	
2	0.81500	
3	1.19000	
4	0.96000	
5	0.91500	
6	0.91750	
Test	0.92250	

DMS = 0.09354

Foi aplicado o Teste de Dunnett
 ao nível de 5% de probabilidade

Médias de bloco

1	0.97167 a
2	0.96667 a
3	1.01000 a
4	1.01167 a

DMSB = 0.07633
Médias do fator1

1	1.04917 a
2	0.93083 b

DMS1 = 0.04008
Médias do fator2

1	1.05125 a
2	0.86500 b
3	1.05375 a

DMS2 = 0.05966

MÉDIAS DE INTERAÇÃO
Médias Fator 1 x Fator 2

Fator 1	Fator 2		
	1	2	3
1	1.1425 aA	0.8150 bB	1.1900 aA
2	0.9600 bA	0.9150 aA	0.9175 bA

DMS para colunas = 0.0694 DMS para linhas = 0.0844
Classific.c/letras minúsculas Classific.c/letras maiúsculas

PARA BLOCOS FATOR 1 FATOR 2...

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 0.98036 CV% = 4.76797

DADOS

1.11	1.15	1.16	1.15
.82	.81	.81	.82
1.16	1.16	1.22	1.22
.99	.91	.96	.98
.89	.86	.95	.96
.86	.91	.96	.94
.87	.83	.89	1.10

Apêndice AK – Análise Estatística da Resp para V= 7 km h⁻¹

ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011) – Homepage <http://www.assistat.com>
 Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG – Atualiz.04/05/2011

=====

EXPERIMENTO FATORIAL
 QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (F1)	1	0.01654	0.01654	2.5894 ns
Fator2 (F2)	2	0.06551	0.03275	5.1287 *
Int. FlxF2	2	0.16222	0.08111	12.7006 **
Fat x Testemun	1	0.21500	0.21500	33.6648 **
Tratamentos	6	0.45927	0.07655	11.9855 **
Blocos	3	0.00674	0.00225	0.3519 ns
Resíduo	18	0.11496	0.00639	
Total	27	0.58097		

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

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

ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	18	4.4139	2.5894	0.1248
2	18	3.5546	5.1287	0.0173
2	18	6.0129	12.7006	<0.001
1	18	8.2854	33.6648	<0.001
6	18	4.0146	11.9855	<0.001
3	18	0.0707	0.3519	>0.050

Fator 1 = Ap

Fator 2 = Av

MÉDIAS E MEDIDAS
 Médias de tratamento

1	1.15000	
2	0.97750	
3	1.30250	
4	1.06000	
5	1.14250	
6	1.07000	
Test	1.36750	

DMS = 0.15992

Foi aplicado o Teste de Dunnett
 ao nível de 5% de probabilidade

Médias de bloco

1	1.14000 a
2	1.13000 a
3	1.09000 a
4	1.10833 a

DMSB = 0.13050

Médias do fator1

1	1.14333 a
2	1.09083 a

DMS1 = 0.06852

Médias do fator2

1	1.10500 ab
2	1.06000 b
3	1.18625 a

DMS2 = 0.10200

MÉDIAS DE INTERAÇÃO
Médias Fator 1 x Fator 2

		Fator 2		
Fator 1	1	2	3	
1	1.1500 aB	0.9775 bC	1.3025 aA	
2	1.0600 aA	1.1425 aA	1.0700 bA	

DMS para colunas = 0.1187 DMS para linhas = 0.1442
 Classific.c/letras minúsculas Classific.c/letras maiúsculas

PARA BLOCOS FATOR 1 FATOR 2...

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 1.15286 CV% = 6.93196

DADOS

1.28	1.23	.96	1.13
.96	1.01	.96	.98
1.28	1.33	1.32	1.28
1.20	1.03	.98	1.03
1.04	1.12	1.27	1.14
1.08	1.06	1.05	1.09
1.33	1.39	1.37	1.38

Apêndice AL – Análise Estatística Trifatorial da Resp

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Fator1 (F1)	1	0.17209	0.17209	51.3281	**
Fator2 (F2)	2	0.27771	0.13885	41.4153	**
Fator3 (F3)	2	1.05831	0.52915	157.8282	**
Int. F1xF2	2	0.36834	0.18417	54.9309	**
Int. F1xF3	2	0.01880	0.00940	2.8041	ns
Int. F2xF3	4	0.04486	0.01121	3.3449	*
Int.F1x2x3	4	0.05470	0.01367	4.0786	**
Tratamentos	17	1.99480	0.11734	34.9988	**
Blocos	3	0.00081	0.00027	0.0806	ns
Resíduo	51	0.17099	0.00335		
Total	71	2.16660			

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

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

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	51	7.1607	51.3281	<0.001
2	51	5.0484	41.4153	<0.001
2	51	5.0484	54.9309	<0.001
2	51	5.0484	157.8282	<0.001
2	51	3.1791	2.8041	0.0699
4	51	2.5537	3.3449	0.0166
4	51	3.7123	4.0786	0.0061
17	51	2.3396	34.9988	<0.001
3	51	0.071	0.0806	>0.050

Fator 1 = Ap

Fator 2 = Av

Fator 3 = Vel

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de bloco

1	0.97944 a
2	0.97167 a
3	0.97556 a
4	0.98000 a

DMSB = 0.05128

Médias do fator1

1	1.02556 a
2	0.92778 b
DMS1 = 0.02741	

Médias do fator2

1	1.00167 a
2	0.89125 b
3	1.03708 a
DMS2 = 0.04035	

Médias do fator3

1	0.82125 c
2	0.99167 b
3	1.11708 a
DMS3 = 0.04035	

MÉDIAS DE INTERAÇÃO

Médias Fator 1 x Fator 2

Fator 1	Fator 2		
	1	2	3
1	1.0958 aA	0.8392 bB	1.1417 aA
2	0.9075 bA	0.9433 aA	0.9325 bA
DMS para colunas = 0.0475		DMS para linhas = 0.0571	
Classific.c/letras minúsculas		Classific.c/letras maiúsculas	

Médias Fator 1 x Fator 3

Fator 1	Fator 3		
	1	2	3
1	0.8842 aC	1.0492 aB	1.1433 aA
2	0.7583 bC	0.9342 bB	1.0908 bA
DMS para colunas = 0.0475		DMS para linhas = 0.0571	
Classific.c/letras minúsculas		Classific.c/letras maiúsculas	

Médias Fator 2 x Fator 3

		Fator 3		
Fator 2	1	2	3	
1	0.8488 aB	1.0513 aA	1.1050 bA	
2	0.7488 bC	0.8650 bB	1.0600 bA	
3	0.8663 aC	1.0588 aB	1.1863 aA	
DMS para colunas =		0.0699	DMS para linhas =	
Classific.c/letras minúsculas			0.0699	
		Classific.c/letras maiúsculas		

PARA BLOCOS FATOR 1 FATOR 2, FATOR 3...

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 0.97667

CV% = 5.92860

DADOS

1.01	1.01	.99	.97
1.11	1.15	1.16	1.15
1.28	1.23	.96	1.13
.73	.73	.72	.72
.82	.81	.81	.82
.96	1.01	.96	.98
.91	.91	1.02	.89
1.16	1.16	1.22	1.22
1.28	1.33	1.32	1.28
.65	.67	.74	.75
.99	.91	.96	.98
1.20	1.03	.98	1.03
.80	.79	.74	.76
.89	.86	.95	.96
1.04	1.12	1.27	1.14
.86	.80	.75	.79
.86	.91	.96	.98
1.08	1.06	1.05	1.09

Apêndice AM – Análise Estatística do Chc para V= 3 km h⁻¹

ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011) – Homepage <http://www.assistat.com>
 Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG – Atualiz.30/03/2011

EXPERIMENTO FATORIAL QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (F1)	1	0.51920	0.51920	12.6789 **
Fator2 (F2)	2	0.37541	0.18770	4.5837 *
Int. FlxF2	2	2.75551	1.37775	33.6445 **
Fat x Testemun	1	0.06057	0.06057	1.4792 ns
Tratamentos	6	3.71069	0.61845	15.1024 **
Blocos	3	0.87414	0.29138	7.1155 **
Resíduo	18	0.73711	0.04095	
Total	27	5.32194		

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

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

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	18	8.2854	12.6789	0.0022
2	18	3.5546	4.5837	0.0246
2	18	6.0129	33.6445	<0.001
1	18	4.4139	1.4792	0.2395
6	18	4.0146	15.1024	<0.001
3	18	5.0919	7.1155	0.0024

Fator 1 = N Hastes

Fator 2 = Av Prog

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	5.69000	
2	5.04500	
3	4.76750	
4	4.61500	
5	4.66000	
6	5.34500	
Test	4.88750	

DMS = 0.40495

Foi aplicado o Teste de Dunnett
 ao nível de 5% de probabilidade

Médias de bloco

1	5.25667	a
2	5.16833	ab
3	4.88167	bc
4	4.77500	c

DMSB = 0.33046

Médias do fator1

1	5.16750	a
2	4.87333	b

DMS1 = 0.17350

Médias do fator2

1	5.15250	a
2	4.85250	b
3	5.05625	ab

DMS2 = 0.25828

MÉDIAS DE INTERAÇÃO
Médias Fator 1 x Fator 2

		Fator 2		
Fator 1	1	2	3	
1	5.6900 aA	5.0450 aB	4.7675 bB	
2	4.6150 bB	4.6600 bB	5.3450 aA	
DMS para colunas = 0.3005		DMS para linhas = 0.3653		
Classific.c/letras minúsculas		Classific.c/letras maiúsculas		

PARA BLOCOS FATOR 1 FATOR 2...

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 5.00143 CV% = 4.04608

DADOS

6.04	5.79	5.53	5.40
5.14	5.27	5.01	4.76
5.40	4.98	4.45	4.24
4.95	4.73	4.39	4.39
4.50	4.73	4.73	4.68
5.51	5.51	5.18	5.18
4.89	5.01	4.76	4.89

Apêndice AN – Análise Estatística do Chc para V= 6 km h⁻¹

ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011) – Homepage <http://www.assistat.com>
 Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG – Atualiz.30/03/2011

EXPERIMENTO FATORIAL QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (F1)	1	0.98010	0.98010	13.5959 **
Fator2 (F2)	2	8.07896	4.03948	56.0353 **
Int. FlxF2	2	1.39631	0.69815	9.6847 **
Fat x Testemun	1	1.30910	1.30910	18.1597 **
Tratamentos	6	11.76447	1.96075	27.1993 **
Blocos	3	1.28804	0.42935	5.9559 **
Resíduo	18	1.29759	0.07209	
Total	27	14.35010		

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

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

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	18	8.2854	13.5959	0.0017
2	18	6.0129	56.0353	<0.001
2	18	6.0129	9.6847	0.0014
1	18	8.2854	18.1597	<0.001
6	18	4.0146	27.1993	<0.001
3	18	5.0919	5.9559	0.0053

Fator 1 = N Hastes

Fator 2 = Av Prog

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	8.54250	
2	7.25750	
3	9.11500	
4	8.34250	
5	7.31500	
6	8.04500	
Test	7.48500	

DMS = 0.53728

Foi aplicado o Teste de Dunnett
ao nível de 5% de probabilidade

Médias de bloco

1	8.31000	a
2	8.36833	a
3	7.93000	ab
4	7.80333	b

DMSB = 0.43845

Médias do fator1

1	8.30500	a
2	7.90083	b

DMS1 = 0.23020

Médias do fator2

1	8.44250	a
2	7.28625	b
3	8.58000	a

DMS2 = 0.34268

MÉDIAS DE INTERAÇÃO
Médias Fator 1 x Fator 2

		Fator 2		
Fator 1	1	2	3	
1	8.5425 aB	7.2575 aC	9.1150 aA	
2	8.3425 aA	7.3150 aB	8.0450 bA	

DMS para colunas = 0.3987 DMS para linhas = 0.4846
Classific.c/letras minúsculas Classific.c/letras maiúsculas

PARA BLOCOS FATOR 1 FATOR 2...

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 8.01464 CV% = 3.35002

DADOS

8.74	8.55	8.55	8.33
7.65	7.88	6.75	6.75
9.45	9.23	9.00	8.78
8.49	8.80	8.20	7.88
7.65	7.65	6.98	6.98
7.88	8.10	8.10	8.10
7.88	7.20	7.43	7.43

Apêndice AO – Análise Estatística do Chc para V= 7 km h⁻¹

ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011) – Homepage <http://www.assistat.com>
 Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG – Atualiz.31/03/2011

=====

EXPERIMENTO FATORIAL
 QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (F1)	1	2.51554	2.51554	13.4084 **
Fator2 (F2)	2	5.53427	2.76714	14.7495 **
Int. FlxF2	2	6.51978	3.25989	17.3760 **
Fat x Testemun	1	0.17551	0.17551	0.9355 ns
Tratamentos	6	14.74509	2.45752	13.0991 **
Blocos	3	0.91601	0.30534	1.6275 ns
Resíduo	18	3.37696	0.18761	
Total	27	19.03807		

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

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

ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	18	8.2854	13.4084	0.0018
2	18	6.0129	14.7495	<0.001
2	18	6.0129	17.376	<0.001
1	18	0.001	0.935484	>0.050
6	18	4.0146	13.0991	<0.001
3	18	3.1599	1.6275	0.2182

Fator 1 = N Hastes

Fator 2 = Av Prog

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	9.52500
2	9.00000
3	11.25000
4	9.67500
5	9.02750
6	9.13000
Test	9.37500

DMS = 0.86676

Foi aplicado o Teste de Dunnett
 ao nível de 5% de probabilidade

Médias de bloco

1	9.90333	a
2	9.74333	a
3	9.40000	a
4	9.35833	a

DMSB = 0.70731

Médias do fator1

1	9.92500	a
2	9.27750	b

DMS1 = 0.37136

Médias do fator2

1	9.60000	b
2	9.01375	c
3	10.19000	a

DMS2 = 0.55283

MÉDIAS DE INTERAÇÃO
Médias Fator 1 x Fator 2

		Fator 2		
Fator 1	1	2	3	
1	9.5250 aB	9.0000 aB	11.2500 aA	
2	9.6750 aA	9.0275 aA	9.1300 bA	
DMS para colunas = 0.6432		DMS para linhas = 0.7818		
Classific.c/letras minúsculas		Classific.c/letras maiúsculas		

PARA BLOCOS FATOR 1 FATOR 2...

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 9.56893

CV% = 4.52651

DADOS

9.90	9.60	9.30	9.30
9.30	9.00	9.30	8.40
10.80	11.57	11.57	11.06
10.03	9.77	9.00	9.90
10.13	9.26	8.23	8.49
9.26	9.26	9.00	9.00
9.26	9.26	9.26	9.72

Apêndice AP – Análise Estatística Trifatorial do Chc

ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011) – Homepage <http://www.assistat.com>
 Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG – Atualiz.05/04/2011

=====

EXPERIMENTO FATORIAL
 QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (F1)	1	3.86883	3.86883	40.7202 **
Fator2 (F2)	2	10.82179	5.41089	56.9507 **
Fator3 (F3)	2	264.04334	132.02167	1389.5540 **
Int. F1xF2	2	2.06742	1.03371	10.8800 **
Int. F1xF3	2	0.50781	0.25391	2.6724 ns
Int. F2xF3	4	3.82701	0.95675	10.0700 **
Int.F1x2x3	4	9.42362	2.35591	24.7964 **
Tratamentos	17	294.55982	17.32705	182.3706 **
Blocos	3	3.22456	1.07485	11.3130 **
Resíduo	51	4.84552	0.09501	
Total	71	302.62990		

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

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

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	51	7.1607	40.7203	<0.001
2	51	5.0484	56.9507	<0.001
2	51	5.0484	10.88	<0.001
2	51	5.0484	1389.554	<0.001
2	51	3.1791	2.6724	0.0788
4	51	3.7123	10.07	<0.001
4	51	3.7123	24.7964	<0.001
17	51	2.3396	182.3706	<0.001
3	51	4.1918	11.313	<0.001

Fator 1 = N Hastes

Fator 2 = Av Prog

Fator 3 = Velocidade

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de bloco

1	7.82333	a
2	7.76000	a
3	7.40389	b
4	7.34222	b

DMSB = 0.27300

Médias do fator1

1	7.81417	a
2	7.35056	b

DMS1 = 0.14593

Médias do fator2

1	7.73167	b
2	7.05083	c
3	7.96458	a

DMS2 = 0.21481

Médias do fator3

1	5.02042	c
2	8.10292	b
3	9.62375	a

DMS3 = 0.21481

MÉDIAS DE INTERAÇÃO

Médias Fator 1 x Fator 2

Fator 1	Fator 2		
	1	2	3
1	7.9192 aB	7.1008 aC	8.4225 aA
2	7.5442 bA	7.0008 aB	7.5067 bA

DMS para colunas = 0.2528 DMS para linhas = 0.3038
 Classific.c/letras minúsculas Classific.c/letras maiúsculas

Médias Fator 1 x Fator 3

		Fator 3		
Fator 1	1	2	3	
1	5.1675 aC	8.3050 aB	9.9700 aA	
2	4.8733 bc	7.9008 bB	9.2775 bA	
DMS para colunas =		0.2528	DMS para linhas = 0.3038	
Classific.c/letras minúsculas			Classific.c/letras maiúsculas	

Médias Fator 2 x Fator 3

		Fator 3		
Fator 2	1	2	3	
1	5.1525 aC	8.4425 aB	9.6000 bA	
2	4.8525 aC	7.2863 bB	9.0138 cA	
3	5.0563 aC	8.5800 aB	10.2575 aA	
DMS para colunas =		0.3721	DMS para linhas = 0.3721	
Classific.c/letras minúsculas			Classific.c/letras maiúsculas	

PARA BLOCOS FATOR 1 FATOR 2, FATOR 3...

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 7.58236 CV% = 4.06519

DADOS

6.04	5.79	5.53	5.40
8.74	8.55	8.55	8.33
9.90	9.60	9.30	9.30
5.14	5.27	5.01	4.76
7.65	7.88	6.75	6.75
9.30	9.00	9.30	8.40
5.40	4.98	4.45	4.24
9.45	9.23	9.00	8.78
10.80	11.57	11.57	11.60
4.95	4.73	4.39	4.39
8.49	8.80	8.20	7.88
10.03	9.77	9.00	9.90
4.50	4.73	4.73	4.68
7.65	7.65	6.98	6.98
10.13	9.26	8.23	8.49
5.51	5.51	5.18	5.18
7.88	8.10	8.10	8.10
9.26	9.26	9.00	9.00

Apêndice AQ – Análise Estatística da Patinagem para $V= 3 \text{ km h}^{-1}$

ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011) – Homepage <http://www.assistat.com>
 Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG – Atualiz.30/03/2011

EXPERIMENTO FATORIAL QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (F1)	1	8.10844	8.10844	10.9078 **
Fator2 (F2)	2	36.81266	18.40633	24.7610 **
Int. FlxF2	2	14.15868	7.07934	9.5234 **
Fat x Testemun	1	0.11787	0.11787	0.1586 ns
Tratamentos	6	59.19764	9.86627	13.2725 **
Blocos	3	2.57523	0.85841	1.1548 ns
Resíduo	18	13.38047	0.74336	
Total	27	75.15334		

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

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

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	18	8.2854	10.9078	0.004
2	18	6.0129	24.761	<0.001
2	18	6.0129	9.5234	0.0015
1	18	0.001	0.158567	>0.050
6	18	4.0146	13.2726	<0.001
3	18	3.1599	1.1548	0.3542

Fator 1 = N Hastes

Fator 2 = Av Prog

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	10.79500
2	6.84750
3	10.07500
4	9.66000
5	7.55250
6	7.01750
Test	8.47250

DMS = 1.72533

Foi aplicado o Teste de Dunnett
 ao nível de 5% de probabilidade

Médias de bloco

1	8.95833 a
2	8.03000 a
3	8.98667 a
4	8.65667 a

DMSB =	1.40794

Médias do fator1

1	9.23917 a
2	8.07667 b

DMS1 =	0.73921

Médias do fator2

1	10.22750 a
2	7.20000 c
3	8.54625 b

DMS2 =	1.10043

MÉDIAS DE INTERAÇÃO
Médias Fator 1 x Fator 2

		Fator 2		
Fator 1	1	2	3	
1	10.7950 aA	6.8475 aB	10.0750 aA	
2	9.6600 aA	7.5525 aB	7.0175 bB	
DMS para colunas =		1.2803	DMS para linhas =	1.5562
Classific.c/letras minúsculas			Classific.c/letras maiúsculas	

PARA BLOCOS FATOR 1 FATOR 2...

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 8.63143 CV% = 9.98888

DADOS

11.29	10.03	10.76	11.10
6.76	6.70	6.97	6.96
9.72	8.72	10.56	11.30
10.75	8.43	10.50	8.96
7.74	6.69	7.32	8.46
7.49	7.61	7.81	5.16
8.50	8.64	7.66	9.09

Apêndice AR – Análise Estatística da Patinagem para V= 6 km h⁻¹

ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011) – Homepage <http://www.assistat.com>
 Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG – Atualiz.30/03/2011

EXPERIMENTO FATORIAL QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (F1)	1	0.24604	0.24604	0.3196 ns
Fator2 (F2)	2	58.21072	29.10536	37.8029 **
Int. FlxF2	2	27.38073	13.69036	17.7814 **
Fat x Testemun	1	19.97551	19.97551	25.9448 **
Tratamentos	6	105.81299	17.63550	22.9055 **
Blocos	3	5.06571	1.68857	2.1932 ns
Resíduo	18	13.85864	0.76992	
Total	27	124.73734		

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

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

ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	18	0.001	0.319561	>0.050
2	18	6.0129	37.8029	<0.001
2	18	6.0129	17.7814	<0.001
1	18	8.2854	25.9448	<0.001
6	18	4.0146	22.9055	<0.001
3	18	3.1599	2.1932	0.1241

Fator 1 = N Hastes

Fator 2 = Av Prog

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	12.80000	
2	7.49500	
3	12.78750	
4	12.16000	
5	10.10000	
6	10.21500	
Test	8.51250	

DMS = 1.75588

Foi aplicado o Teste de Dunnett
 ao nível de 5% de probabilidade

Médias de bloco

1	10.75833 a
2	10.31000 a
3	11.21500 a
4	11.42167 a

DMSB =	1.43288

Médias do fator1

1	11.02750 a
2	10.82500 a

DMS1 =	0.75230

Médias do fator2

1	12.48000 a
2	8.79750 b
3	11.50125 a

DMS2 =	1.11992

MÉDIAS DE INTERAÇÃO
Médias Fator 1 x Fator 2

		Fator 2		
Fator 1	1	2	3	
1	12.8000 aA	7.4950 bB	12.7875 aA	
2	12.1600 aA	10.1000 aB	10.2150 bB	
DMS para colunas =		1.3030	DMS para linhas =	1.5838
Classific.c/letras minúsculas			Classific.c/letras maiúsculas	

PARA BLOCOS FATOR 1 FATOR 2...

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 10.58143 CV% = 8.29239

DADOS

11.67	10.94	13.79	14.80
7.55	7.96	7.19	7.28
12.18	12.30	13.98	12.69
12.34	12.00	12.73	11.57
10.81	9.28	9.12	11.19
10.00	9.38	10.48	11.00
8.64	7.95	8.06	9.40

Apêndice AS – Análise Estatística da Patinagem para $V= 7 \text{ km h}^{-1}$

ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011) – Homepage <http://www.assistat.com>
 Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG – Atualiz.31/03/2011

EXPERIMENTO FATORIAL QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (F1)	1	1.77670	1.77670	1.5362 ns
Fator2 (F2)	2	19.48761	9.74380	8.4249 **
Int. FlxF2	2	4.37016	2.18508	1.8893 ns
Fat x Testemun	1	12.22021	12.22021	10.5661 **
Tratamentos	6	37.85469	6.30911	5.4551 **
Blocos	3	0.19681	0.06560	0.0567 *
Resíduo	18	20.81791	1.15655	
Total	27	58.86941		

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

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

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	18	4.4139	1.5362	0.231
2	18	6.0129	8.4249	0.0026
2	18	3.5546	1.8893	0.18
1	18	8.2854	10.5661	0.0044
6	18	4.0146	5.4551	0.0023
3	18	0.0707	0.0567	0.0366

Fator 1 = N Hastes

Fator 2 = Av Prog

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	10.49000	
2	11.84000	
3	13.39750	
4	10.32000	
5	12.10250	
6	11.67250	
Test	13.52500	

DMS = 2.15206

Foi aplicado o Teste de Dunnett
 ao nível de 5% de probabilidade

Médias de bloco

1	11.61333	a
2	11.97333	a
3	11.59167	a
4	11.37000	a

DMSB =	1.75617	

Médias do fator1

1	11.90917	a
2	11.36500	a

DMS1 =	0.92204	

Médias do fator2

1	10.40500	b
2	11.97125	a
3	12.53500	a

DMS2 =	1.37260	

MÉDIAS DE INTERAÇÃO
Médias Fator 1 x Fator 2

		Fator 2		
Fator 1	1	2	3	
1	10.4900	11.8400	13.3975	
2	10.3200	12.1025	11.6725	

Não foi aplicado o teste de comparação de médias
por que o F de interação não foi significativo

PARA BLOCOS FATOR 1 FATOR 2...

As médias seguidas pela mesma letra não diferem
estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste
de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 11.90679 CV% = 9.03208

DADOS

11.82	9.82	10.55	9.77
10.81	13.24	12.65	10.66
12.89	13.90	13.40	13.40
10.53	9.54	10.44	10.77
12.78	12.35	10.97	12.31
10.85	12.99	11.54	11.31
14.66	11.29	13.56	14.59

Apêndice AT – Análise Estatística Trifatorial da Patinagem

ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011) – Homepage <http://www.assistat.com>
 Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG – Atualiz.05/04/2011

EXPERIMENTO FATORIAL QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (F1)	1	7.48845	7.48845	8.8908 **
Fator2 (F2)	2	42.01461	21.00730	24.9413 **
Fator3 (F3)	2	116.90357	58.45179	69.3980 **
Int. F1xF2	2	39.27711	19.63855	23.3162 **
Int. F1xF3	2	2.80811	1.40405	1.6670 ns
Int. F2xF3	4	72.66372	18.16593	21.5678 **
Int.F1x2x3	4	6.43383	1.60846	1.9097 ns
Tratamentos	17	287.58940	16.91702	20.0850 **
Blocos	3	2.47301	0.82434	0.9787 ns
Resíduo	51	42.95574	0.84227	
Total	71	333.01815		

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

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

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	51	7.1607	8.8908	0.0043
2	51	5.0484	24.9413	<0.001
2	51	5.0484	23.3162	<0.001
2	51	5.0484	69.398	<0.001
2	51	3.1791	1.667	0.1989
4	51	3.7123	21.5678	<0.001
4	51	2.5537	1.9097	0.123
17	51	2.3396	20.0851	<0.001
3	51	0.071	0.9787	>0.050

Fator 1 = N Hastes

Fator 2 = Av Prog

Fator 3 = Velocidade

MÉDIAS E MEDIDAS Médias de bloco

1	10.44278 a
2	10.10444 a
3	10.59722 a
4	10.49889 a

DMSB =	0.81284

Médias do fator1

Médias do fator1	
1	10.73333 a
2	10.08833 b

DMS1 =	0.43449

Médias do fator2

Médias do fator2	
1	11.03750 a
2	9.33542 b
3	10.85958 a

DMS2 =	0.63959

Médias do fator3

Médias do fator3		
1	8.65792	c
2	10.92542	b
3	11.64917	a

DMS3 =	0.63959	

MÉDIAS DE INTERAÇÃO

Médias Fator 1 x Fator 2

Médias Fator 1 x Fator 2			
		Fator 2	
Fator 1	1	2	3
1	11.3617 aA	8.7525 bB	12.0858 aA
2	10.7133 aA	9.9183 aAB	9.6333 bB
DMS para colunas =		0.7526	DMS para linhas =
Classific.c/letras minúsculas			0.9045
			Classific.c/letras maiúsculas

Médias Fator 1 x Fator 3

Médias Fator 1 x Fator 3			
		Fator 3	
Fator 1	1	2	3
1	9.2392 aC	11.0275 aB	11.9333 aA
2	8.0767 bB	10.8233 aA	11.3650 aA
DMS para colunas =		0.7526	DMS para linhas =
Classific.c/letras minúsculas			0.9045
			Classific.c/letras maiúsculas

Médias Fator 2 x Fator 3

		Fator 3		
Fator 2	1	2	3	
1	10.2275 aB	12.4800 aA	10.4050 bB	
2	7.2000 cC	8.7975 bB	12.0088 aA	
3	8.5463 bB	11.4988 aA	12.5338 aA	
DMS para colunas =		1.1078	DMS para linhas = 1.1078	
Classific.c/letras minúsculas			Classific.c/letras maiúsculas	

PARA BLOCOS FATOR 1 FATOR 2, FATOR 3...

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

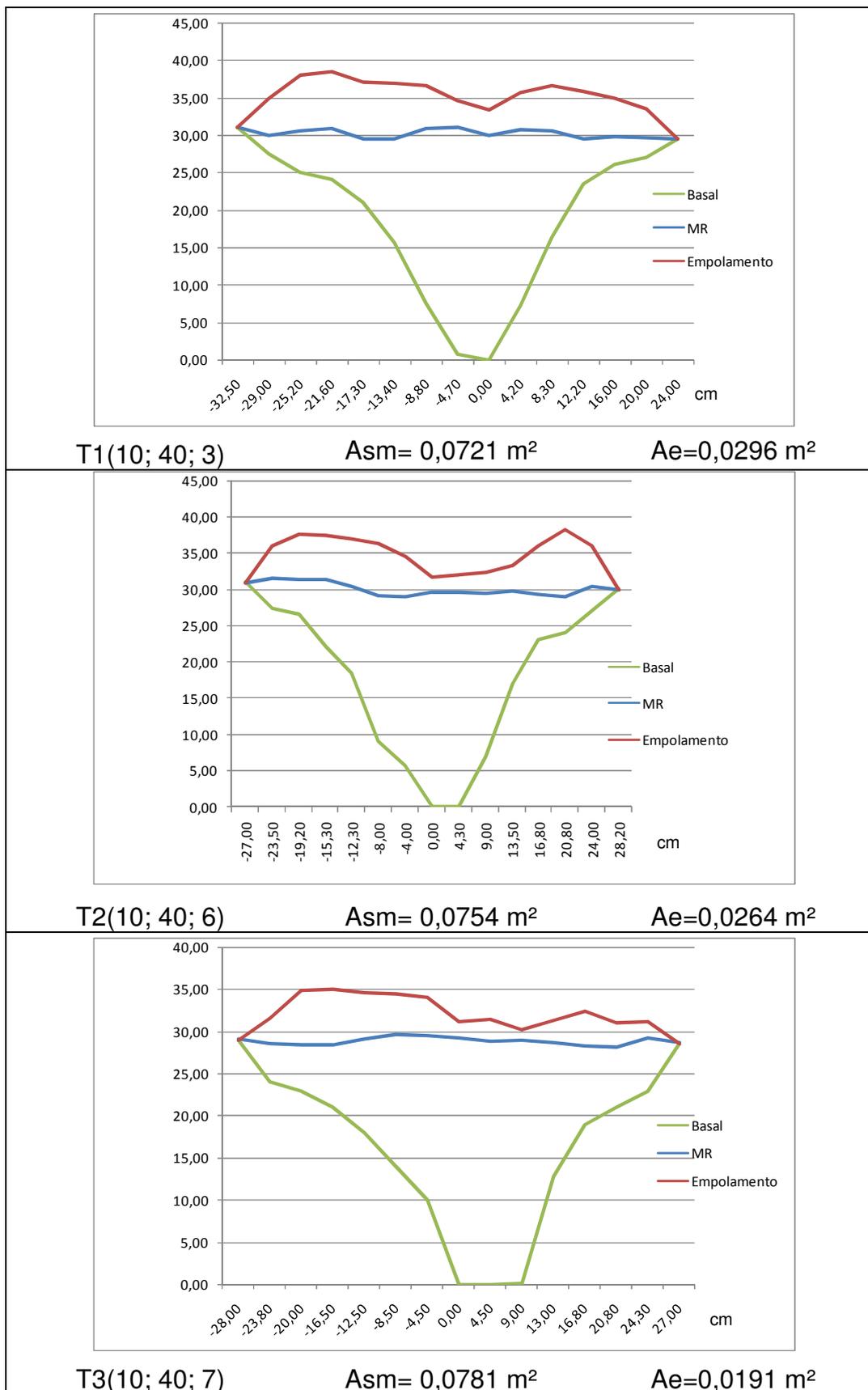
MG = 10.41083

CV% = 8.81536

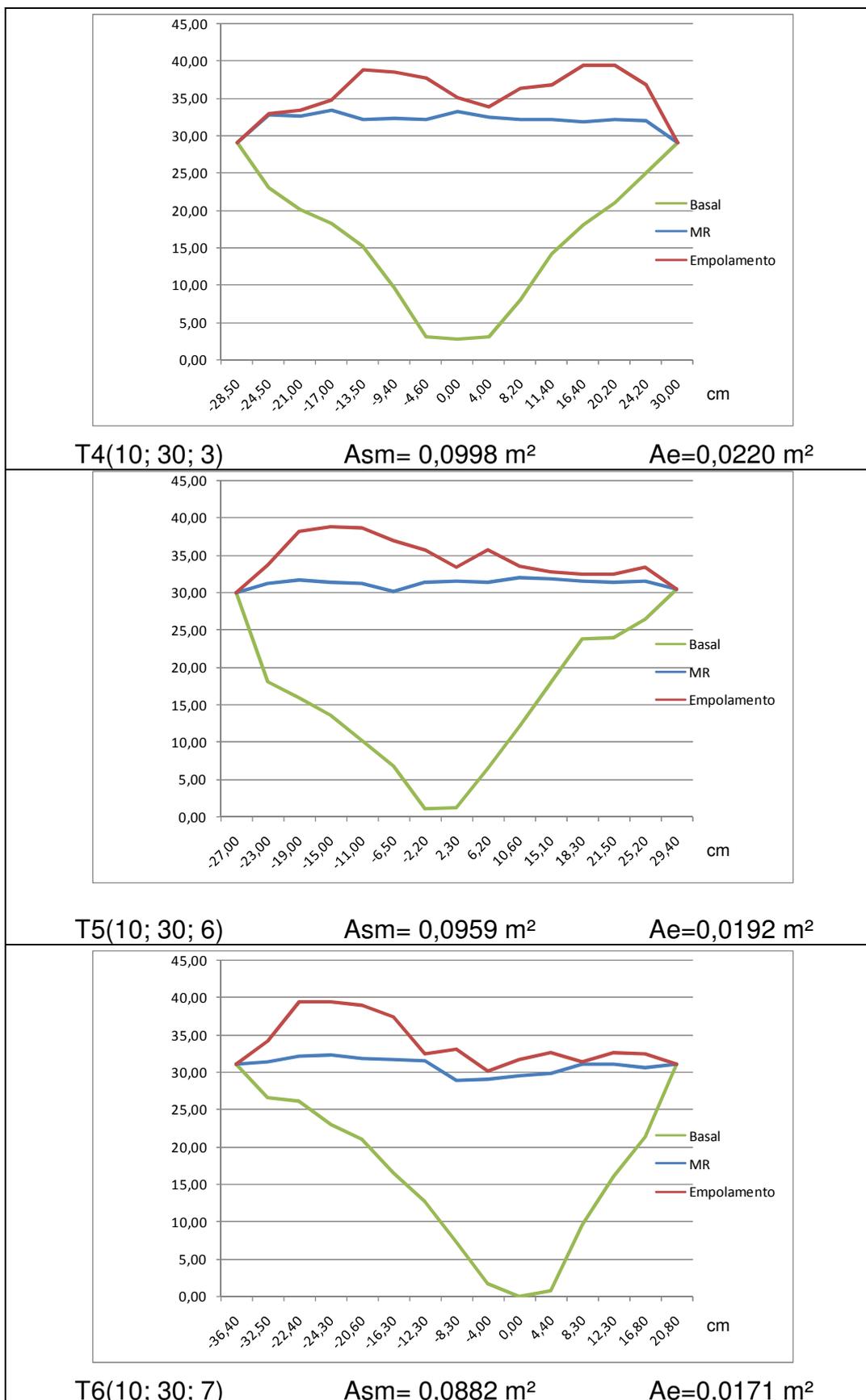
DADOS

11.29	10.03	10.76	11.10
11.67	10.94	13.79	14.80
11.82	9.82	10.55	9.77
6.76	6.70	6.96	6.97
7.55	7.96	7.19	7.28
10.81	13.24	12.65	10.96
9.72	8.72	10.56	11.30
12.18	12.30	13.98	12.69
12.89	13.90	13.40	13.39
10.75	8.43	10.50	8.96
12.34	12.00	12.73	11.57
10.53	9.54	10.44	10.77
7.74	6.69	7.32	8.46
10.81	9.28	9.12	11.19
12.78	12.35	10.97	12.31
7.49	7.61	7.81	5.16
9.99	9.38	10.48	10.99
10.85	12.99	11.54	11.31

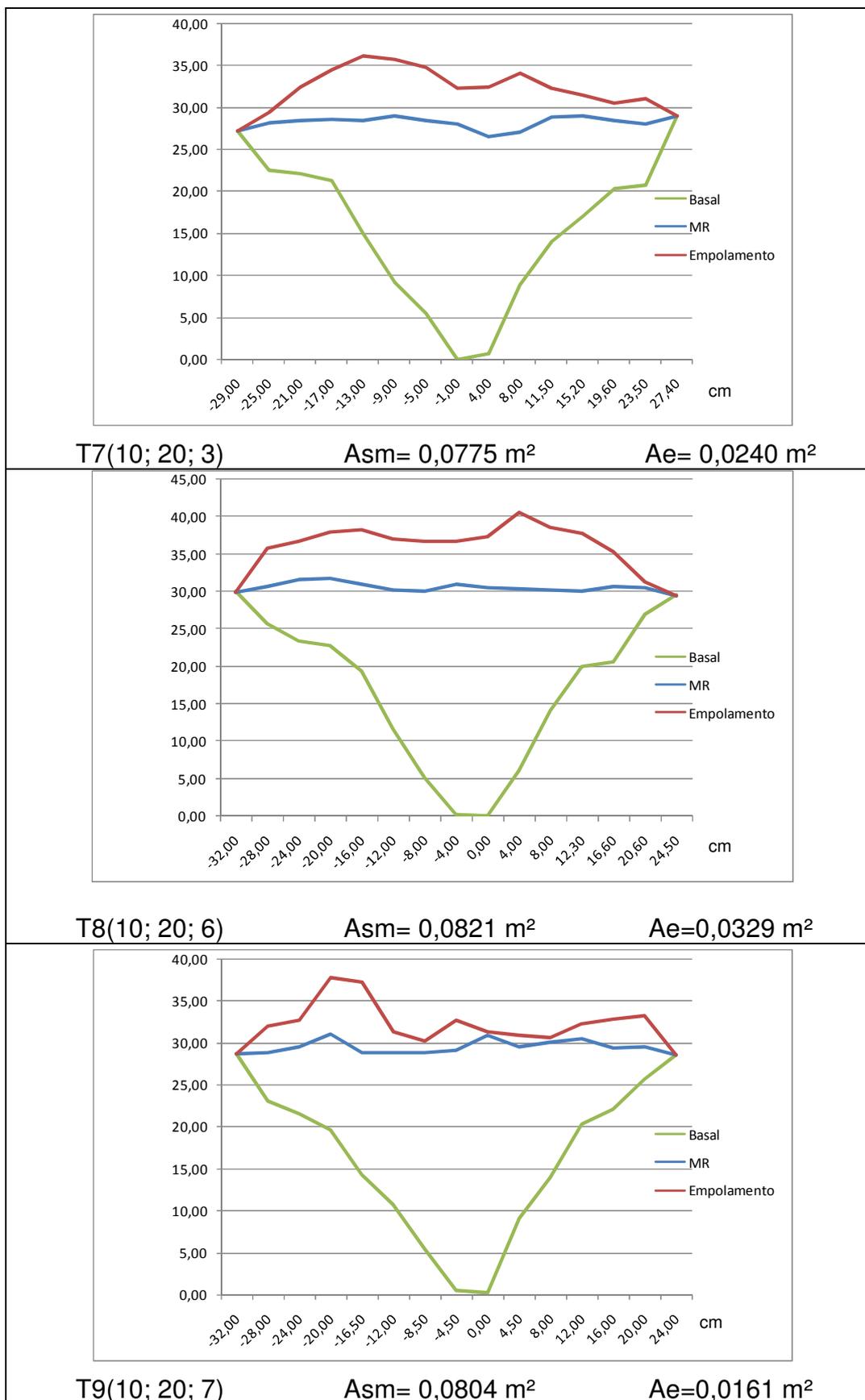
Apêndice BA – Perfil Médio de Solo Mobilizado (T1, T2 e T3)



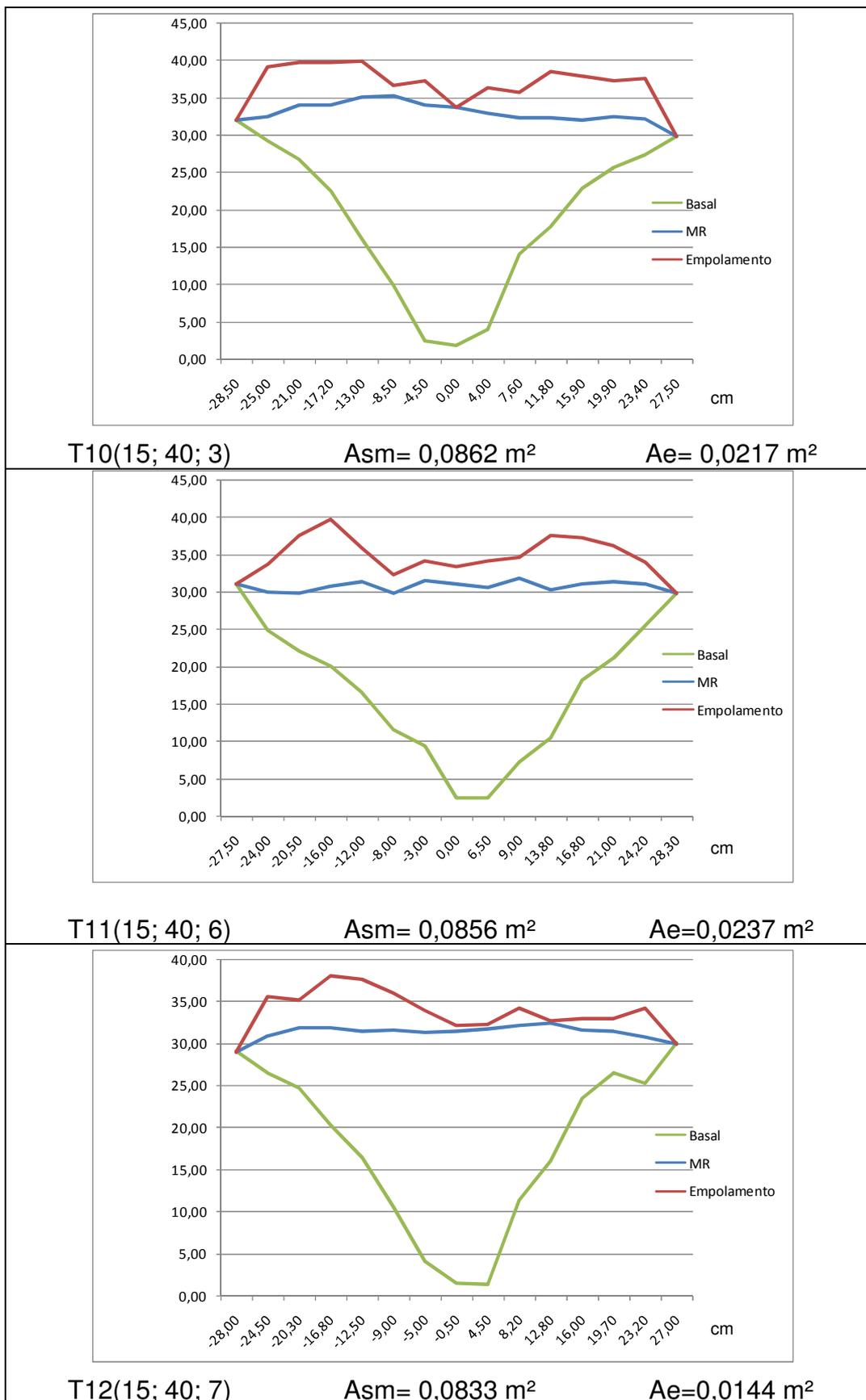
Apêndice BB – Perfil Médio de Solo Mobilizado (T4, T5 e T6)



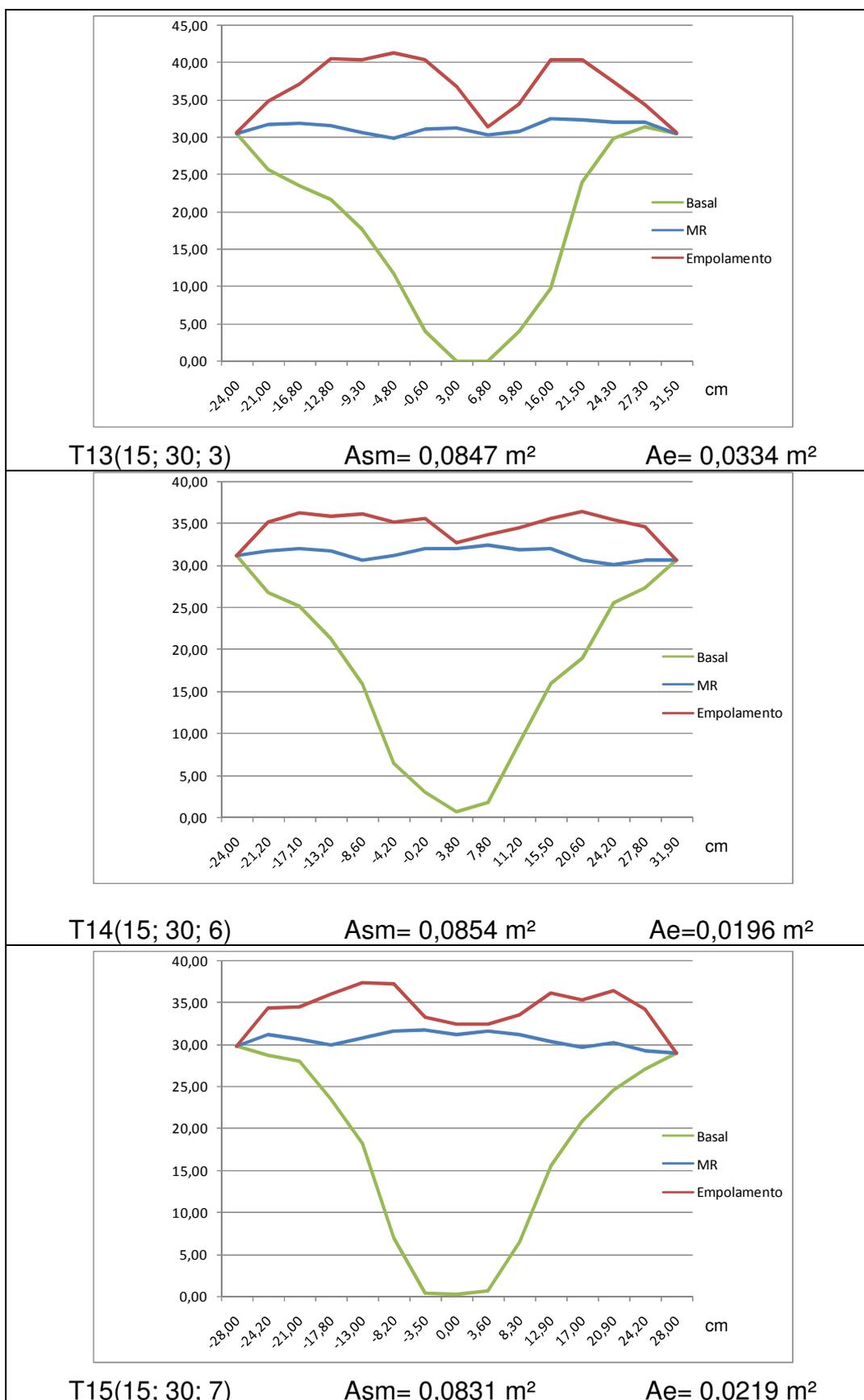
Apêndice BC – Perfil médio de Solo Mobilizado (T7, T8 e T9)



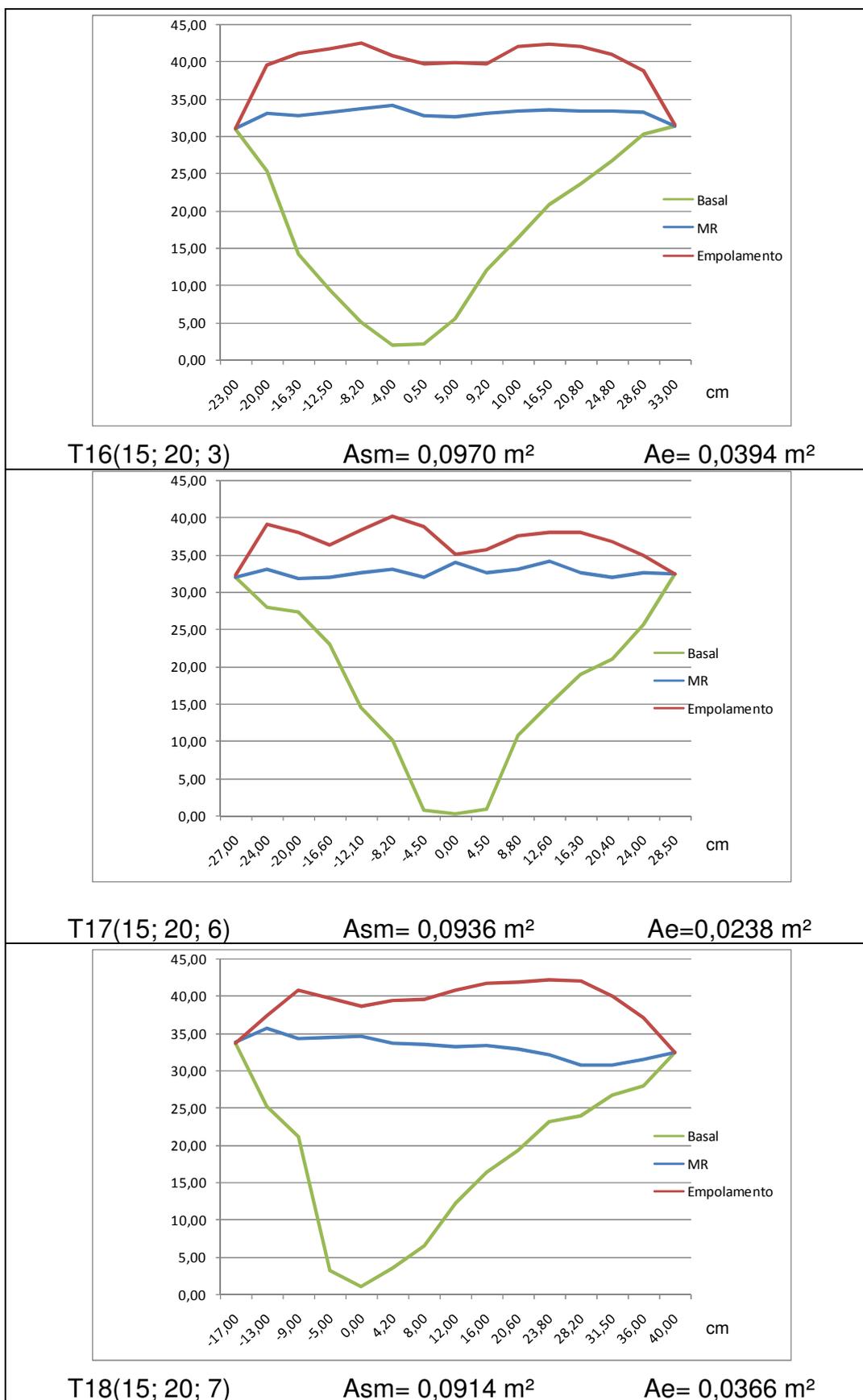
Apêndice BD – Perfil médio de Solo Mobilizado (T10, T11 e T12)



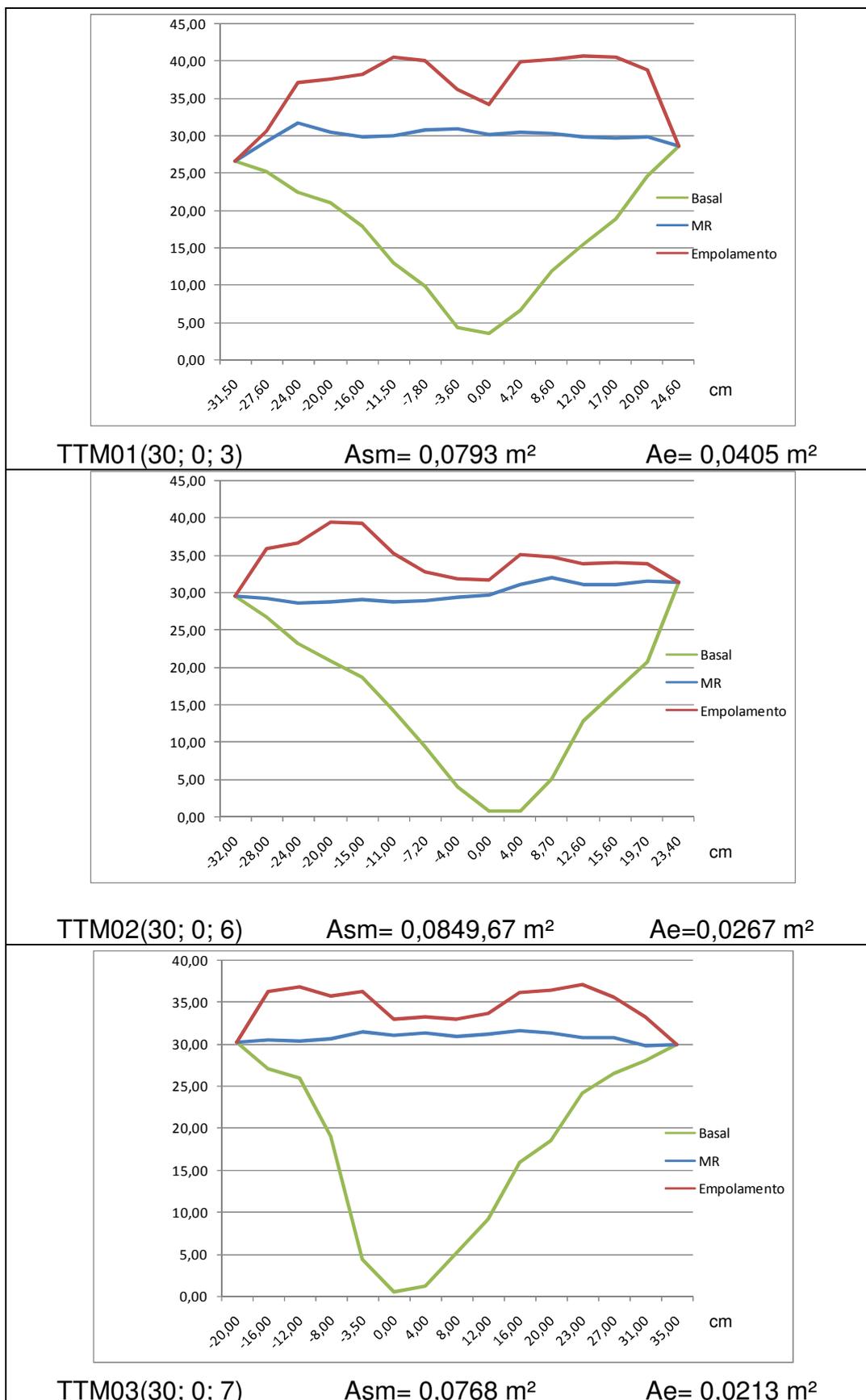
Apêndice BE – Perfil médio de Solo Mobilizado (T13, T14 e T15)



Apêndice BF – Perfil médio de Solo Mobilizado (T16, T17 e T18)



Apêndice BG – Perfil médio de Solo Mobilizado (T01, T02 e T03)



Apêndice CA – Ciclo de vida e clientes/usuários do produto

Nome do Projeto		Código do Projeto
Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento	Fase do Processo	Código do Documento
TÉCNICO	PROJETO INFORMACIONAL	DTPI-01
Nome do Documento		
Ciclo de Vida e Clientes/Usuários do Produto		
CLIENTES/USUÁRIOS AO LONGO DO CICLO DE VIDA DO PRODUTO		
FASE DE PROJETO	Equipe de Projeto	
FASE DE FABRICAÇÃO	Equipe de Projeto e Equipe de Fabricação	
FASE DE USO	Pesquisadores do LASERG	
FASE DE TESTES E ENSAIOS	Equipe de Projeto e Pesquisadores do LASERG	
FASE DE MANUTENÇÃO	Pesquisadores do LASERG	
FASE DE REMANUFATURA	Equipe de Fabricação e Pesquisadores do LASERG	

Apêndice CB – Necessidades dos clientes/usuários

Nome do Projeto		Código do Projeto
Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento	Fase do Processo	Código do Documento
TÉCNICO	PROJETO INFORMACIONAL	DTP1-02
Nome do Documento		
Necessidades dos Clientes/Usuários		
nNC/U	NECESSIDADES DOS CLIENTES/USUÁRIOS	
1	Precisar de pouca Força de Tração	
2	Utilizar peças já disponíveis no mercado	
3	Utilizar processos de fabricação disponíveis no LASERG	
4	Ter fabricação barata	
5	Ser fácil de montar	
6	Ser acoplado e/ou desacoplado ao trator sem utilização de ferramentas especiais	
7	Ter baixo peso quando não lastrado	
8	Ser facilmente transportado	
9	Trabalhar nivelado longitudinalmente	
10	Ser Versátil	
11	Ser Robusto	
12	Ser facilmente regulado	
13	Ser seguro ao usuário	
14	Ser adaptável a diferentes tipos de solo com diferentes coberturas e condições físicas	
15	Proteger as hastes e pontas contra pedras, tocos e raízes	
16	Manter hastes enterradas no solo	
17	Demandar pouco esforço para inserção das hastes no solo	
18	Facilidade de manutenção	
19	Manutenção barata	
20	Facilidade na reciclagem	

Apêndice CC – Requisitos dos clientes/usuários

Nome do Projeto		Código do Projeto
Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento	Fase do Processo	Código do Documento
TÉCNICO	PROJETO INFORMACIONAL	DTPI-03
Nome do Documento		
Requisitos dos Clientes/Usuários		
nRC/U	REQUISITOS DOS CLIENTES/USUÁRIOS	
1	1.1 Ter baixa demanda de tração	
2	2.1 Ter componentes disponíveis no mercado	
3	3.1 Ter processos de fabricação usuais	
4	4.1 Ter baixo custo de fabricação	
5	4.2 Ter pequeno número de componentes	
6	5.1 Ser montado com ferramentas comuns	
7	5.2 Ser montado em pouco tempo	
8	6.1 Ser fácil de acoplar e desacoplar do trator	
9	7.1 Ser leve sem lastro	
10	8.1 Ter estrutura modular	
11	8.2 Ter dimensões para transporte em caminhões com capacidade de 4T	
12	9.1 Ter regulagem de altura no cabeçalho	
13	9.2 Ter regulagem de altura no rodado	
14	10.1 Ter mecanismo para portar séries de hastes	
15	10.2 Ter mecanismo para regular a profundidade de trabalho	
16	10.3 Ter mecanismo para regular espaçamento lateral entre as hastes	
17	10.4 Ter mecanismo para regular espaçamento longitudinal entre as hastes	
18	10.5 Ter dispositivo para regular largura de mobilização de cada haste	
19	11.1 Ser Rígido	
20	12.1 Ser regulado com o uso de poucas ferramentas comuns	
21	12.2 Ter processo simples de regulagem	
22	13.1 Ter restrições de segurança incorporadas	
23	14.1 Ter boa funcionalidade em diferentes tipos de solo, com diferentes coberturas e propriedades físicas	
24	15.1 Possuir mecanismo de desarme automático dos órgãos ativos	
25	16.1 Ter dispositivo que permita lastragem	
26	17.1 Ter mecanismo de facilite a penetração das hastes no solo	
27	18.1 Ter manutenção realizada com ferramental comum	
28	18.2 Ter processo de manutenção simples	
29	19.1 Ter processo de manutenção rápido	
30	19.2 Ter baixa frequência de manutenção	
31	19.3 Ter itens de reposição comuns	
32	20.1 Ser de material facilmente reaproveitado	

Apêndice CD – Requisitos dos usuários hierarquizados

Nome do Projeto		Código do Projeto
Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento	Fase do Processo	Código do Documento
TÉCNICO	PROJETO INFORMACIONAL	DTPI-04
Nome do Documento		
Requisitos dos Clientes/Usuários Hierarquizados		
ORDEM	REQUISITOS DOS CLIENTES/USUÁRIOS HIERARQUIZADOS	
1º	Ter mecanismo para regular espaçamento longitudinal entre as hastes	
2º	Ter mecanismo para regular a profundidade de trabalho	
3º	Ter mecanismo para portar séries de hastes	
4º	Ter mecanismo para regular espaçamento lateral entre as hastes	
5º	Ter boa funcionalidade em diferentes tipos de solo, com diferentes coberturas e propriedades físicas	
6º	Ter dispositivo para regular largura de mobilização de cada haste	
7º	Ter mecanismo de facilite a penetração das hastes no solo	
8º	Ser Rígido	
9º	Ter dispositivo que permita lastragem	
10º	Ter regulagem de altura no cabeçalho	
11º	Ter baixa demanda de tração	
12º	Ter regulagem de altura no rodado	
13º	Possuir mecanismo de desarme automático dos órgãos ativos	
14º	Ter processo simples de regulagem	
15º	Ter baixo custo de fabricação	
16º	Ser leve sem lastro	
17º	Ter dimensões para transporte em caminhões com capacidade de 4T	
18º	Ser regulado com o uso de poucas ferramentas comuns	
19º	Ser fácil de acoplar e desacoplar do trator	
20º	Ter processos de fabricação usuais	
21º	Ter baixa frequência de manutenção	
22º	Ter restrições de segurança incorporadas	
23º	Ter componentes disponíveis no mercado	
24º	Ter manutenção realizada com ferramental comum	
25º	Ter itens de reposição comuns	
26º	Ter processo de manutenção simples	
27º	Ter estrutura modular	
28º	Ser montado com ferramentas comuns	
29º	Ser de material facilmente reaproveitado	
30º	Ter processo de manutenção rápido	
31º	Ter pequeno número de componentes	
32º	Ser montado em pouco tempo	

Apêndice CE – Requisitos de projeto

Nome do Projeto		Código do Projeto
Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento	Fase do Processo	Código do Documento
TÉCNICO	PROJETO INFORMACIONAL	DTPI-05
Nome do Documento		
Requisitos de Projeto		
nRP	REQUISITOS DE PROJETO	
1	1.1.1 Largura das hastes	
2	1.1.2 Inclinação das hastes	
3	1.1.3 Ângulo de ataque das ponteiras	
4	1.1.4 Largura das Ponteiras	
5	2.1.1 Percentual de componentes disponíveis no mercado	
6	3.1.1 Percentual de processos usuais de fabricação mecânica	
7	4.1.1 Custo de Fabricação	
8	4.2.1 Número de componentes/peças	
9	5.1.1 Percentual de Ferramentas Comuns usadas na montagem	
10	5.1.2 Número de ferramentas usadas na montagem	
11	5.2.1 Tempo de Montagem	
12	6.1.1 Percentual de Ferramentas Comuns usadas durante acoplagem/desacoplagem ao engate do trator	
13	7.1.1 Peso (sem lastro)	
14	8.1.1 Número de Módulos	
15	8.2.1 Bitola do carro	
16	9.1.1 N° de regulagens na altura do cabeçalho	
17	9.2.1 N° de regulagens na altura do rodado	
18	10.1.1; 14.1.2 N° de hastes por série	
19	10.1.2; 14.1.3 N° de séries de hastes	
20	10.2.1; 14.1.4 N° de regulagens para profundidade de trabalho	
21	10.3.1; 14.1.5 N° de regulagens para espaçamento lateral entre as hastes	
22	10.4.1; 14.1.6 N° de regulagens para espaçamento longitudinal entre as hastes	
23	10.5.1; 14.1.7 N° de regulagens para largura de trabalho de cada haste	
24	11.1.1 Flexão nas seções críticas da estrutura	
25	12.1.1 Percentual de Ferramentas Comuns usadas na regulagem	
26	12.1.2 Número de ferramentas usadas na regulagem	
27	12.2.1 N° de etapas no processo de regulagem	
28	12.2.2. Tempo de regulagem	
29	13.1.1 Percentual de atendimento às normas	
30	14.1.1 Capacidade de utilização de diferentes rodados(10.1.1 a 10.5.1)	
31	15.1.1 Nível de proteção dos órgãos ativos	
32	16.1.1 Capacidade de lastragem	
33	17.1.1 Esforço necessário para inserção das ferramentas no solo	
34	18.1.1 Percentual de Ferramentas Comuns usadas na manutenção	
35	18.2.1 N° de etapas do processo de manutenção	
36	19.1.1 Tempo de manutenção	
37	19.2.1 Intervalo entre manutenções	
38	19.3.1 Percentual de itens de reposição comuns	
39	20.1.1 Percentual de componentes com processos comuns de reciclagem	

Apêndice CF – Requisitos de projeto hierarquizados

Nome do Projeto		Código do Projeto		
Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1		
Tipo de Documento	Fase do Processo	Código do Documento		
TÉCNICO	PROJETO INFORMACIONAL	DTP1-06		
Nome do Documento				
Requisitos de Projeto Hierarquizados				
Ord.	nRP	REQUISITOS DE PROJETO HIERARQUIZADOS	Und	Ind
1º	18	Nº de hastes por série	n	+
2º	19	Nº de séries de hastes	n	+
3º	20	Nº de regulagens para profundidade de trabalho	n	+
4º	23	Nº de regulagens para largura de trabalho de cada haste	n	+
5º	22	Nº de regulagens para espaçamento longitudinal entre as hastes	n	+
6º	21	Nº de regulagens para espaçamento lateral entre as hastes	n	+
7º	33	Esforço necessário para inserção das ferramentas no solo	N	-
8º	2	Inclinação das hastes	graus	45º
9º	3	Ângulo de ataque das ponteiros	graus	25º
10º	1	Largura das hastes	mm	-
11º	4	Largura das Ponteiros	mm	+
12º	13	Peso (sem lastro)	N	-
13º	7	Custo de Fabricação	R\$	-
14º	27	Nº de etapas no processo de regulagem	n	-
15º	30	Capacidade de utilização de diferentes rodados	n	+
16º	8	Número de componentes/peças	n	-
17º	28	Tempo de regulagem	min	-
18º	32	Capacidade de lastragem	N	+
19º	31	Nível de proteção dos órgãos ativos	%	+
20º	26	Número de ferramentas usadas na regulagem	n	-
21º	16	Nº de regulagens na altura do cabeçalho	n	+
22º	17	Nº de regulagens na altura do rodado	n	+
23º	15	Bitola do carro	mm	+
24º	24	Flexão nas seções críticas da estrutura	mm	-
25º	11	Tempo de Montagem	min	+
26º	14	Número de Módulos	n	-
27º	36	Tempo de manutenção	min	-
28º	10	Número de ferramentas usadas na montagem	n	-
29º	35	Nº de etapas do processo de manutenção	n	-
30º	12	Percentual de Ferramentas Comuns usadas durante acoplagem/desacoplagem ao engate do trator	%	+
31º	25	Percentual de Ferramentas Comuns usadas na regulagem	%	-
32º	29	Percentual de atendimento às normas	%	+
33º	38	Percentual de itens de reposição comuns	%	+
34º	5	Percentual de componentes disponíveis no mercado	%	+
35º	6	Percentual de processos usuais de fabricação mecânica	%	+
36º	9	Percentual de Ferramentas Comuns usadas na montagem	%	-
37º	34	Percentual de Ferramentas Comuns usadas na manutenção	%	-
38º	39	Percentual de componentes com processos comuns de reciclagem	%	+
39º	37	Intervalo entre manutenções	h	+

Apêndice CG – Restrições de segurança

Nome do Projeto		Código do Projeto
Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento	Fase do Processo	Código do Documento
TÉCNICO	PROJETO INFORMACIONAL	DTPI-07
Nome do Documento		
Restrições de Segurança		
ATRIBUTOS	RESTRICÕES DE SEGURANÇA	FONTES
CAPACITAÇÃO	Prever sistemas de garantia que não permitam que o carro dinamométrico entre em operação até que todos os procedimentos e documentos necessários ao conhecimento relativo às suas funções, aos limites de operação, aos riscos de utilização e manutenção por parte de todos os envolvidos no processo tenham sido executados.	BDASMA, NR31
COMUNICAÇÃO TÁCTIL	Dimensões, cores e formatos do carro dinamométrico devem ser facilmente perceptíveis e permitir uma operação segura e ergonômica.	BDASMA, NR31
COMUNICAÇÃO VISUAL	Devem ser previstos sistemas visuais que colaborem com a segurança do operador e de terceiros, realçando partes perigosas.	BDASMA, NR31
DIMENSÃO	Garantir que as dimensões de acesso e de restrição de acesso sejam observadas a fim de proporcionar maior segurança e conforto ao usuário (regulagens e manutenção) e/ou terceiros.	BDASMA, NR31
ELEMENTOS MECÂNICOS	Garantir que parafusos e pinos sejam projetados embutidos ou protegidos.	BDASMA, NR31
	Prever proteção para qualquer saliência e/ou aresta cortante.	
	Garantir proteção efetiva para componentes que oferecerem risco de ruptura ou projeção de peças.	
EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL	Prever meios para a completa descrição das operações insalubres e perigosas, assim como dos EPIs decorrentes do uso do carro, os quais deverão ser utilizados para eliminar ou minimizar os danos potenciais ao operador e terceiros.	BDASMA, NR31
ESFORÇO FÍSICO	Garantir que os níveis de esforço a que estarão sujeitos os operadores do carro dinamométrico não exceda a intensidade e o tempo recomendados pela norma, de forma a não comprometer suas integridade física e saúde.	BDASMA
MANUAL TÉCNICO	Garantir o acesso ao manual e às informações contidas nele, prever a existência de pelo menos dois exemplares, um junto ao carro dinamométrico e outro no laboratório.	BDASMA, NR31
	Prever como conteúdo mínimo no manual: a completa descrição dos riscos, as formas corretas de prevenção de acidentes, os riscos ambientais e os conteúdos programáticos mínimos para o treinamento dos usuários.	
VISIBILIDADE	Garantir que o usuário sempre terá boa visibilidade tanto na regulagem e na operação, quanto na manutenção do equipamento.	BDASMA

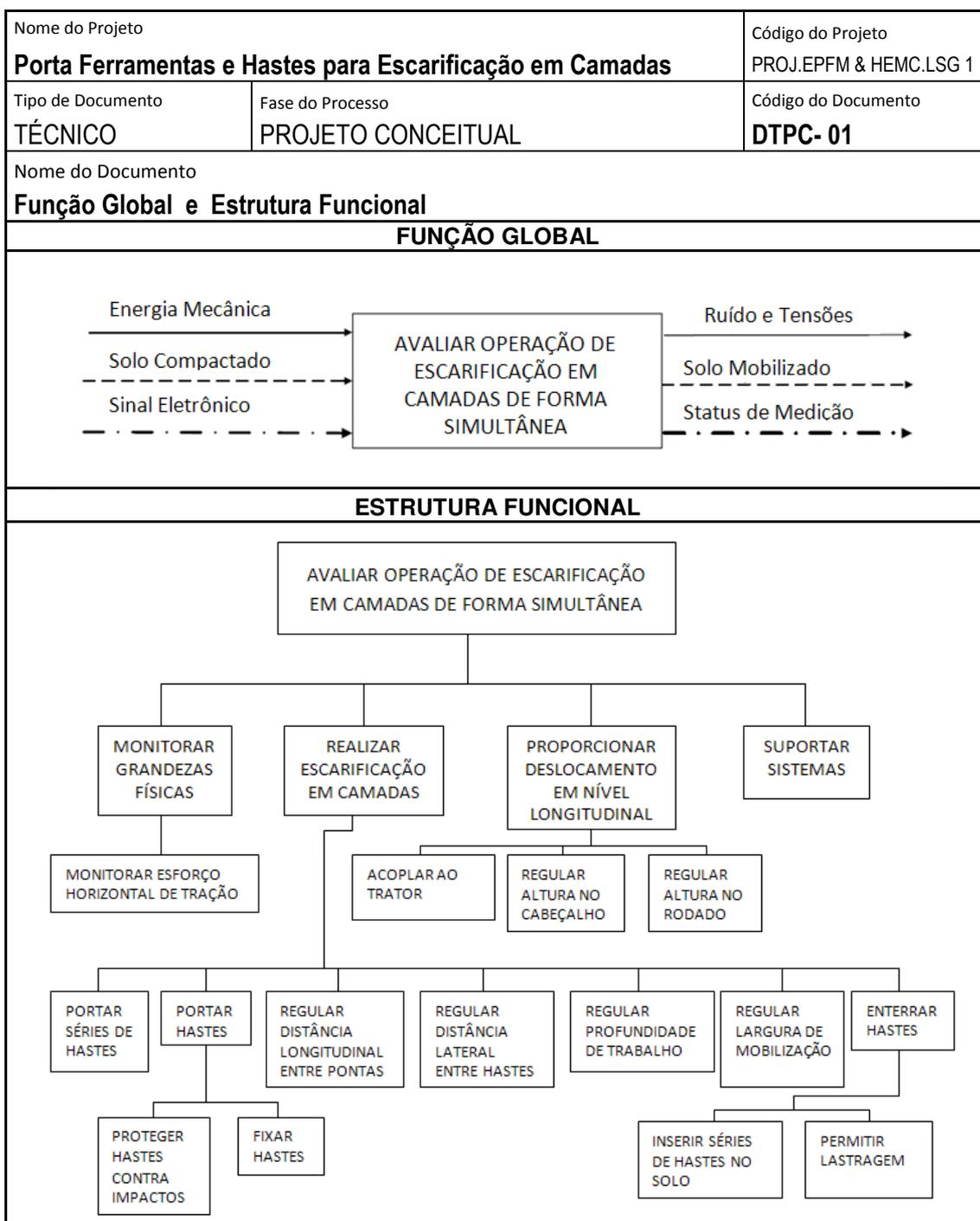
Apêndice CH – Especificações de projeto

Nome do Projeto			Código do Projeto		
Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas			PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1		
Tipo de Documento		Fase do Processo		Código do Documento	
TÉCNICO		PROJETO INFORMACIONAL		DTPI-08	
Nome do Documento					
Especificações de Projeto					
n	REQUISITOS DE PROJETO HIERARQUIZADOS	UND	VALOR META	FORMA DE AVALIAÇÃO	ASPECTOS A SEREM EVITADOS
1	Nº de hastes por série	n	3	Análise e quantificação	Comprimento excessivo
2	Nº de séries de hastes	min	Mínimo: 1 Máximo: 5	Análise e quantificação	Largura excessiva
3	Nº de regulagens para profundidade de trabalho	N	Mínimo/haste: 2	Análise e quantificação	Custo elevado e dificuldade de fabricação
4	Nº de regulagens para largura de trabalho de cada haste	%	2	Análise e quantificação	Custo elevado e dificuldade de fabricação
5	Nº de regulagens para espaçamento longitudinal entre as hastes	n	3	Análise e quantificação	Custo elevado e dificuldade de fabricação
6	Nº de regulagens para espaçamento lateral entre as hastes	n	4	Análise e quantificação	Custo elevado e dificuldade de fabricação
7	Esforço necessário para inserção das ferramentas no solo	n	5000	Medição em campo	Dificuldade no enterramento das ponteiros
8	Inclinação das hastes	mm	45º	Análise e quantificação	Aumento na demanda de tração e dificuldade na fabricação
9	Ângulo de ataque das ponteiros	mm	Mínimo: 20º Máximo: 30º	Análise e quantificação	Aumento na demanda de tração
10	Largura das hastes	min	Mínima: 9,5mm Máxima: 15,8mm	Análise e quantificação	Aumento na demanda de tração
11	Largura das Ponteiros	n	20% da Profundidade de Trabalho	Análise e quantificação	Aumento na demanda de tração e compactação lateral do solo
12	Peso (sem lastro)	min	1000	Pesagem	Peso Excessivo
13	Custo de Fabricação	n	R\$ 3.000,00	Análise econômico-financeira	Custo Excessivo e comprometimento da qualidade
14	Nº de etapas no processo de regulagem	n	3	Análise e quantificação	Complexidade no processo de regulagem
15	Capacidade de utilização de diferentes rodados	%	2	Análise e quantificação	Especificidade de Aplicação
16	Número de componentes/peças	%	80	Análise e quantificação	Custo Excessivo e complexidade na

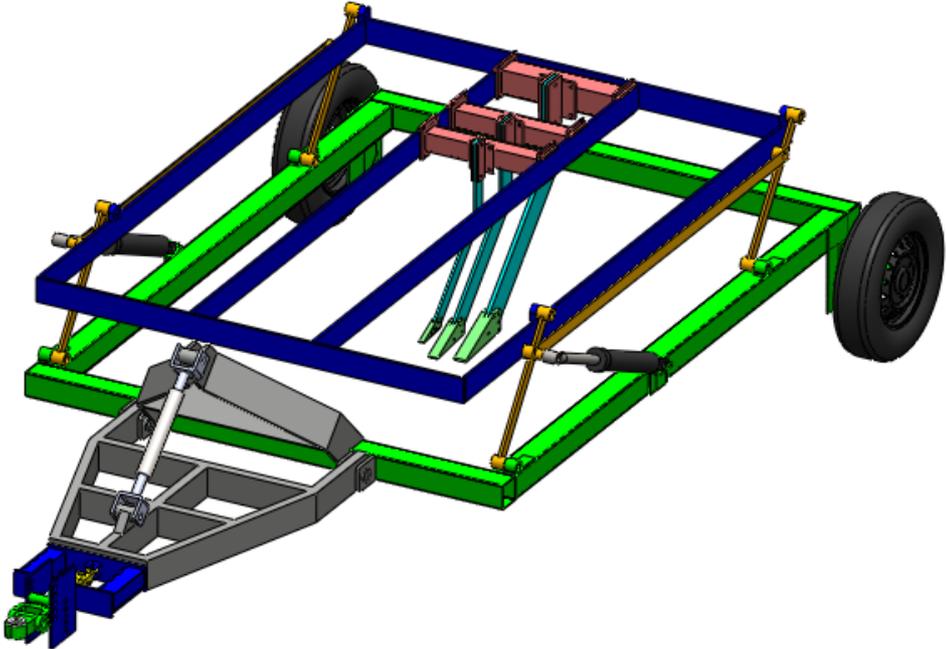
					fabricação
17	Tempo de regulagem	%	10 por série de hastes	Cronometragem em campo	Tempo insuficiente para regulagem de precisão
18	Capacidade de lastragem	%	5000	Análise e quantificação	Comprometimento do leiaute do carro
19	Nível de proteção dos órgãos ativos	%	100	Análise e quantificação	Custo excessivo
20	Número de ferramentas usadas na regulagem	%	Máximo 3	Análise e quantificação	Tempo excessivo na regulagem e complexidade no processo de regulagem
21	Nº de regulagens na altura do cabeçalho	%	Mínimo 4	Análise e quantificação	Custo elevado e dificuldade de fabricação
22	Nº de regulagens na altura do rodado	%	Mínimo 4	Análise e quantificação	Custo elevado e dificuldade de fabricação
23	Bitola do carro	%	Máximo: 2500 (sem o rodado)	Medição	Restrições na aplicação
24	Flexão nas seções críticas da estrutura	h	Máxima: 5	Medição	Custo Excessivo
25	Tempo de Montagem	n	Máximo: 300	Cronometragem em campo	Tempo excessivo e complexidade na montagem
26	Número de Módulos	min	Mínimo: 4	Análise e quantificação	Número elevado de interfaces
27	Tempo de manutenção	N	30	Cronometragem no Laboratório	Tempo insuficiente para executar a manutenção com qualidade e elevado custo de fabricação
28	Número de ferramentas usadas na montagem	%	Máximo: 12	Análise e quantificação	Complexidade na montagem
29	Nº de etapas do processo de manutenção	n	Máximo: 6	Análise e quantificação	Complexidade na manutenção
30	Percentual de Ferramentas Comuns usadas durante acoplagem/desacoplagem ao engate do trator	n	100	Análise e quantificação	Dificuldade na operação de acoplamento
31	Percentual de Ferramentas Comuns usadas na regulagem	n	100	Análise e quantificação	Elevado número de etapas na regulagem
32	Percentual de atendimento às normas	mm	100	Análise e quantificação	Comprometimento do custo
33	Percentual de itens de reposição comuns	mm	80	Análise e quantificação	Comprometimento com a qualidade
34	Percentual de componentes disponíveis no mercado	min	80	Análise e quantificação	Comprometimento do custo de fabricação
35	Percentual de processos usuais de fabricação mecânica	n	100	Análise e quantificação	Excesso de submontagens
36	Percentual de Ferramentas Comuns usadas na montagem	min	100	Análise e quantificação	Elevado número de etapas na montagem
37	Percentual de Ferramentas Comuns usadas na manutenção	n	100	Análise e quantificação	Elevado número de etapas na manutenção
38	Percentual de componentes com	n	60	Análise e	Comprometimento

	processos comuns de reciclagem			quantificação	do custo de fabricação
39	Intervalo entre manutenções	%	100	Análise e quantificação	Super dimensionamento dos sistemas; Elevado custo de fabricação

Apêndice CI – Função global e estrutura funcional



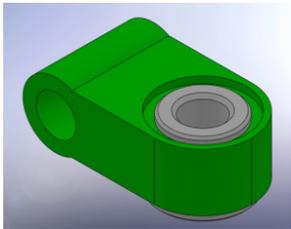
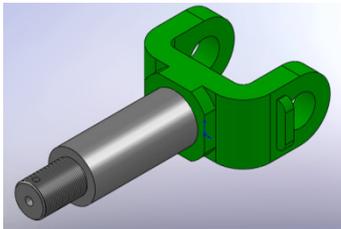
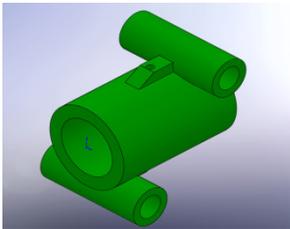
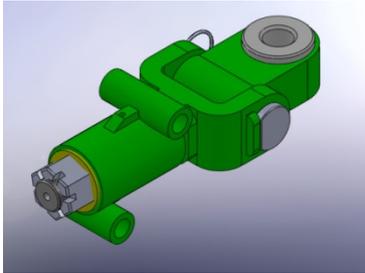
Apêndice CJ – Conceção

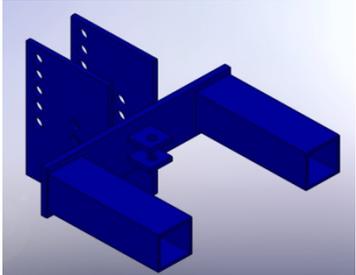
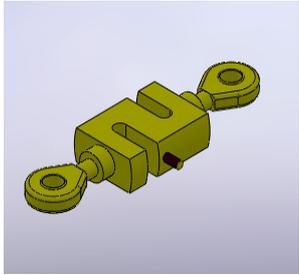
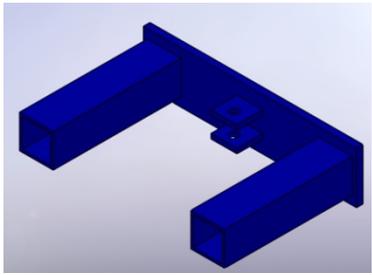
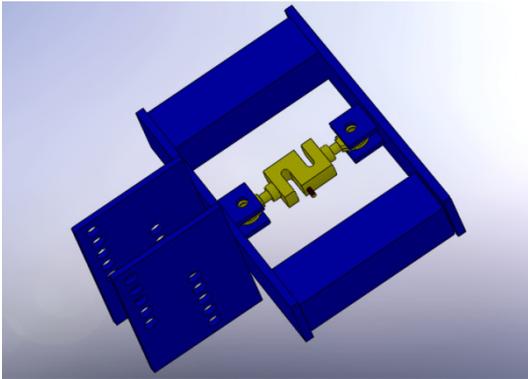
Nome do Projeto Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		Código do Projeto PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento TÉCNICO	Fase do Processo PROJETO CONCEITUAL	Código do Documento DTPC- 02
Nome do Documento Concepção		
CONCEPÇÃO		
		

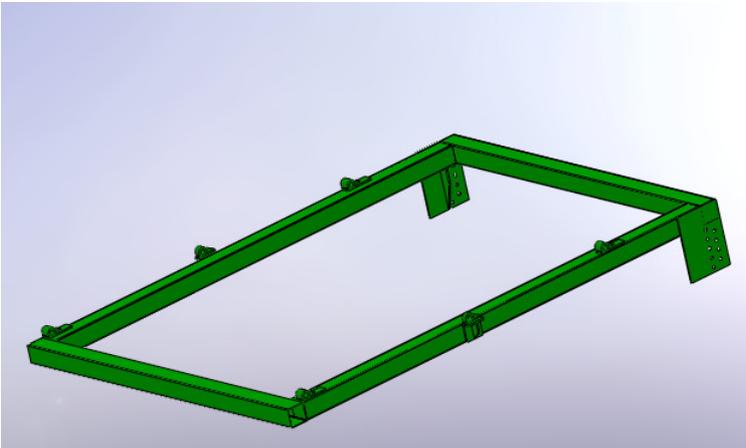
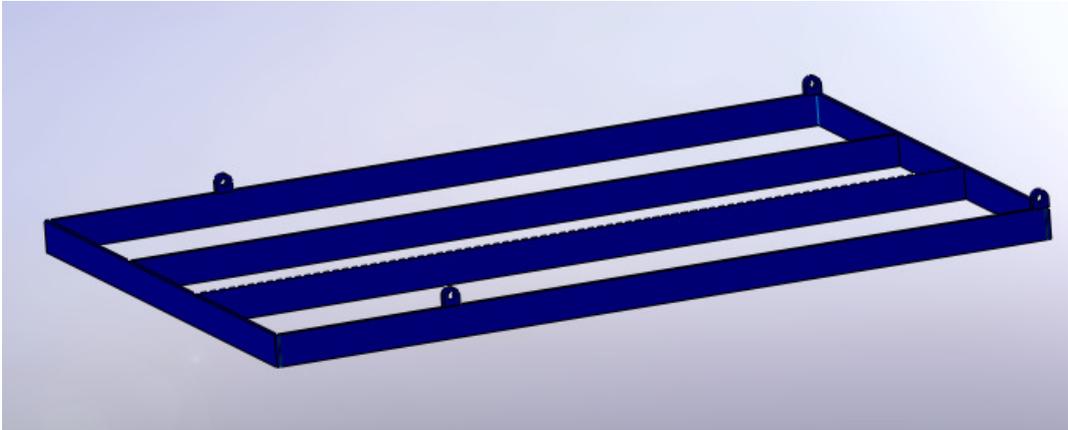
Apêndice CK – Conceito

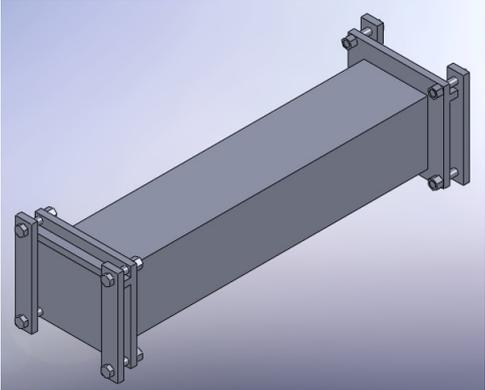
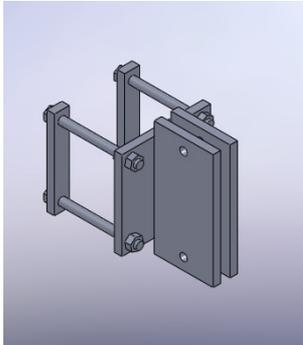
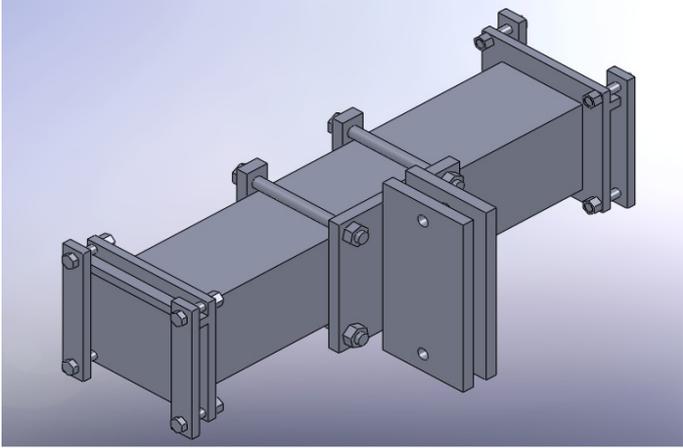
Nome do Projeto		Código do Projeto
Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento	Fase do Processo	Código do Documento
TÉCNICO	PROJETO CONCEITUAL	DTPC- 03
Nome do Documento		
Conceito		
CONCEITO		
<p>Este equipamento tem por finalidade testar a ferramenta a desenvolvida para escarificação em camadas de forma simultânea do solo, ele é versátil, ou seja, tem capacidade para ser utilizado em outros testes e experimentos de natureza similar, apresenta dimensões e regulagens que permitem a montagem de vários arranjos de hastes, é robusto o suficiente para testar até três séries de hastes, desde de que a profundidade não ultrapasse os trinta centímetros. Além disso, possui, articulações no cabeçalho, regulagens de altura, tanto neste quanto no rodado para que a barra de tração e a célula de carga trabalhem sempre na posição horizontal, também é provido de mecanismo hidráulico para inserção, retirada e possível controle de profundidade das hastes no solo e dispositivo que possibilite lastragem.</p>		

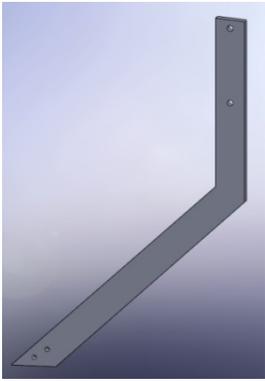
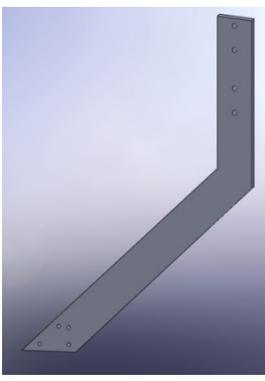
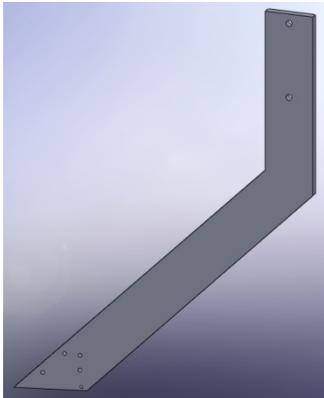
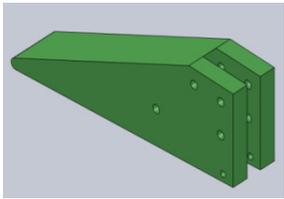
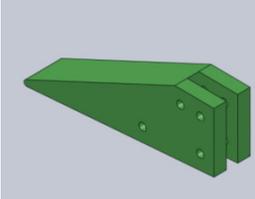
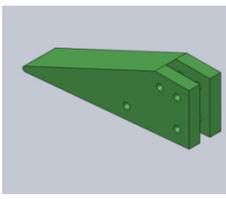
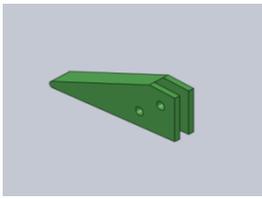
Apêndice CL – Leiaute detalhado

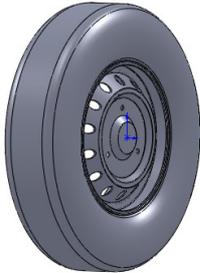
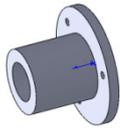
Nome do Projeto Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		Código do Projeto PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento TÉCNICO	Fase do Processo PROJETO PRELIMINAR	Código do Documento DTPP- 01/Pag.1 de 6
Nome do Documento Leiaute Detalhado		
LEIAUTE DETALHADO		
<p>A estrutura porta-ferramentas móvel é composta por seis conjuntos: cabeçalho articulado, módulo de medição, estrutura externa, estrutura interna porta-ferramentas, sistema de regulagem do avanço das hastes, sistema hidráulico pantográfico para movimentação das ferramentas e rodado.</p>		
I) CABEÇALHO ARTICULADO		
<p>É a interface entre o trator e o módulo de medição e carro dinamométrico, tem como função permitir movimentos em dois graus de liberdade de modo a evitar que irregularidades no terreno danifiquem a célula de carga. É composto por três partes principais: engate com trator, articulação intermediária e engate com o módulo de medição.</p>		
		
(a)	(b)	(c)
Componentes do Cabeçalho Articulado: (a) Engate com Trator; (b) Articulador Intermediário; (c) Engate com Módulo de Medição.		
		
Montagem do Conjunto		

Nome do Projeto Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		Código do Projeto PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento TÉCNICO	Fase do Processo PROJETO PRELIMINAR	Código do Documento DTPP- 01/Pag.2 de 6
Nome do Documento Leiaute Detalhado		
II) MÓDULO DE MEDIÇÃO		
<p>É composto por três partes principais, o regulador de nível, a célula de carga e o engate com a estrutura externa do carro. Além de suportar e limitar a atuação célula de carga, também é responsável por regular o nível do carro dinamométrico, em conjunto com o regulador de altura do rodado.</p>		
		
(a)	(b)	(c)
Componentes do Módulo de Medição: (a) Regulador de Nível; (b) Célula de Carga; (c) Engate com Estrutura Externa do Carro Dinamométrico.		
		
Montagem do Conjunto		

Nome do Projeto Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		Código do Projeto PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento TÉCNICO	Fase do Processo PROJETO PRELIMINAR	Código do Documento DTPP- 01/Pag.3 de 6
Nome do Documento Leiaute Detalhado		
III) ESTRUTURA EXTERNA		
<p>A estrutura externa tem como funções, dar rigidez ao carro e suportar o sistema hidráulico pantográfico e o rodado. Na parte superior estão fixados os mancais para os braços do sistema hidráulico, nas laterais têm-se as bases e mancais que apoiarão os cilindros hidráulicos, na parte lateral-posterior localizam-se as chapas reguladoras de nível.</p>		
		
IV) ESTRUTURA INTERNA PORTA-FERRAMENTAS		
<p>Montada com longarinas transversais (2 peças) e longitudinais (4 peças), com aço industrial de 100 mm de altura por 13 mm de espessura. Para experimentos posteriores poderão ser soldadas mais longarinas longitudinais. No plano superior da estrutura estão os mancais onde se encaixam os braços pantográficos.</p>		
		

Nome do Projeto Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		Código do Projeto PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento TÉCNICO	Fase do Processo PROJETO PRELIMINAR	Código do Documento DTPP- 01/Pag.4 de 6
Nome do Documento Leiaute Detalhado		
V) SISTEMA DE REGULAGEM DO AVANÇO DAS HASTES		
<p>Este conjunto é composto por barras deslizantes e presilhas de ligação à estrutura porta-ferramentas, suportes com presilhas que sustentam as hastes, hastes e ponteiras. As barras deslizantes são fixadas a estrutura porta-ferramentas pelas presilhas.</p>		
		
a	b	
		
c		
(a) Barras Deslizantes; (b) Suporte das Hastes com Presilhas; (c) Montagem do Sistema.		

Nome do Projeto Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		Código do Projeto PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1	
Tipo de Documento TÉCNICO	Fase do Processo PROJETO PRELIMINAR	Código do Documento DTPP- 01/Pag.5 de 6	
Nome do Documento Leiaute Detalhado			
VI) HASTES			
<p>A forma das hastes é reta e inclinada a 45°, a espessura destas é variável: a) H100 (9,5 mm); b) H 150/200 (12,7mm); e c) H 300 (15,9mm).</p>			
			
a	b	c	
VII) PONTEIRAS			
<p>As larguras das ponteiras são 61 mm (0,061 m), 38 mm (0,038 m), 32 mm (0,032 m) e 22 mm (0,022 m) respectivamente para PH300, PH 200, PH 150 e PH 100.</p>			
			
PH300	PH 200	PH 150	PH 100

Nome do Projeto Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		Código do Projeto PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento TÉCNICO	Fase do Processo PROJETO PRELIMINAR	Código do Documento DTPP- 01/Pag.6 de 6
Nome do Documento Leiaute Detalhado		
VIII) SISTEMA HIDRÁULICO PANTOGRÁFICO		
<p>O sistema hidráulico pantográfico serve para enterramento no solo e elevação das hastes. Este opera de forma que as hastes penetram o solo com o conjunto em movimento já na posição de trabalho, mantendo o ângulo de ataque das ponteiros constante, o que facilita o enterramento dos órgãos ativos.</p>		
		
IX) RODADO		
<p>O rodado é composto por três conjuntos, o eixo e dispositivo de regulagem da altura, o cubo e pela roda com pneu.</p>		
		
Eixo e Regulagem de Altura	Roda e Pneu	Cubo

Apêndice CL – Desenho dos componentes

Nome do Projeto Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		Código do Projeto PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento TÉCNICO	Fase do Processo PROJETO PRELIMINAR	Código do Documento DTPP- 02/Pag.1
Nome do Documento Desenhos dos Componentes		
Nome do Componente: Cabeçalho Articulado- Articulador Intermediário		
Unidade: mm		
Desenho sem Escala		Projeções Ortogonais e Perspectiva Isométrica

Nome do Projeto		Código do Projeto
Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento	Fase do Processo	Código do Documento
TÉCNICO	PROJETO PRELIMINAR	DTPP- 02/Pag.2
Nome do Documento		
Desenhos dos Componentes		
Nome do Componente: Cabeçalho Articulado-Engate com Módulo de Medição		
Unidade: mm		
Desenho sem Escala	Projeções Ortogonais e Perspectiva Isométrica	

Nome do Projeto		Código do Projeto
Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento	Fase do Processo	Código do Documento
TÉCNICO	PROJETO PRELIMINAR	DTPP- 02/Pag.3
Nome do Documento		
Desenhos dos Componentes		
Nome do Componente: Cabeçalho Articulado-Engate com o trator		
Unidade: mm		
Desenho sem Escala	Projeções Ortogonais e Perspectiva Isométrica	

Nome do Projeto		Código do Projeto
Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento	Fase do Processo	Código do Documento
TÉCNICO	PROJETO PRELIMINAR	DTPP- 02/Pag.4
Nome do Documento		
Desenhos dos Componentes		
Nome do Componente: Módulo de Medição – Regulador de Nível		
Unidade: mm		
Desenho sem Escala	Projeções Ortogonais e Perspectiva Isométrica	

Nome do Projeto		Código do Projeto
Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento	Fase do Processo	Código do Documento
TÉCNICO	PROJETO PRELIMINAR	DTPP- 02/Pag.5
Nome do Documento		
Desenhos dos Componentes		
Nome do Componente: Módulo de Medição – Engate com Estrutura Externa		
Unidade: mm		
Desenho sem Escala	Projeções Ortogonais e Perspectiva Isométrica	

Nome do Projeto Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		Código do Projeto PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento TÉCNICO	Fase do Processo PROJETO PRELIMINAR	Código do Documento DTPP- 02/Pag.6
Nome do Documento Desenhos dos Componentes		
Nome do Componente: Estrutura Externa da EPFM		
<p>The drawing consists of two views of a rectangular component. The top view shows a rectangle with an outer width of 2000 mm and an inner width of 2450 mm. On the right side, there are two sets of protrusions. The top set has a total width of 125 mm, with a 65 mm gap between the two protrusions. The distance from the right edge to the first protrusion is 15,80 mm, and the distance between the two protrusions is 15,80 mm. The total distance from the right edge to the second protrusion is 495,90 mm. The bottom set of protrusions is also 495,90 mm from the right edge. The side view shows a long, thin rectangular bar with a height of 100 mm. At the right end, there is a circular hole with a diameter of 25,60 mm and a depth of 50 mm. The distance from the right edge to the center of the hole is 75 mm.</p>		
Unidade: mm		
Desenho sem Escala	Projeções Ortogonais	

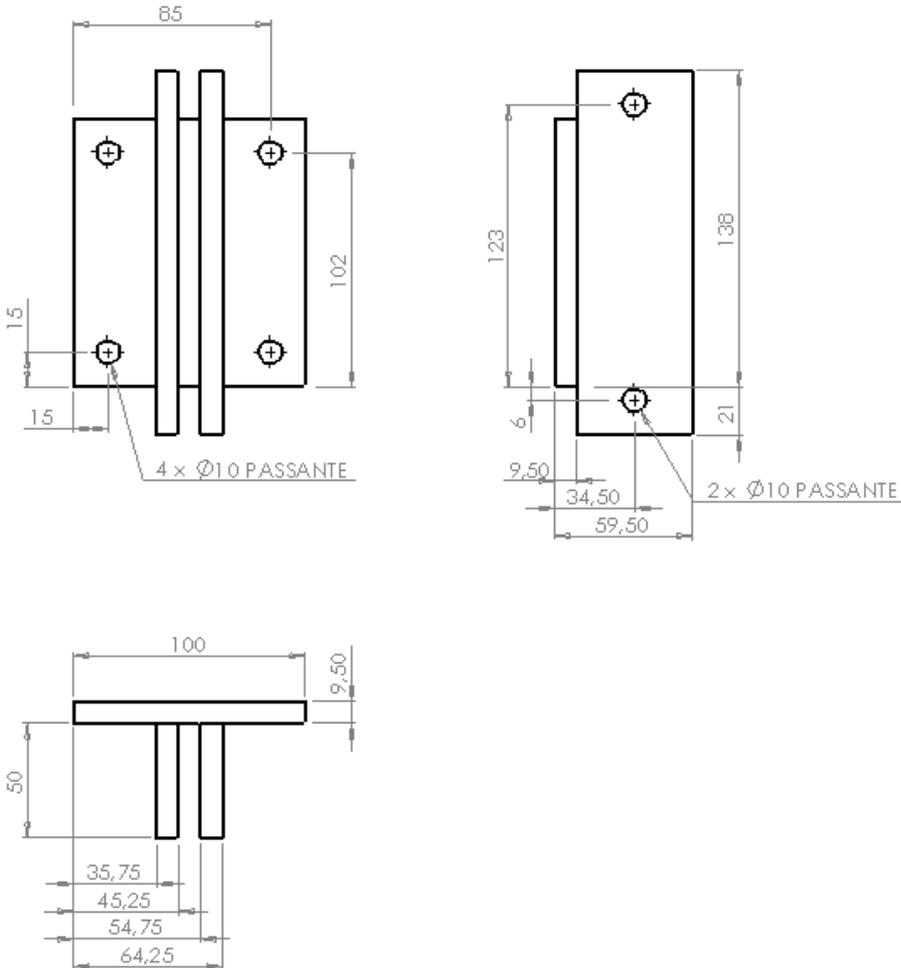
Nome do Projeto Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		Código do Projeto PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento TÉCNICO	Fase do Processo PROJETO PRELIMINAR	Código do Documento DTPP- 02/Pag.7
Nome do Documento Desenhos dos Componentes		
Nome do Componente: Estrutura Interna Móvel porta barras deslizantes		
Unidade: mm		
Desenho sem Escala	Projeções Ortogonais	

Nome do Projeto		Código do Projeto
Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento	Fase do Processo	Código do Documento
TÉCNICO	PROJETO PRELIMINAR	DTPP- 02/Pag.8
Nome do Documento		
Desenhos dos Componentes		
Nome do Componente: Cabeçalho Fixo		
Unidade: mm		
Desenho sem Escala	Projeções Ortogonais	

Nome do Projeto		Código do Projeto
Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento	Fase do Processo	Código do Documento
TÉCNICO	PROJETO PRELIMINAR	DTPP- 02/Pag.9
Nome do Documento		
Desenhos dos Componentes		
Nome do Componente: Cabeçalho Móvel		
Unidade: mm		
Desenho sem Escala	Projeções Ortogonais	

Nome do Projeto Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		Código do Projeto PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento TÉCNICO	Fase do Processo PROJETO PRELIMINAR	Código do Documento DTPP- 02/Pag.10
Nome do Documento Desenhos dos Componentes		
Nome do Componente: Barras Deslizantes para H 100/150/200		
Unidade: mm		
Desenho sem Escala	Projeções Ortogonais	

Nome do Projeto		Código do Projeto
Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento	Fase do Processo	Código do Documento
TÉCNICO	PROJETO PRELIMINAR	DTPP- 02/Pag.11
Nome do Documento		
Desenhos dos Componentes		
Nome do Componente: Barras Deslizantes para H 300		
Unidade: mm		
Desenho sem Escala		Projeções Ortogonais

Nome do Projeto Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		Código do Projeto PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento TÉCNICO	Fase do Processo PROJETO PRELIMINAR	Código do Documento DTPP- 02/Pag.12
Nome do Documento Desenhos dos Componentes		
Nome do Componente: Suporte para H 100		
		
Unidade: mm		
Desenho sem Escala	Projeções Ortogonais	

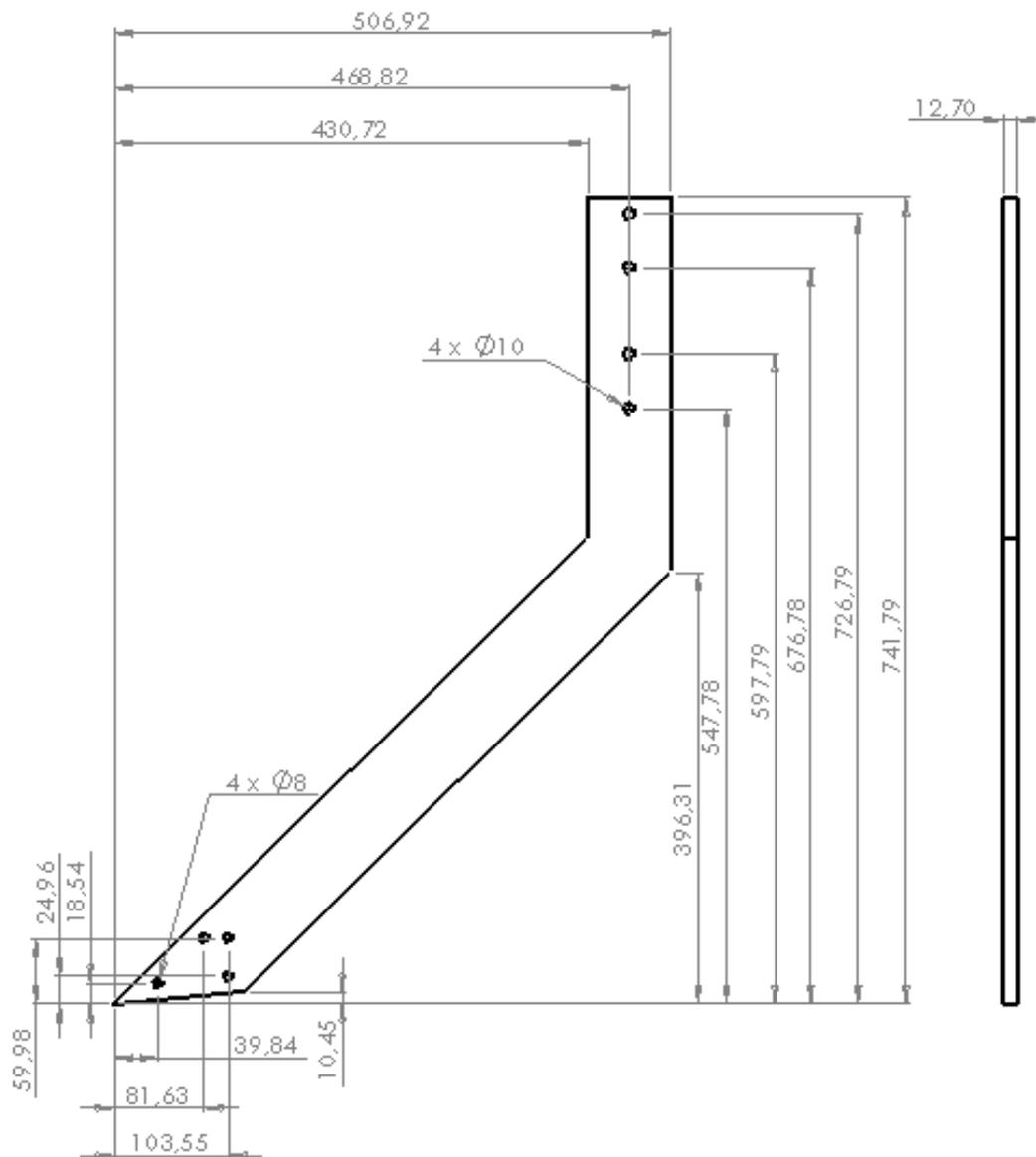
Nome do Projeto		Código do Projeto
Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento	Fase do Processo	Código do Documento
TÉCNICO	PROJETO PRELIMINAR	DTPP- 02/Pag.13
Nome do Documento		
Desenhos dos Componentes		
Nome do Componente: Suporte para H 150/200		
Unidade: mm		
Desenho sem Escala	Projeções Ortogonais	

Nome do Projeto Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		Código do Projeto PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento TÉCNICO	Fase do Processo PROJETO PRELIMINAR	Código do Documento DTPP- 02/Pag.14
Nome do Documento Desenhos dos Componentes		
Nome do Componente: Suporte para H 300		
Unidade: mm		
Desenho sem Escala		Projeções Ortogonais

Nome do Projeto		Código do Projeto
Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento	Fase do Processo	Código do Documento
TÉCNICO	PROJETO PRELIMINAR	DTPP- 02/Pag.15
Nome do Documento		
Desenhos dos Componentes		
Nome do Componente: Haste H 100		
Unidade: mm		
Desenho sem Escala	Projeções Ortogonais	

Nome do Projeto Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		Código do Projeto PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento TÉCNICO	Fase do Processo PROJETO PRELIMINAR	Código do Documento DTPP- 02/Pag.16
Nome do Documento Desenhos dos Componentes		

Nome do Componente: Haste H 150/200



Unidade: mm

Desenho sem Escala

Projeções Ortogonais

Nome do Projeto		Código do Projeto
Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento	Fase do Processo	Código do Documento
TÉCNICO	PROJETO PRELIMINAR	DTPP- 02/Pag.17
Nome do Documento		
Desenhos dos Componentes		
Nome do Componente: Haste H 300		
Unidade: mm		
Desenho sem Escala	Projeções Ortogonais	

Nome do Projeto Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		Código do Projeto PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento TÉCNICO	Fase do Processo PROJETO PRELIMINAR	Código do Documento DTPP- 02/Pag.18
Nome do Documento Desenhos dos Componentes		
Nome do Componente: Ponta H 100		
<p>The drawing includes the following views and dimensions:</p> <ul style="list-style-type: none"> Main Orthographic View (Top-Left): Shows a tapered component with a top edge length of 115,11 mm and a bottom edge length of 130,33 mm. The angle between the top and bottom edges is 20,28°. A horizontal dimension of 27,07 mm is shown at the top right. A vertical dimension of 15 mm is shown on the right side. A hole with a diameter of $\varnothing 8$ is located on the right side. Other vertical dimensions on the right are 31,68 mm, 43,63 mm, and 10,73 mm. A horizontal dimension of 37,56 mm is shown at the bottom left. Side Orthographic View (Top-Right): Shows a rectangular profile with a width of 22,10 mm and a height of 54,37 mm. Bottom Orthographic View (Bottom-Left): Shows a rectangular profile with a length of 133,13 mm and a thickness of 9,50 mm. Perspective View (Bottom-Right): Shows the 3D form of the component, highlighting its tapered shape and the hole. 		
Unidade: mm		
Desenho sem Escala	Projeções Ortogonais e Perspectiva	

Nome do Projeto		Código do Projeto
Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento	Fase do Processo	Código do Documento
TÉCNICO	PROJETO PRELIMINAR	DTPP- 02/Pag.19
Nome do Documento		
Desenhos dos Componentes		
Nome do Componente: Ponta H 150		
<p>The drawing includes four views of the Ponta H 150 component:</p> <ul style="list-style-type: none"> Top View: Shows a trapezoidal shape with dimensions: 41.44 (height), 207.52 (bottom width), 78.77 (bottom offset), 21.92 (top offset), 43.09 (top width), 15 (height of top section), 50.03 (total height), 64.54 (right offset), and 15.05 (bottom offset). Side View: Shows a rectangular profile with dimensions: 9.50 (width), 9.50 (width of top section), and 12.70 (height). Bottom View: Shows a rectangular profile with dimensions: 31.70 (height), 209.92 (total width), and 166.83 (width of top section). Perspective View: Shows the 3D shape of the component with four circular holes. 		
Unidade: mm		
Desenho sem Escala	Projeções Ortogonais e Perspectiva	

Nome do Projeto Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		Código do Projeto PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento TÉCNICO	Fase do Processo PROJETO PRELIMINAR	Código do Documento DTPP- 02/Pag.20
Nome do Documento Desenhos dos Componentes		
Nome do Componente: Ponta H 200		
Unidade: mm		
Desenho sem Escala	Projeções Ortogonais e Perspectiva	

Nome do Projeto		Código do Projeto
Porta Ferramentas e Hastes para Escarificação em Camadas		PROJ.EPFM & HEMC.LSG 1
Tipo de Documento	Fase do Processo	Código do Documento
TÉCNICO	PROJETO PRELIMINAR	DTPP- 02/Pag. 21
Nome do Documento		
Desenhos dos Componentes		
Nome do Componente: Ponta H 300		
Unidade: mm		
Desenho sem Escala	Projeções Ortogonais e Perspectiva	

Apêndice D – Fotos

		
a) Uso do Penetrolog	b) Quadro de Comando da Instrumentação	c) Trator utilizado no Teste de Campo
		
d) Escarificação em três camadas	e) Hastes prestes a serem enterradas	f) Visão posterior das hastes que estão alinhadas
		
g) Conjunto Trator – EPFM e Ferramentas		