



UNICAMP
FEAGRI

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO ENERGÉTICO APRESENTADO POR
TRÊS FORMAS GEOMÉTRICAS DE LÂMINAS DE ENXADA ROTATIVA**

por

Admilson Írio Ribeiro

Parecer

Este exemplar corresponde a
redução final da dissertação de
Mestrado defendida por Admil-
son Írio Ribeiro, e aprovada
pela Comissão Julgadora em 29
de agosto de 1997. Campinas,
01 de dezembro de 1997.

Orientador

Prof. Dr. Antônio J. da S. Maciel

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia
Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, como
requisito parcial à obtenção do título de mestre em
Engenharia Agrícola

Área de concentração: **Máquinas Agrícolas**

Presidente da Banca
[Assinatura]

CAMPINAS - SP

AGOSTO/97

001591

J. CHAMADA:	
T/20/10/1998	
R354e	
Ex.	
OMBO BC/	32640
ROC.	395198
C	☐
D	☒
RECO	341100
ATA	19/10/1998
CPD	

CM-00104927-3

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

R354e Ribeiro, Admilson Irio
Estudo do comportamento energético apresentado por
três formas geométricas de lâminas de enxada rotativa. /
Admilson Irio Ribeiro.--Campinas, SP: [s.n.], 1997.

Orientador: Antônio J. da S. Maciel
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Máquinas agrícolas. 2. Solos - Manejo. 3.
Agricultura e energia. I. Maciel, Antônio J. da S. . II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Agrícola. III. Título.

O primeiro sulco aberto pelo
homem selvagem na face da terra foi o
primeiro ato de civilização.

Lamartine

À meus pais

José Ribeiro Sobrinho & Maria Aparecida Ribeiro

e meus irmãos

Dedico

AGRADECIMENTOS

A conclusão do presente trabalho tornou-se possível graças a colaboração e estímulo de diversas pessoas e instituições às quais agradeço com sinceridade e presto minhas homenagens:

Ao Prof. Dr Antônio José da Silva Maciel, pela orientação deste trabalho, pela colaboração e principalmente pela amizade.

À CAPES - Coordenadoria de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro.

À FEAGRI - Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, pela oportunidade concedida.

Aos professores e funcionários da FEAGRI

À FCA - Faculdade de Ciências Agrômicas / UNESP - Campus Botucatu, pela colaboração e apoio na parte experimental.

À CEMAG S. A., na pessoa do Sr José Roberto Prado, pelo empréstimo da enxada rotativa estudada.

Aos professores e amigos das seguintes instituições:

FEAGRI

Prof. Dr. Inácio Maria Dal Fabbro

Prof. Dr. Nelson Luís Capelli

Prof. Dr. Claudio B. Sverzut

Prof. Dr. Carlos Roberto Espíndola

Prof. João Carlos Maia

FCA

Prof. Dr. Carlos Antônio Gamero

Prof. Dr. Sérgio Hugo Benez

UFLA

Prof. Dr. Nilson Salvador

Prof. Carlos Eduardo Volpato

Prof. Tomás de Aquino Ferreira

Prof. Giovanni F. Rabelo

Prof. Pedro de Castro Neto

No mundo existem pessoas tão especiais que já nascem com nome de rainha, obrigado Regina, pelo apoio amizade e carinho

Aos engenheiros e amigos: Antônio Carlos Néri, Carlos Alberto A. Oliveira, Wladimir A. C. Júnior, Alberto K. Nagacka, Suedêmio, Jane M. de Carvalho, Paulo Marinho Claudio Umezu, Arsênio Isnaga, Fábio Serpa, pelo auxílio no decorrer do trabalho.

Sei que é impossível agradecer convenientemente ou sequer reconhecer a influência que os colegas exercem sobre nosso trabalho portanto gostaria de agradecer também aos seguintes colegas e amigos

À minha amiga Maria Carmem Alvarenga e sua família, pelo carinho e amizade

Aos meus amigos Carlos (Cal) e Pedrão pela compreensão no cotidiano

As irmãs Montagner, Márcia e Ana, que sempre me apoiaram

Ao colega Eng. Afonso Lopes, pelo apoio dado na fase experimental

Ao Sr Walter Rodrigues, pelo apoio e incentivo.

Erika C. Rodrigues, pelo apoio e incentivo nos momentos difíceis.

A Jacqueline Bernucci, pelo incentivo e apoio

À todos colegas da Pós-graduação da FEAGRI - UNICAMP meu muito obrigado pela compreensão e entendimento

SUMÁRIO

SUMÁRIO	V
LISTA DE TABELAS	VII
LISTAS DE FIGURAS.....	VIII
RESUMO.....	IX
ABSTRACT.....	X
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. Preparo do solo	4
3.2. Enxada rotativa - parâmetros fundamentais.....	6
3.3. Energia e desempenho operacional	10
4. MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1. MATERIAL	14
4.1.1. Caracterização do local	14
4.1.2. Caracterização do solo.....	15
4.1.3. Trator - enxada rotativa	16
4.1.4. Instrumentação requerida para avaliação das variáveis envolvida no ensaio	17
4.2. MÉTODOS.....	19
4.2.1. Delineamento experimental	19
4.2.2. Tratamentos de preparo do solo	20
4.2.3. Descrição dos ensaios	21
4.2.4. Análise granulométrica do solo	21
4.2.5. Densidade de partículas do solo	21
4.2.6. Ensaio proctor normal de compactação.....	21
4.2.7. Teor de água no solo	22
4.2.8. Determinação da densidade do solo	22
4.2.9. Determinação da velocidade de deslocamento do conjunto trator-enxada rotativa.	22
4.2.10. Avaliação do Perfil mobilizado no solo.....	22
4.2.11. Avaliação da desagregação do solo na camada mobilizada.....	24
4.2.12. Calibrações dos instrumentos de medição.....	24
4.2.13. Determinação do conjugado na TDP	24
4.2.14. Determinação do conjugado específico.....	27
4.2.15. Análise estatística.....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1. Rotação na TDP.....	30
5.2. Conjugado na TDP	31
5.3. Área mobilizada do solo.....	33
5.4. Área de elevação do solo.....	35
5.5. Empolamento do solo	36
5.6. Diâmetro médio geométrico dos agregados do solo (D.M.G.)	37
5.7. Conjugado específico	39

6. CONCLUSÕES.....	42
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
8. APÊNDICES.....	50

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO.....	16
TABELA 2 - TRATAMENTOS.....	21
TABELA 3 - ROTAÇÃO NA TDP EM FUNÇÃO DO TIPO DE LÂMINA.....	30
TABELA 4 - ROTAÇÃO NA TDP EM FUNÇÃO DO ROTAÇÃO NO ROTOR.....	30
TABELA 5 - ROTAÇÃO NA TDP EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO.....	31
TABELA 6 - CONJUGADO NA TDP EM FUNÇÃO DO TIPO DE LÂMINA.....	32
TABELA 7 - CONJUGADO NA TDP EM FUNÇÃO DA ROTAÇÃO NO ROTOR.....	32
TABELA 8 - CONJUGADO NA TDP EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO.....	33
TABELA 9 - ÁREA MOBILIZADA EM FUNÇÃO DO TIPO DE LÂMINA.....	33
TABELA 10 - ÁREA MOBILIZADA EM FUNÇÃO ROTAÇÃO NO ROTOR.....	33
TABELA 11 - ÁREA MOBILIZADA DO SOLO EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO.....	34
TABELA 12 - ÁREA DE ELEVAÇÃO DO SOLO EM FUNÇÃO DO TIPO DE LÂMINA.....	35
TABELA 13 - ÁREA DE ELEVAÇÃO DO SOLO EM FUNÇÃO ROTAÇÃO NO ROTOR.....	35
TABELA 14 - ÁREA DE ELEVAÇÃO DO SOLO EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO.....	36
TABELA 15 - EMPOLAMENTO DO SOLO EM FUNÇÃO DO TIPO DE LÂMINA.....	36
TABELA 16 - EMPOLAMENTO DO SOLO EM FUNÇÃO DA ROTAÇÃO NO ROTOR.....	37
TABELA 17 - EMPOLAMENTO DO SOLO EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO.....	37
TABELA 18 - DMG DO SOLO EM FUNÇÃO DO TIPO DE LÂMINA.....	38
TABELA 19.- DMG DO SOLO EM FUNÇÃO DA ROTAÇÃO NO ROTOR.....	39
TABELA 20 - DMG DO SOLO EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO.....	39
TABELA 21 - CONJUGADO ESPECÍFICO EM FUNÇÃO DO TIPO DE LÂMINA.....	40
TABELA 22 - CONJUGADO NA ESPECÍFICO EM FUNÇÃO DA ROTAÇÃO NO ROTOR.....	40
TABELA 23 - CONJUGADO ESPECÍFICO EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO.....	41

LISTAS DE FIGURAS

FIGURA 1 - FATORES QUE INFLUENCIAM NO PREPARO DO SOLO.....	2
FIGURA 2 - ENXADA ROTATIVA.....	11
FIGURA 3 - TRAJETÓRIA CICLÓIDE DESCRITA PELA BORDA CORTANTE DA LÂMINA.....	13
FIGURA 4 - FORMAS GEOMÉTRICAS DE LÂMINAS ESTUDADAS.....	17
FIGURA 5 - TRANSDUTOR T30FN.....	18
FIGURA 6 -PENEIRA ROTATIVA A) VISTA FRONTAL B) VISTA LONGITUDINAL.....	19
FIGURA 7 - ÁREAS UTILIZADAS PARA AQUISIÇÃO DE DADOS.....	20
FIGURA 8 -ESQUEMA DE AVALIAÇÃO DO SOLO MOBILIZADO.....	25
FIGURA 9 - ANÁLISE ESPECTRAL DOS SINAIS.....	26
FIGURA 10 - SINAL ORIGINAL DE ROTAÇÃO NA TDP.....	27
FIGURA 11 - SINAL FILTRADO DE ROTAÇÃO NA TDP.....	27
FIGURA 12 - SINAL FILTRADO DE CONJUGADO NA TDP.....	28

RESUMO

O presente trabalho foi conduzido de forma experimental a campo na Faculdade de Ciências Agronômicas UNESP - Campus Botucatu Estado de São Paulo em área de Terra Roxa Estruturada, visando verificar o comportamento energético apresentado por três lâminas de enxada rotativa e identificar a resposta de cada Lâmina na operação de preparo do solo referente a qualidade final do trabalho. Os parâmetros energéticos avaliados foram: Conjugado na TDP, conjugado específico e rotação na TDP. A qualidade final do trabalho foi avaliada através dos seguintes parâmetros: diâmetro médio geométrico dos agregados do solo [DMG], área mobilizada, área de elevação e empolamento do solo

O experimento foi conduzido em delineamento estatístico de blocos ao acaso com quatro repetições.

Os resultados mostraram que a lâmina chamada de lâmina modificada [LM], apresentou um menor requerimento energético quando comparado com a lâmina especial [LE] e lâmina Cemag [LC]. A qualidade final do trabalho foi pouco influenciada pelos parâmetros estudados, sendo que, a lâmina denominada lâmina especial [LE] apresentou uma maior área mobilizada, quando comparada com a lâmina Cemag [LC] e lâmina modificada [LM].

ABSTRACT

This work was carried out in the Experimental Field of the Faculdade de Ciências Agrômicas UNESP / Botucatu SP on Terra Roxa Estruturada soil type aiming to verify the energy behavior for three different blades of rotary tiller and to identify the performance of each blade during the tillage related to the best quality of the final soil preparation.

The energy parameters evaluated were: Conjugate in TPO, rotation in TPO and specific conjugate.

The final quality of the prepared soil was evaluated by the following parameters: Geometric mean diameter of aggregates [DMG], mobilized area, elevation area and upheaval.

The experiment was conducted through randomized blocks with four replications.

The results showed that the modified blade [LM] presented a low energy requirement in comparison with the special blade [LE] and with Cemag Blade [LC].

The final soil preparation quality was affected a little by the studied parameters, and the special blade [LE] has been produced the largest mobilized area, in comparison with the Cemag blade [LC] and with the modified blade [LM].

1. INTRODUÇÃO

A transição de uma economia baseada na caça e na coleta para outra sustentada pela agricultura sedentária, não só permitiu um crescimento extraordinário da humanidade mas também tornou possível o aparecimento de aldeias comunitárias. Nesse processo de desenvolvimento o consumo energético na agricultura deu-se de forma muito lenta até meados do século XIX, quando foram empregadas as primeiras máquinas a vapor no trabalho agrícola. Com a rápida evolução dos conglomerados humanos, dada a grande capacidade de produção da indústria e agricultura, a humanidade deparou-se com problemas relacionados ao meio ambiente e também um grande aumento no consumo energético, nos mais diferentes setores da sociedade. Dado a esse grande desenvolvimento, um dos grandes desafios da atualidade para agricultores, pesquisadores e industriais é o aumento da produção agrícola sem o correspondente aumento do consumo energético (BOWERS JR, 1985), sendo que estimativas indicam que 2.5% da energia consumida mundialmente é utilizada na produção agrícola e dessa percentagem 20% é empregado em operações de preparo do solo o qual é feito das mais variadas formas, utilizando-se de diversos equipamentos. Neste contexto a enxada rotativa é um equipamento de preparo do solo de alta eficiência de transmissão e de grande utilização em operações de cultivo, pois tem a vantagem de realizar o preparo para semeadura numa única operação, permitindo também um bom controle do trabalho realizado.

Em virtude disto, otimizar o desempenho de máquinas agrícolas, principalmente as de preparo do solo, é um fator crucial, para redução dos custos de produção na agricultura. Para a enxada rotativa um importante passo necessário a essa otimização é maximizar a

eficiência do combustível empregado na operação e minimizar o total de tempo de sobrecarga da máquina em condição campo. Para que isto ocorra é necessário que a ferramenta em contato com o solo seja bem definidas no projeto, levando em consideração o formato e o movimento. A FIG.1.mostra a relação existente entre o preparo do solo e a ferramenta

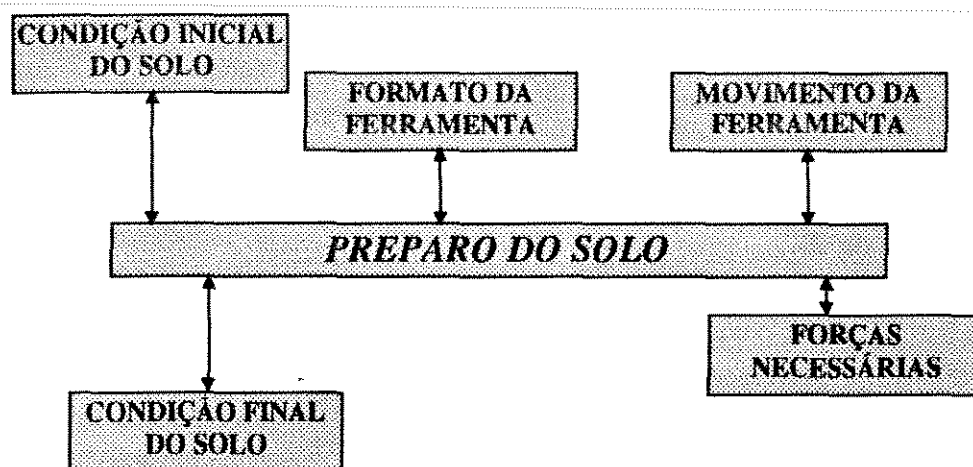


FIGURA 1 - Fatores que influenciam no preparo do solo

Dado o que foi mencionado anteriormente, estudou-se nesse presente trabalho o comportamento energético apresentado por três formas geométricas de lâminas de enxada rotativa. Os parâmetros energéticos avaliados foram: conjugado, conjugado específico, e rotação. A qualidade final do preparo foi determinada através dos seguintes parâmetros: Diâmetro médio geométrico dos agregados do solo [DMG]; área mobilizada, área de elevação e empolamento.

As lâminas consistem em formas geométricas que possuem penetração progressiva, sendo denominadas: lâmina especial [LE]; lâmina especial modificada [LM] e lâmina Cemag [LC]. A lâmina chamada de especial, foi descrita e construída por (MACIEL, 1993) e caracteriza-se por possuir um perímetro de corte maior, enquanto a lâmina Cemag consiste em uma geometria de origem européia.

O trabalho tem como hipótese básica a existência de uma variação entre o requerimento energético da enxada rotativa para determinado solo, de acordo com a forma geométrica da lâmina equipada.

2. OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho foram:

- Comparar o requerimento energético apresentado por três formas geométricas de lâminas de enxada rotativa.
- Identificar a resposta de cada lâmina submetida a operação de preparo do solo, através de parâmetros que determinam a qualidade final do preparo

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Preparo do solo

O solo é um recurso básico que suporta quase toda cobertura vegetal da terra, sem a qual os seres vivos não poderiam existir. Nessa cobertura incluem-se não só culturas como também, todos os tipos de árvores, gramíneas raízes e herbáceas que podem ser utilizadas pelo homem. (BERTONI, 1968).

Há mais ou menos 5000 anos a.C. o homem emprega artifícios mecânicos na agricultura, para colocar o solo no estado físico desejado pelas culturas, HÉNIN et al. (1976) comentam que o objetivos do preparo do solo são os seguintes:

- a) Destruir as plantas invasoras e numa certa medida combater a manutenção ou proliferação dos parasitas do solo;
- b) Incorporar ao solo a massa dos resíduos de colheitas os corretivos e os adubos orgânicos minerais;
- c) Controlar a circulação da água no solo e, em particular, aumentar a infiltração da água e do escoamento saturante;
- d) Criar um estado estrutural do solo favorável à germinação das sementes, à instalação de culturas e ao bom funcionamento do sistema radicular dos vegetais cultivados;

Segundo KEPNER et al. (1978) e VEZ (1984), o objetivo do preparo do solo é dar condições favoráveis à germinação de sementes e ao crescimento de raízes e controlar: plantas invasoras, erosão e teor de água no solo

HUNT (1986) define o preparo periódico do solo como as atividades de inversão mecânica do mesmo com propósito de permitir os cultivos. Raramente o preparo do solo é efetuado baseando-se em um estudo objetivo. As justificativas normalmente empregadas são: controle de plantas invasoras; manejo de resíduos vegetais superficiais; melhoria da aeração e porosidade do solo; preparo de um bom leito de semeadura; modificação do micro relevo terreno; controle de insetos; auxiliar no controle de doenças; melhoria nas condições físicas do solo; incorporação de fertilizantes e corretivos; facilidade no desenvolvimento radicular de plantas; auxiliar no controle de erosão; elevação da temperatura do solo; rompimento dos horizontes compactados e melhoria da infiltração de água no solo.

BALASTREIRE (1987) classifica o preparo do solo em dois tipos :

Preparo inicial, que compreende as operações necessárias para criar condições de implantação de culturas em áreas anteriormente utilizadas, sendo constituída das seguintes fases :

- (a) Desmatamento
- (b) Enleiramento
- (c) Limpeza

Preparo periódico do solo consiste em operações de movimentação da camada superficial do solo, com finalidade de instalação de culturas periódicas.

Segundo JORGE (1984), o manejo do solo envolve todas operações de cultivo, como: aração, gradagem, plantio, subsolagem e outras necessárias à produção econômica das culturas, incluindo, ainda adubação e calagem. O objetivo do manejo correto é manter

altas produtividade do solo minimizando a erosão, a lixiviação ou a volatilização de nutrientes e conservando a água disponível às culturas na fase de crescimento e produção.

ORTIZ-CAÑAVATE (1980) distingue duas etapas de preparo periódico do solo:

- a) primária - trabalha a camada superficial do solo até 20 ou 35cm de profundidade e é realizada com arados, escarificadores, equipamentos acionados e grade de disco pesadas.
- b) secundária ou complementar - trabalha o solo superficialmente, até 15 cm de profundidade e é, geralmente, realizada com grade de discos leve, enxada rotativa e outros equipamentos. O preparo primário é mais agressivo, deixando a superfície do terreno muito irregular, enquanto o preparo secundário trabalha intensamente a superfície completando a operação primária, com o propósito de destorroar, nivelar e adensar o solo, eliminando plantas daninhas e bolsões de ar (KEPNER et al. 1978).

GAMERO & BENEZ (1990) relatam que diferentes sistemas de preparo, operando num determinado tipo de solo, sob mesma condições de cobertura vegetal e de teor de água, podem levar à obtenção de distribuições de agregados por tamanhos semelhantes, desde que os equipamentos utilizados em cada sistema estejam devidamente regulados para tal objetivo, ou seja, fica difícil generalizar se um equipamento de preparo do solo é melhor que outro existente no mercado, sendo que qualquer equipamento utilizado inadequadamente pode ser extremamente prejudicial ao solo.

3.2 Enxada rotativa - parâmetros fundamentais

Somente em meados do século XIX foi que a maquinaria agrícola, como a ceifadeira e o trator movido a vapor, começaram a ser adotados pelos agricultores. Com enxada rotativa isto não foi diferente, seu primeiro protótipo foi projetado em 1940, Spence (1940) apud HENDRICK, GILL (1971). Porém as primeiras patentes foram requeridas na Europa na década de 50 (MIALHE, 1969). No entanto fabricantes suíços em 1930, começaram a introduzir as primeiras enxadas rotativas na América, ocasionando nos anos

posteriores a industrialização desta máquina por diversas empresas norte americanas. A FIG. 2 mostra a enxada rotativa de rotor na horizontal

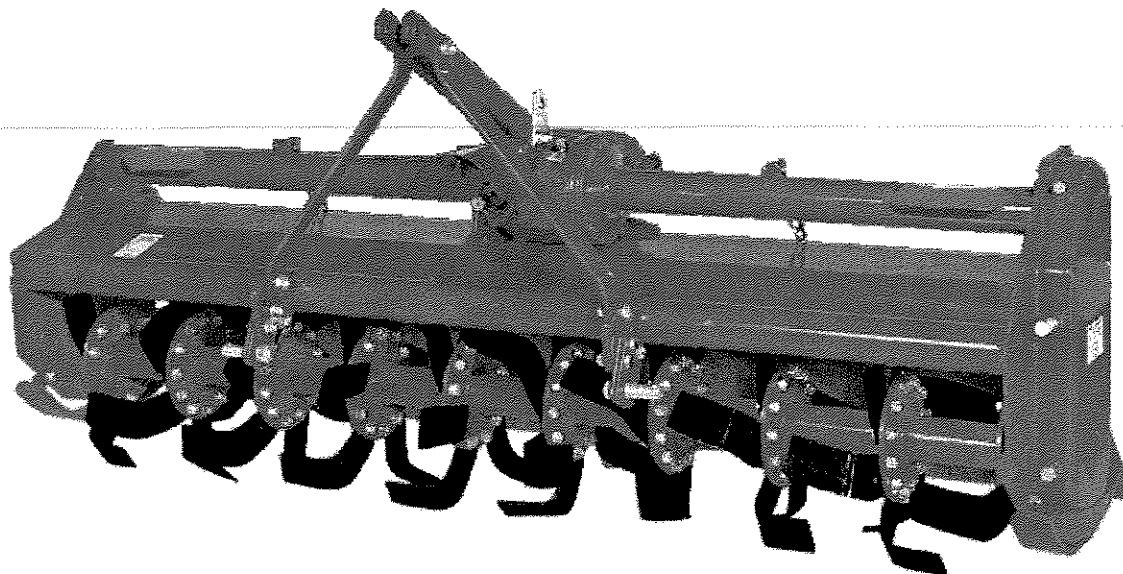


FIGURA 2. - Enxada rotativa

A enxada rotativa é um equipamento que substitui o arado e a grade, executando a operação de preparo do solo em uma única operação (SEGUY et al. 1984). No Brasil as primeiras enxadas rotativas surgiram no final da década de 60, apresentando inúmeros problemas tanto de projeto quanto na sua utilização correta, dificultando o aceite desta tecnologia (SILVEIRA,1989)

CASTELLI (1978) afirma que ferramentas rotativas podem estar fixadas tanto em eixos paralelos ao solo e perpendiculares à direção do movimento (rotor horizontal) como também em eixos perpendiculares ao solo (rotor vertical), sendo as de eixo vertical mais utilizadas em equipamentos conjugados.

BALASTREIRE (1987) comenta que a maioria das enxadas rotativas encontradas em nosso meio são utilizadas principalmente para eliminação de plantas invasoras em culturas perenes, ou em preparo de solo visando a horticultura. O contorno das fatias de

solo cortadas é dado por duas ciclóides, formadas por duas facas operando sucessivamente, sendo calculado por:

$$l = \frac{v}{u} \frac{2\pi R}{z} \quad [3]$$

Onde:

l - largura da fatia de solo [m];

v - velocidade deslocamento [m/s];

u - velocidade periférica da faca [rpm];

R - raio do rotor [m];

z - número de elementos operando em plano de corte ,

Segundo SILVEIRA (1989), as lâminas universais são recomendadas para terrenos secos e limpos, exigindo um pouco mais de potência do que as lâminas velozes, que são recomendadas para terrenos com teor de água elevado. Constatação semelhante foi obtida por GAMERO (1991), que avaliou o desempenho de uma enxada rotativa em função do tipo de lâmina, do número de pares de lâminas por flange, da rotação do rotor e da velocidade de deslocamento.

HENDRICK & GILL (1971) fizeram uma análise teórica de uma lâmina de enxada rotativa com eixo horizontal , e apresentaram as seguintes equações horárias:

$$x = vt + R \cos \omega t \quad [4]$$

$$y = \text{sen } \omega t \quad [5]$$

Onde:

R - raio do rotor [m];

t - tempo [s];

v - velocidade de deslocamento [m/s];

ω - velocidade angular do rotor [rpm];

Trajatória ciclóide descrita pela borda cortante da lâmina é função do raio do rotor, da rotação do rotor e da velocidade de deslocamento do conjunto trator-enxada rotativa, conforme mostra FIG. 3.

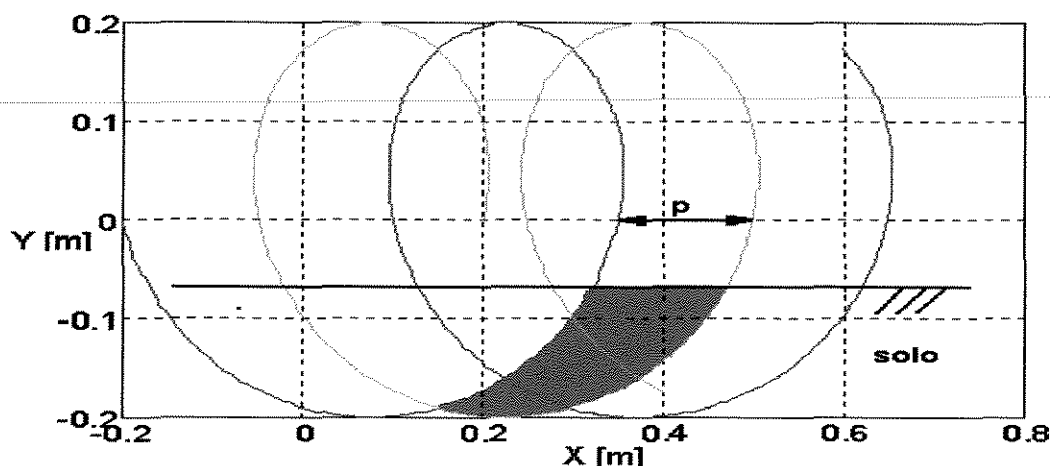


FIGURA 3 - Trajetória ciclóide descrita pela borda cortante da lâmina

MACHADO et al (1996) comentam sobre as varias formas geométricas de lâminas de enxada rotativa existente no mercado.

Reto: trata-se de um tipo de lâmina pouco utilizado, indicado para terrenos limpos

Em L: Também conhecida como universal, apresenta problema de alisar demasiadamente o solo.

Em C: Também conhecida como veloz formato intermediário entre os citados

Em T: Tipo de lâmina utilizado em terrenos difíceis de trabalhar.

Em U: é um tipo de lâmina que apresenta um bom trabalho, principalmente, em terrenos duros.

Flexível: Trata-se de um tipo de lâmina que apresenta vibração ao mesmo tempo que mobiliza o solo.

3.3. Energia e desempenho operacional

O avanço da tecnologia modificou o modo de vida das pessoas, as quais passaram a consumir mais energia (SMITH & FORNSTRON, 1980). A agricultura moderna não foge à regra, pois suas práticas são mais intensas e mais dependentes de combustíveis, pesticidas e fertilizantes. O consumo de energia no campo é muito importante e por isso, deve ser considerado na administração das propriedades agrícolas.

Para BURT & BAILEY (1982) as mudanças na economia, juntamente com os avanços na tecnologia, têm levado os estudiosos da área agrônômica e agricultores à obtenção de sistemas agrícolas econômicos e tecnicamente viáveis. Tem-se dado, cada vez mais, importância a sistemas com eficiência de energética. BURT et al. (1979) afirmam que a viabilidade e o custo dos combustíveis líquidos continuam sendo um problema mundial na agricultura mecanizada. Atualmente têm sido feitos muitos esforços para desenvolver sistemas de cultivo que minimizem o uso de combustíveis na produção das culturas.

Segundo BRIDGES & SMITH (1979), máquinas maiores não representam maior consumo de energia por área. Reduzir o tamanho de implementos para melhorar a economia de combustível não é correto, pois o importante é o consumo de energia requerido por área, e muitas vezes um implemento menor consome mais energia. Já para VEZ (1984) o aumento constante na potência dos tratores e no desenvolvimento de equipamentos de preparo mais eficientes tem modificado significativamente as possibilidades de preparo.

Parâmetros, tais como: velocidade média operacional, patinagem potência e consumo de combustíveis proporcionam meios para comparar diferentes implementos usados em sistemas de preparo, para culturas dispostas em linhas. Para MICHEL JÚNIOR et al. (1985) a energia requerida em um sistema de preparo é dependente da seqüência de realização das operações, bem como dos implementos usados.

De acordo com HUNT (1986) a área coberta por unidade de tempo é uma forma de identificar a capacidade operacional de um implemento, enquanto o consumo de energia serve para identificar economicamente uma operação de preparo, bem como a fonte de potência (trator). Desta forma, pode-se expressar a quantidade total de energia gasta por um conjunto de máquinas em várias operações necessárias a uma exploração agrícola, pois a capacidade de trabalho e, conseqüentemente, a capacidade operacional de um equipamento ou máquina de preparo, é dada em termos de área trabalhada por unidade de tempo. O cálculo da energia consumida nas operações de campo de uma propriedade agrícola deve ser feito a partir da capacidade operacional dos implementos e máquinas, inclusive do trator. O mesmo autor ainda afirma que as operações de preparo de solo consomem mais da metade da potência requerida nas propriedades agrícolas.

Para SINGH & SINGE (1986) o preparo do solo envolve as operações mais pesadas e de maior gasto de energia, em relação às demais operações de um sistema de cultivo e ainda pouco se sabe como as características do solo e das forças possam influenciar no desempenho das máquinas. Como resultado as ferramentas de preparo e interação-ferramenta usam excessivas quantidades de energia, ou não são tão eficientes quanto poderiam ser. Aumentando a eficiência, ainda que por uma pequena fração, grande quantidade de energia poderia ser economizada, o que seria mais aconselhável do que a existência de grande número de máquinas no mercado.

Para BRIDGES & SMITH (1979), muitos fatores afetam o consumo de combustível nas práticas agrícolas, incluindo: condições atmosféricas, tipo de solo, profundidade de preparo, tamanho da área e habilidade do operador.

Segundo KEPNER et al. (1978), a quantidade de energia requerida para obter um grau desejado de mobilização do solo depende primeiramente da resistência do solo e da eficiência de utilização do implemento. As condições físicas do solo influem na resistência e densidade do mesmo, que por sua vez também influi no requerimento energético. Neste

contexto, KINZEL et al. (1981), afirmam que a geometria da lâmina é um dos fatores que mais influenciam no requerimento energético da enxada rotativa.

Em estudos feito numa enxada rotativa, ADAMS JR. & FURLONG (1959) registraram que um aumento na velocidade periférica do rotor proporciona um aumento na velocidade de corte das lâminas, sendo uma das causas para desagregação do solo. Relatam ainda que a textura do solo exerce grande influencia na potência exigida pela enxada rotativa, verificando um correlacionamento positivo entre a necessidade de potência e conteúdo de argila no solo.

Medindo o conjugado mínimo e máximo para uma enxada rotativa, FREEMAN (1966) encontrou valores 224 e 1016 Nm, apresentando um conjugado médio de 447 Nm. O autor concluiu que a linha de transmissão do equipamento deve ser construída de forma mais robusta para resistir aos elevados picos de conjugado.

Em estudo feito com lâminas de enxada rotativa, através de caixa de solo, ROMIG (1971) avaliou seis variáveis fundamentais: conjugado no rotor, forças de reação horizontal e vertical, angulo de inclinação da força de reação e magnitude da força de reação tendo sido encontrado um nível de significância estatística acima 95% para todas combinações, entre as seis variáveis estudadas.

GHOSH (1967), usando análise dimensional em estudos feito com enxada rotativa, encontrou uma expressão que melhor relaciona o conjugado para solo arenoso e argiloso, com teor de água na faixa de 10 a 28%, sendo:

$$T = (105 \text{ a } 120) + (7500 \text{ a } 8900) \cdot \frac{dv_r}{N} \quad [11]$$

Onde:

T - conjugado [Nm];

d - profundidade de trabalho [pol.];

V_r - velocidade de deslocamento [mph];

N - rotação no rotor [min^{-1}];

Estudando padrões de avaliação da rugosidade da soleira do solo preparado com grade e enxada rotativa, GILL & HENDRICK (1977) verificaram que a profundidade de trabalho para os dois casos variam de acordo com os padrões adotados, sendo que a profundidade dos sulcos formados na superfície do solo não mobilizado pode ser descrita matematicamente, permitindo utilizar valores médios para determinar suas profundidades. Os autores verificaram também que quando a velocidade de rotação foi baixa, a profundidade de preparo variou drasticamente, devido ao efeito cinemático das lâminas

Segundo BERNACKI et al. (1972), o trabalho específico de uma enxada rotativa pode ser obtido através da seguinte equação:

$$A_S = A_0 + 0.001 \alpha * N^2 \quad [2]$$

Onde:

A_S - trabalho específico;

A_0 - constante estática

$\alpha * N^2$ - aceleração específica

MACIEL (1993) fez um estudo, através de análise dimensional de seis lâminas numa enxada rotativa, e verificou diferentes desempenho para cada, sendo que uma lâmina especial projetada por ele mesmo apresentou melhor desempenho. O mesmo autor concluiu através de adimensionais que o índice de cone, rotação e profundidade de trabalho são alguns dos parâmetros que mais afetam no requerimento energético de enxadas rotativas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. MATERIAL

O material utilizado no presente trabalho, abrange o solo o qual foi realizado o ensaio, um conjunto trator-enxada rotativa e a instrumentação requerida

4.1.1. Caracterização do local

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Lageado, da Faculdade de Ciências Agronômicas - Campus Botucatu - UNESP, Estado de São Paulo com uma altitude média de 770 m, sendo sua localização geográfica de 22°49'31'' Latitude Sul e 48°25'37'' Longitude a Oeste de Greenwich .

4.1.2. Caracterização do solo

O solo onde foi realizado o ensaio foi classificado por CARVALHO et al (1983) como Terra Roxa Estruturada / ondulado e de boa drenagem. A TABELA 1 mostra as principais características físicas do solo Terra Roxa Estruturada / unidade de mapeamento Lageado - Botucatu/SP.

ENSAIO DE PROCTOR NORMAL				
Densidade global máx [g/cm³]			1.72	
Teor de água [% em massa]			26.7	
Limites de consistência [%]				
Limite de liquidez			35.8	
Limite de plasticidade			26.0	
Índice de plasticidade			9.8	
Densidade global [g/cm³]				
Profundidade[cm]	Bloco I	Bloco II	Bloco III	Bloco IV
0 - 10	1.56	1.59	1.61	1.58
Densidade das partículas sólida [g/cm³]			2.92	
Granulometria [%]	Areia	Silte	Argila	
	13.5	20.1	66.4	
Resistência a penetração 0-20[cm]		12.1 kgf/cm²		

TABELA 1 - Principais características físicas do solo Terra Roxa Estruturada / unidade de mapeamento Lageado - Botucatu/SP

4.1.3. Trator - enxada rotativa

Foi utilizado um trator de Massey Ferguson modelo MF 296, como unidade motriz de acionamento e tração da máquina. A máquina utilizada consiste em uma enxada rotativa marca Cemag, tipo “rotovator” modelo E 70, com 1780 [mm] de largura total. O rotor da enxada rotativa apresenta oito flanges, nas quais foram fixadas 4 lâminas (2 pares) opostas duas a duas em configuração helicoidal, dando seguimento a esta configuração na extremidade foram fixadas somente duas lâminas por flange, totalizando vinte e oito lâminas. O ângulo de defasagem entre a penetração de duas lâminas consecutivas foi de quinze graus.

Foram utilizados três formas geométricas de lâminas que são mostradas nas FIG. 4

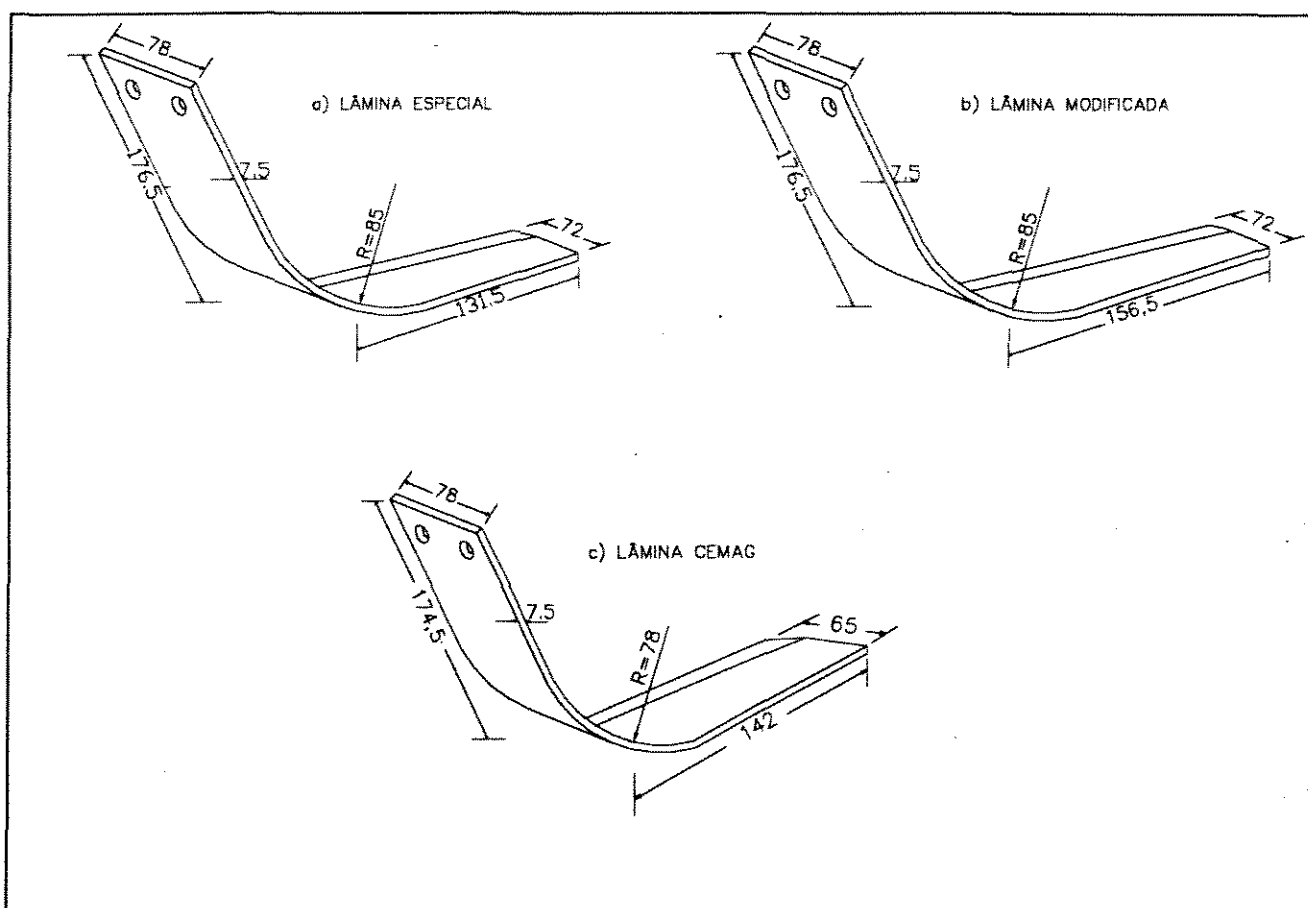


FIGURA 4 - Formas geométricas de lâminas estudadas

O equipamento utilizado para a determinação da distribuição dos agregados do solo foi uma peneira rotativa com as seguintes malhas: 101.6, 76.26, 50.80, 25.40, 19.05, 12.70, 5.35, 3.36, 1.68 [mm].

Este equipamento foi descrito por DALLMAYER et al (1994). a FIG. 6 mostra este equipamento.

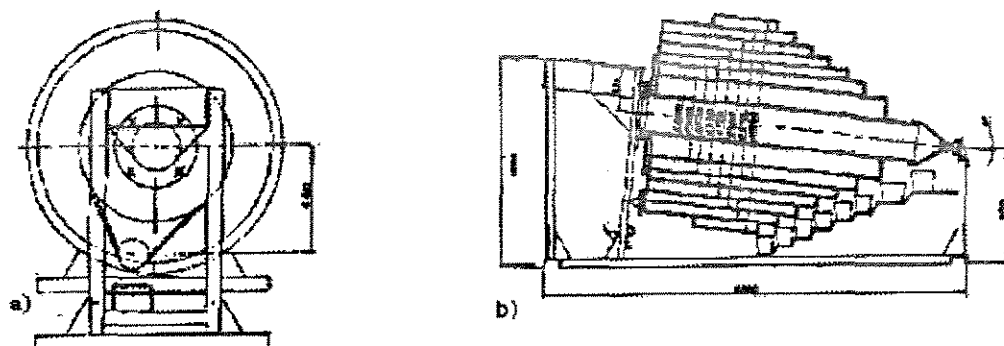


FIGURA 6 -Peneira rotativa a) vista frontal b) vista longitudinal
FONTE - DALLMAYER (1994)

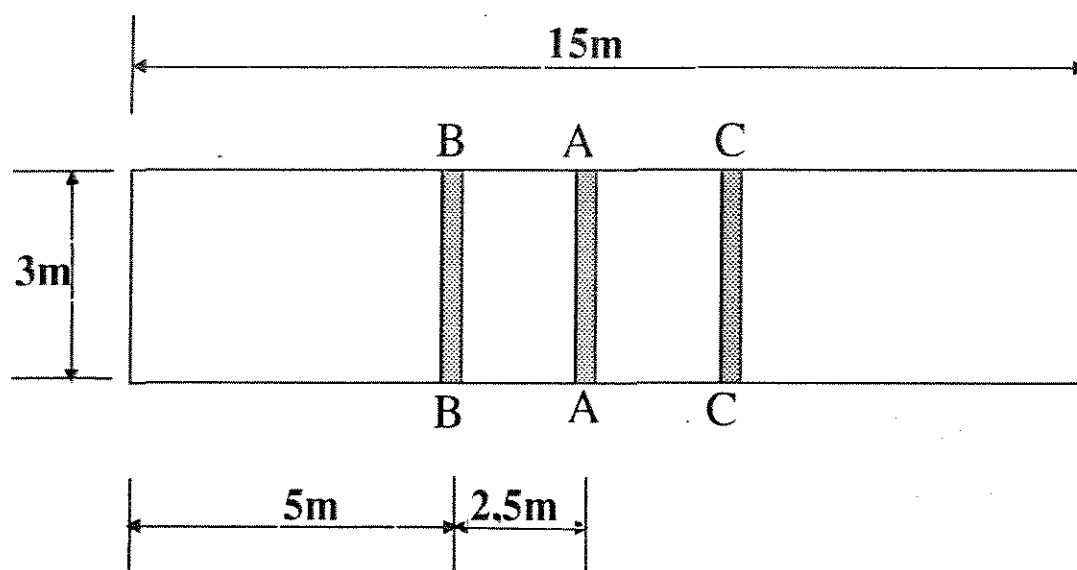
- Equipamento para medição do perfil mobilizado no solo:

O equipamento utilizado para medir o perfil mobilizado do solo foi o perfilômetro de superfície e profundidade ,construído e descrito por LANÇAS (1987). Constituído basicamente de uma barra de madeira contendo hastes graduadas em centímetros e espaçadas de cinco em cinco centímetros

4.2.MÉTODOS

4.2.1. Delineamento experimental

O experimento foi realizado através de um delineamento em blocos casualizados. Onde primeiramente foi feito um estudo do local de instalação do ensaio, mediante um planejamento. O presente trabalho constituiu-se de 9 tratamentos de preparo do solo com quatro repetições cada, totalizando 36 parcelas, conforme o (QUADRO 2). Cada parcela constituiu-se de uma área de 45m^2 , sendo os blocos separados por carreadores de 20m, os quais foram utilizados para estabilização do conjunto trator-enzada rotativa. A FIG. 7 mostra dentro de uma parcela as áreas que foram utilizadas para cada determinação.



A-A= Faixa utilizada para levantamento dos perfis

B-B C-C=Faixa utilizada para coleta de amostras de solo.

FIGURA 7 – Parcela experimental - áreas utilizadas para aquisição de dados e amostras de solo.

4.2.2. Tratamentos de preparo do solo

Os nove tratamentos constituíram-se das combinações possíveis entre os tipos de lâminas (LE-especial; LC-cemag; LM-modificada) e as rotações do rotor ($R1-122\text{min}^{-1}$; $R2-153\text{min}^{-1}$; $R3-172\text{min}^{-1}$), conforme mostra a TABELA 2

BLOCOS			
I	II	III	IV
LMR1	LER2	LCR1	LCR2
LCR3	LMR2	LMR1	LMR1
LER1	LER1	LER3	LMR3
LCR1	LMR1	LMR2	LCR1
LMR2	LCR2	LMR3	LMR2
LER2	LCR3	LER2	LER2
LER3	LMR3	LCR3	LER3
LMR3	LER3	LCR2	LER1
LCR2	LCR1	LMR1	LCR3

TABELA 2. Tratamentos estudados de preparo do solo, em função das combinações.

Considerando a rotação nominal da T.D.P.(Tomada de Potência) em 540 min^{-1} , as rotações teóricas do rotor da enxada rotativa R1,R2 e R3 foram respectivamente, 122, 172, 153 min^{-1} . Para a obtenção dessas rotações teóricas utilizou-se os seguintes engrenamentos:

R1= 122min^{-1} - 15 dentes motora

20 dentes movida

R2= 153min^{-1} - 17 dentes motora

18 dentes movida

R3= 172min^{-1} - 18 dentes motora

17 dentes movida

Procurou-se manter a velocidade de deslocamento o mais próximo possível de 3,7 km/h. A enxada rotativa foi regulada em todos tratamentos para operar na máxima profundidade operacional e o anteparo traseiro foi retirado

4.2.3 Descrição dos ensaios

Após a limpeza da área procedeu-se a demarcação das parcelas com teodolito e trena. A parte experimental de campo foi realizada durante dois dias consecutivos.

No primeiro dia foi medido: o perfil natural do solo.

No segundo dia foram medidos: o conjugado; rotação; perfil superficial; perfil de profundidade e retiradas as amostras de solo para as avaliações em laboratório.

4.2.4. Análise granulométrica do solo

Foi efetuada de acordo com o método da pipeta, descrito pela EMBRAPA-SNLCS (Serviço Nacional de Levantamento e conservação de solo, 1979).

4.2.5. Densidade de partículas do solo

Para determinação da densidade de sólidos foi utilizado o método do balão volumétrico, descrito pela EMBRAPA-SNLCS (1979)

4.2.6. Ensaio proctor normal de compactação

A determinação do ensaio de proctor normal foi determinada conforme a norma brasileira NBR-7182 (1982), a partir da qual obteve-se os valores da densidade global máxima do solo e teor de água correspondente.

4.2.7. Teor de água no solo

Após a operação em cada parcela, foram retiradas duas amostras para determinação do teor de água no solo, sendo que este teor foi determinado através do método da secagem em estufa à temperatura de 105-110C° até obter peso constante. As amostras foram retiradas na camada superficial do solo (profundidade de 0-15cm).

4.2.8. Determinação da densidade do solo

Foi utilizado o método da impermeabilização do torrão com parafina, onde coletou-se 3 amostras na camada de 0-15 cm de profundidade

4.2.9. Determinação da velocidade de deslocamento do conjunto trator-enzada rotativa.

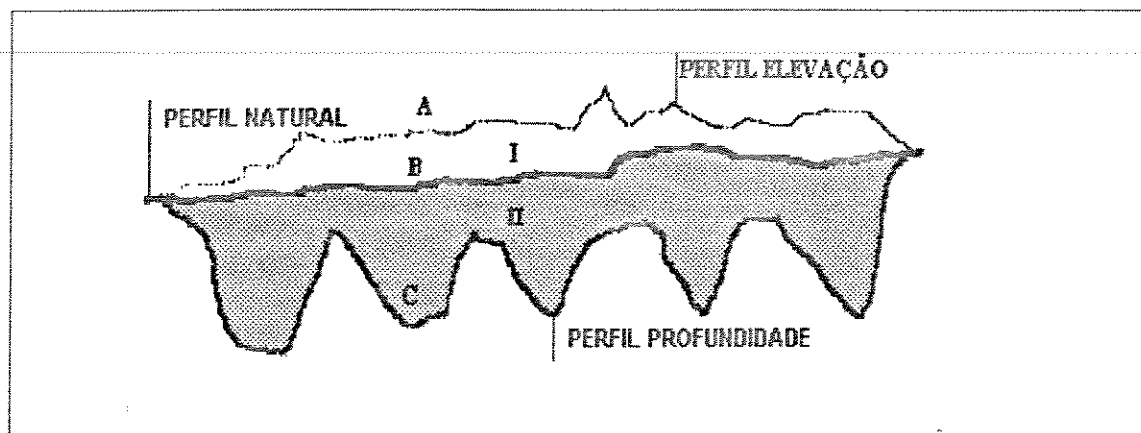
Foi obtida em função do tempo decorrido para percorrer a distância de 15m, estabelecida por balizas. O tempo foi obtido através de um sinal analógico gravado simultaneamente com o conjugado e a rotação e controlado através de cronômetro.

4.2.10. Avaliação do Perfil mobilizado no solo

Através de um perfílometro foram levantados três perfis:

- Perfil (natural) antes do preparo: foi determinado antes da passagem do conjunto trator-enzada rotativa, levantando o perfil original do solo.
- Perfil da superfície (elevação) após o preparo do solo: foi determinado na superfície do solo após a passagem do conjunto trator-enzada rotativa.
- Perfil (profundidade) do fundo do sulco: foi determinado após a passagem do conjunto trator-enzada rotativa, sendo o solo mobilizado retirado manualmente.

Para a avaliação das áreas entre os perfis foi desenvolvida uma planilha eletrônica utilizando a regra 1/3 de Simpson o qual fornece a área mobilizada, área de elevação e o empolamento conforme esquema na (FIGURA 8).



A - Perfil da superfície após o preparo do solo (elevação) [cm].

B - Perfil antes do preparo (natural) [cm].

C - Perfil do fundo do sulco (profundidade) [cm].

I Área de elevação do solo [cm²].

II Área mobilizada do solo [cm²].

$$\text{Empolamento} = \frac{I}{II} * 100 \text{ [\%]}. \quad [6]$$

FIGURA 8 -Esquema de avaliação do solo mobilizado
FONTE - DALLMEYER (1994)

4.2.11. Avaliação da desagregação do solo na camada mobilizada

Esta avaliação foi descrita na metodologia proposta por GAMERO & BENEZ, (1990), onde o parâmetro analisado foi o diâmetro médio geométrico dos agregados no solo. (DMG). Para Classificação dos agregados por classe de tamanho foi utilizada a peneira rotativa descrita no subitem 4.1.4.

O diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG) foi calculado à partir da seguinte equação:

$$DMG = \text{anti log} \left[\frac{\sum_{i=1}^n w_i * \log d_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right] \quad [7]$$

DMG - diâmetro médio geométrico dos agregados do solo [mm],

W_i - massa de agregados retida em cada classe de tamanho [g]

d_i diâmetro médio da classe [mm],

n - número da classe de agregados,

4.2.12. Calibrações dos instrumentos de medição

O torcômetro foi calibrado através de massas aferidas em uma bancada própria e o tacômetro em torno mecânico do laboratório de protótipos do Departamento de Máquinas Agrícolas (D.M.A) FEAGRI / UNICAMP.

4.2.13. Determinação do conjugado na TDP

Para a determinação do conjugado e da rotação na TDP foi montado um sistema de aquisição de dados, no qual o trator foi instrumentado com um transndutor modelo T30FN [item 4.1.4] instalado na TDP do trator, e os sinais foram transmitidos para um condicionador. onde foram digitalizados na taxa de 200 [Hz] através de uma placa de

aquisição A/D e armazenados em arquivos no micro computador. Os dados foram tratados e filtrados no programa Matlab. Foram utilizadas três rotinas de cálculo: uma para entrada dos dados outra para filtragem e por último outra na de saída (APÊNDICE 10 -15). As FIGURAS .9, 10, 11 e12..mostram um exemplo de aquisição numa determinada parcela:

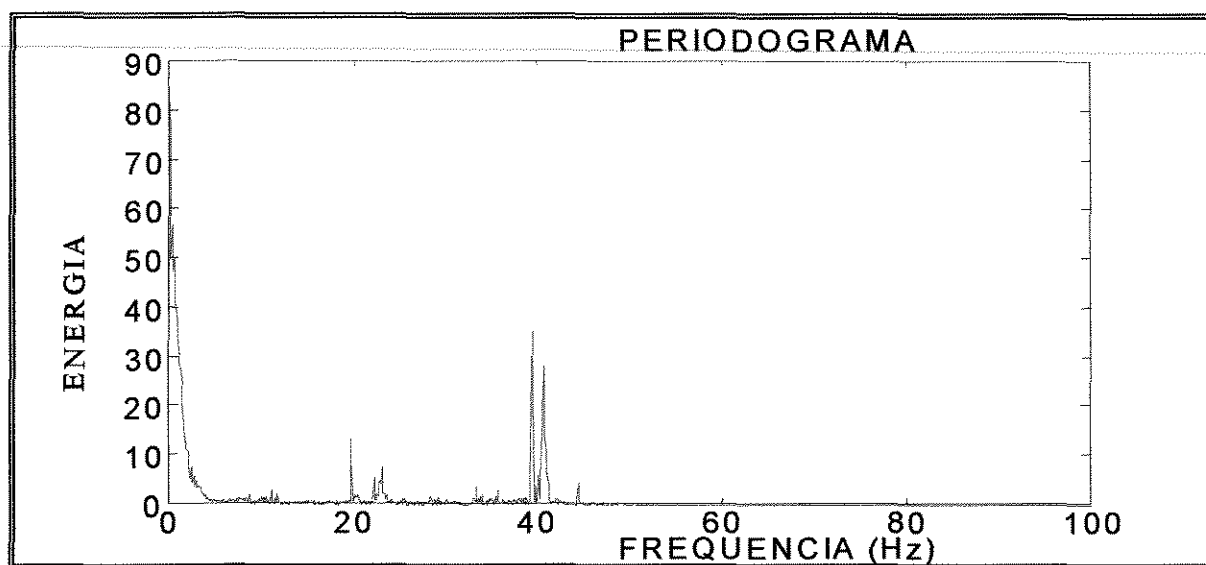


FIGURA 9 - Análise espectral dos sinais

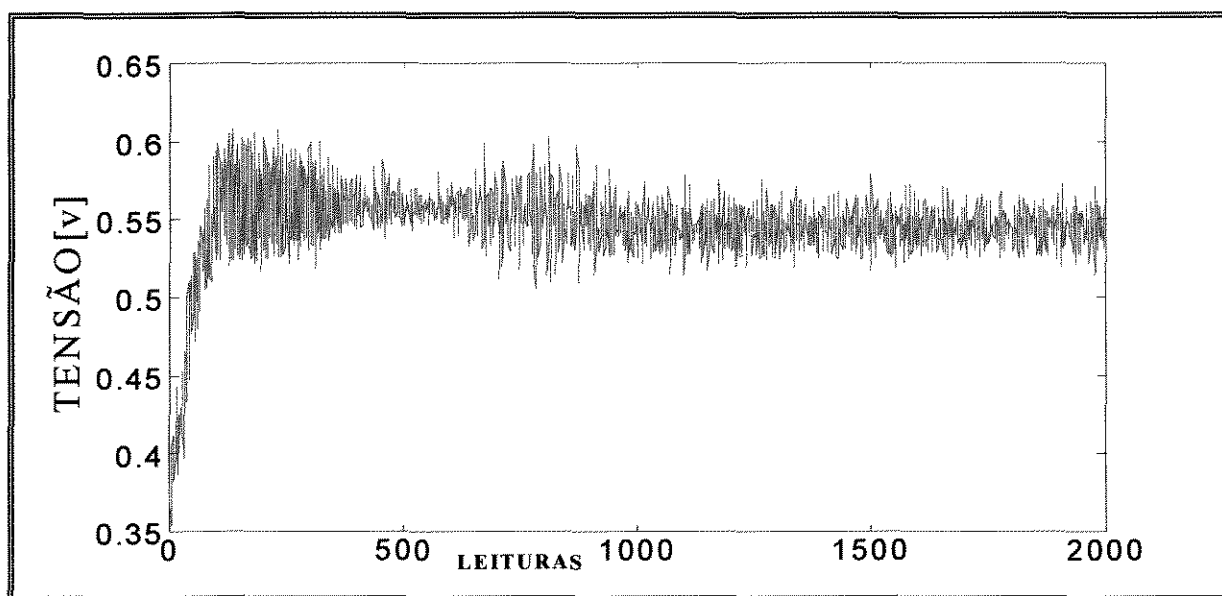


FIGURA 10 - Sinal original de rotação na TDP

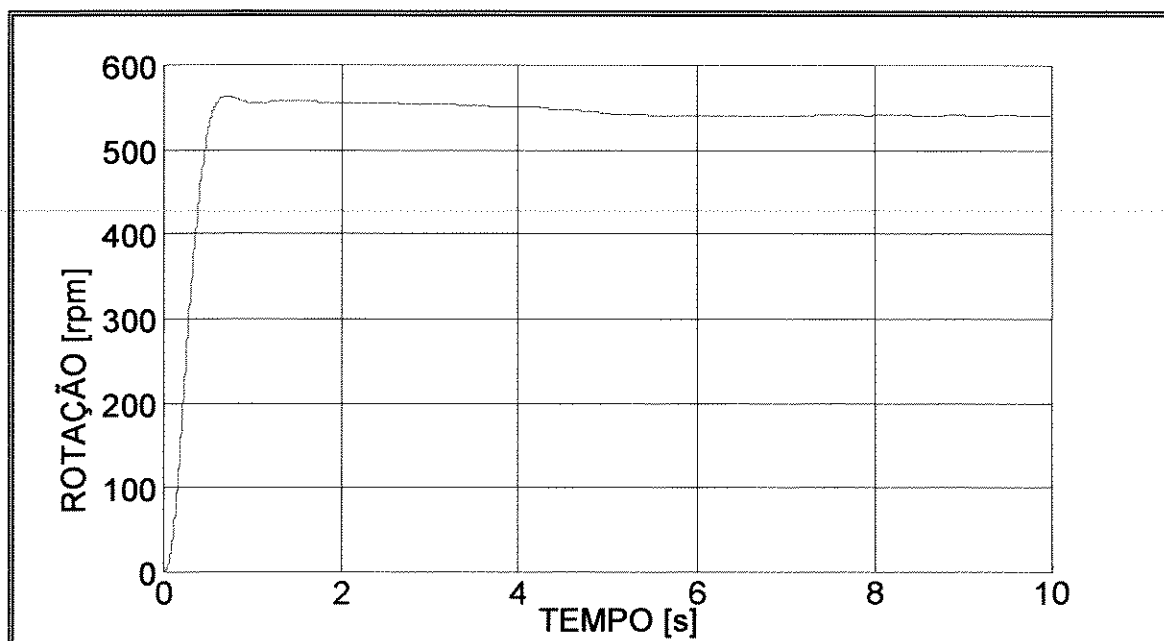


FIGURA 11 - Sinal filtrado de rotação na TDP

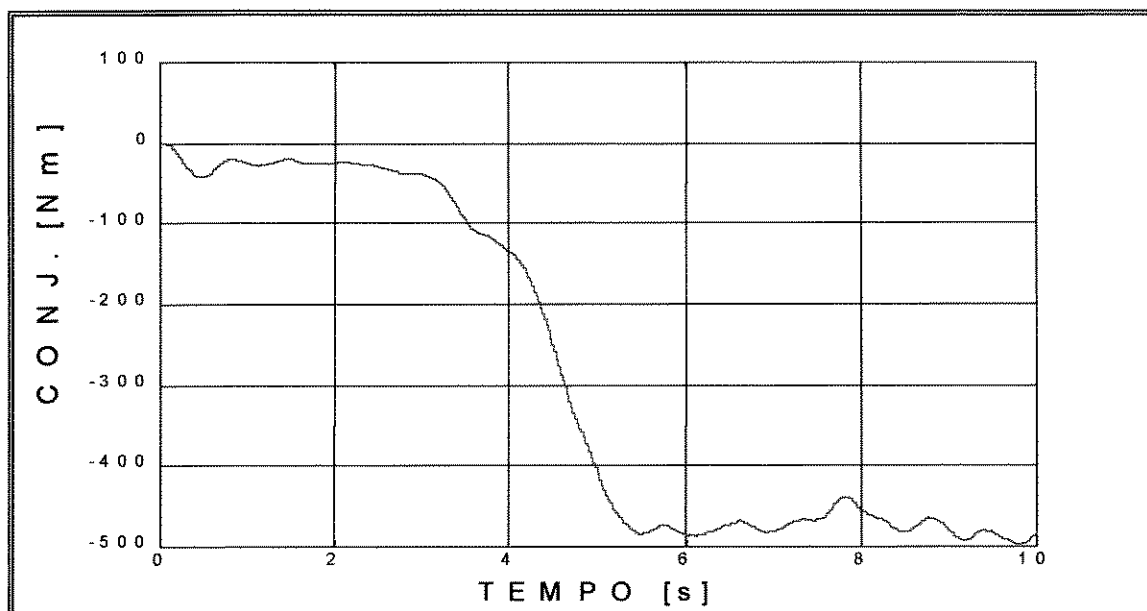


FIGURA 12 - Sinal filtrado de conjugado na TDP

4.2.14. Determinação do conjugado específico

4.2.14. Determinação do conjugado específico

Para a determinação do conjugado específico foi utilizado a seguinte equação:

$$Te = T / A_m \quad [8]$$

Onde:

Te - conjugado específico [

T - conjugado [N.m];

A_m - área mobilizada no solo [cm²];

4.2.15. Análise estatística

Para análise estatística utilizou-se uma planilha eletrônica, onde os resultados são demonstrados nos APÊNDICES (1 - 7) Na comparação das médias utilizou-se o teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresenta-se no presente capítulo, tabelas com as médias dos valores mensurados e obtidos para cada tratamento e suas interações, referentes aos parâmetros estudados, com as respectivas análises estatísticas.

Nos apêndices encontra-se a análise de variância de cada parâmetro estudado juntamente com a diferença mínima significativa ao nível de [5%] de probabilidade

Para interpretação dos resultados deve ser observado que as letras diferentes entre as linhas indicam que as médias diferem entre si, pelo teste Tukey, ao nível de [5%] de probabilidade.

Para análise dos resultados o parâmetro velocidade de deslocamento foi mantido o mais constante possível 3,6 km/h Cada parâmetro analisado foi confrontado com as seguintes causas de variações:

- a) Tipo de lâmina [L]
- b) Rotação no rotor [R]
- c) Interação tipo de lâmina e rotação no rotor[LxR]

5.1. Rotação na TDP

Os resultados médios referentes a rotação na TDP são apresentados nas TABELAS 3, 4 e 5.

a) Tipo de lâmina [L]

Verifica-se na TABELA 3, que não ocorreram diferenças estatisticamente significativas quando foram analisados os valores obtidos para rotação na TDP para as diferentes formas geométricas de lâminas. O que permite deduzir que dentro das condições do ensaio, o controle e medidas efetuadas nos parâmetros analisados foram bastantes precisos.

Tipo de lâmina	LE	LC	LM
<i>Rotação na TDP [min^{-1}]</i>	525.9 [^]	526.5 [^]	525.7 [^]

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si | TUKEY 5% de probabilidade]

TABELA 3 - Rotação na TDP em função do tipo de lâmina.

b) Rotação no rotor [R]

Verifica-se na TABELA 4, que não ocorreram diferenças estatisticamente significativas quando analisados os valores obtidos para rotação na TDP e as diferentes rotações no rotor

Rotação no rotor	R1	R2	R3
<i>Rotação na TDP [min^{-1}]</i>	528.3 [^]	528.8 [^]	521.0 [^]

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si | TUKEY 5% de probabilidade]

TABELA 4 - Rotação na TDP em função da rotação no rotor.

c) Interação tipo de lâmina e rotação no rotor [LxR]

Os resultados apresentados na TABELA 5, permite verificar que para Interação tipo de lâmina e rotação no rotor, não ocorreram diferenças estatisticamente significativas quando confrontados com os valores de rotação na TDP. O que permite de deduzir que o ensaio foi bem conduzido para esta variável.

Rotação na TDP [min^{-1}]			
TIPOS DE LÂMINAS	R1	R2	R3
LE	533.2 ^A	525.0 ^A	519.4 ^A
LC	527.5 ^A	532.0 ^A	520.0 ^A
LM	524.2 ^A	529.4 ^A	523.5 ^A

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si [TUKEY 5% de probabilidade]
TABELA 5 - Rotação na TDP em função da interação tipo de lâmina e rotação no rotor.

5.2 .Conjugado na TDP

OS resultados médios referentes ao conjugado na TDP são apresentados nas TABELAS 6,7 e 8

a) Tipo de lâmina [L]

Os resultados apresentados na TABELA 6, mostram que ocorreram diferenças estatisticamente significativas quando foram analisados os valores obtidos para conjugado na TDP referentes as diferentes formas geométricas de lâminas. Nota-se que lâmina LM exigiu um conjugado menor em relação as lâminas LC e LE que foram estatisticamente iguais. Este fato só pode estar relacionado com a forma geométrica da lâmina, uma vez que outras características como peso, material do construção e afiamento foram mantidas constantes. Esta constatação reforça a afirmação feita por KINZEL et al. (1981) e MACIEL

(1993). Por se tratar de formas geométricas, que possuem ângulos de penetração progressiva, verificou-se que, a curvatura da lâmina também exerce uma certa influência no requerimento de conjugado da enxada rotativa.

Tipo de lâmina	LE	LC	LM
<i>Conjugado na TDP[Nm]</i>	368.8 ^A	390.5 ^A	291.5 ^B

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si | TUKEY 5% de probabilidade]

TABELA 6 - Conjugado na TDP em função do tipo de lâmina.

b) Rotação no rotor [R]

Observa-se na TABELA 7, que os resultados do conjugado na TDP do trator referente às diferentes rotações do rotor foram estatisticamente significativas, sendo que para R1 o valor do conjugado foi menor quando comparado com R2 e R3 que foram estatisticamente iguais.

Rotação no rotor	R1	R2	R3
<i>Conjugado na TDP[Nm]</i>	303.6 ^B	362.7 ^A	384.6 ^A

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si | TUKEY 5% de probabilidade]

TABELA 7 - Conjugado na TDP em função da rotação no rotor

c) Interação tipo de lâmina e rotação no rotor[LxR]

A TABELA 8 apresenta os resultados referentes a interação tipo de lâmina e rotação no rotor. Nota-se que houve diferenças estatisticamente significativas, entre as grandezas em estudo, e que as interações envolvendo a lâmina modificada foram as que apresentaram menor requerimento de conjugado na TDP.

Rotação na TDP [min^{-1}]			
TIPOS DE LÂMINAS	R1	R2	R3
LE	310.3 ^C	424.8 ^A	371.4 ^B
LC	355.0 ^B	408.5 ^A	408.0 ^A
LM	245.4 ^C	320.3 ^A	308.8 ^B

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si | TUKEY 5% de probabilidade|

TABELA 8 - Conjugado na TDP em função da interação tipo de lâmina e rotação no rotor

5.3. Área mobilizada do solo

Os resultados médios referentes a área mobilizada do solo são apresentados nas TABELAS 9, 10 e 11

a) Tipo de lâmina [L]

Os resultados apresentados na TABELA 9 mostram que ocorreram diferenças estatisticamente significativas quando foram analisados os valores médios obtidos para área mobilizada de solo. Nota-se que a forma geométrica LE proporcionou uma maior mobilização do solo quando comparado com a lâmina LM, e que a lâmina LC apresentou-se como um valor intermediário

Tipo de lâmina	LE	LC	LM
Área mobilizada [cm^2]	2213.93 ^A	2150.90 ^{AB}	2045.78 ^B

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si | TUKEY 5% de probabilidade|

TABELA 9 - Área mobilizada em função do tipo de lâmina.

b) Rotação no rotor [R]

Na TABELA 10 verifica-se que as variações da rotação do rotor foram estatisticamente significativas quando comparado com os valores médios de área mobilizada do solo. Nota-se que a rotação no rotor R1 proporcionou uma maior mobilização de solo quando comparado com a rotação R3, e que a rotação R2 apresentou-se como um valor intermediário. Esta constatação está de acordo com GAMERO (1991) e MACIEL (1993).

Rotação no rotor	R1	R2	R3
Área mobilizada[cm ²]	2260.45 ^{B*}	2130.44 ^{AB}	2019.73 ^A

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si | TUKEY 5% de probabilidade|

TABELA 10 - Área mobilizada em função rotação no rotor.

c) Interação tipo de lâmina e rotação no rotor[LxR]

Os resultados apresentados na TABELA 11 mostram a interação tipo de lâmina e rotação no rotor. Nota-se que houve diferenças estatisticamente significativas quando comparado com os valores médios de área mobilizada do solo e que as interações envolvendo a forma geométrica LE com as diferentes rotações no rotor foram de uma forma geral que resultaram em maior mobilização do solo quando comparado com as demais interações.

Rotação na TDP [min ⁻¹]			
TIPOS DE LÂMINAS	R1	R2	R3
LE	2411.67 ^A	2182.62 ^B	2047.49 ^B
LC	2273.30 ^A	2142.18 ^{AB}	2037.23 ^B
LM	2096.37 ^A	2066.50 ^A	1974.48 ^A

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si | TUKEY 5% de probabilidade|

TABELA 11 - Área mobilizada do solo em função da interação tipo de lâmina e rotação no rotor

5.4. Área de elevação do solo

Os resultados médios referentes área elevação do solo são apresentados nas TABELAS 12, 13 e 14.

a) Tipo de lâmina [L]

Os valores médios obtidos para a área de elevação do solo não apresentaram diferença significativa pelo teste Tukey, quando confrontados com a geometria de lâmina aplicada ao solo. A TABELA 12 apresenta os resultados

Tipo de lâmina	LE	LC	LM
Área de elevação[cm ²]	769.74 [^]	736.41 [^]	711.94 [^]

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si [TUKEY 5% de probabilidade]

TABELA 12 - Área de elevação do solo em função do tipo de lâmina

b) Rotação no rotor [R]

Na TABELA 13 verifica-se que as variações na rotação do rotor não foram estatisticamente significativas quando comparado com os valores médios da área de elevação do solo. O que permite deduzir que dentro das condições do ensaio as rotações produzem o mesmo efeito de elevação do solo.

Rotação no rotor	R1	R2	R3
Área de elevação[cm ²]	724.29 [^]	711.01 [^]	782.79 [^]

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si [TUKEY 5% de probabilidade]

TABELA 13 - Área de elevação do solo em função rotação no rotor.

c) Interação tipo de lâmina e rotação no rotor [LxR]

Os resultados apresentados na TABELA 14 mostram a interação tipo de lâmina e rotação no rotor. Nota-se que não houve diferenças estatisticamente significativas quando comparado com os valores médios da área de elevação do solo, ou seja, os tratamentos produzem o mesmo efeito de elevação do solo.

Rotação na TDP [min^{-1}]			
TIPOS DE LÂMINAS	R1	R2	R3
<i>LE</i>	754.00 [^]	760.19 [^]	795.04 [^]
<i>LC</i>	697.10 [^]	719.98 [^]	792.15 [^]
<i>LM</i>	721.76 [^]	652.87 [^]	761.19 [^]

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si [TUKEY 5% de probabilidade]

TABELA 14 - Área de elevação do solo em função da interação tipo de lâmina e rotação no rotor

5.5. Empolamento do solo

Os resultados médios referentes ao empolamento do solo são apresentados nas TABELAS 15, 16 e 17.

a) Tipo de lâmina [L]

Verifica-se na TABELA 15 que não ocorreram diferenças estatisticamente significativas entre os valores obtidos de empolamento do solo em função das diferentes formas geométricas de lâminas.

Tipo de lâmina	LE	LC	LM
<i>Empolamento[%]</i>	34.97 [^]	34.35 [^]	34.90 [^]

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si [TUKEY 5% de probabilidade]

TABELA 15 - Empolamento do solo em função do tipo de lâmina

b) Rotação no rotor [R]

A TABELA 16 apresenta resultados referentes ao empolamento do solo. Nota-se que o empolamento do solo apresentou diferença estatisticamente significativa em função da rotação no rotor, com maiores valores para rotações elevadas. Resultados semelhantes foram obtidos por GAMERO (1991) e MACIEL (1993).

Rotação no rotor	R1	R2	R3
<i>Empolamento[%]</i>	31.03 ^B	34.45 ^{AB}	38.75 ^A

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si [TUKEY 5% de probabilidade]

TABELA 16 - Empolamento do solo em função da rotação no rotor

c) Interação tipo de lâmina e rotação no rotor [LxR]

A TABELA 17 apresenta interação tipo de lâmina e rotação no rotor. Nota-se que não houve diferenças estatisticamente significativas quando comparado com os valores médios do empolamento do solo.

Rotação na TDP [min ⁻¹]			
TIPOS DE LÂMINAS	R1	R2	R3
<i>LE</i>	31.28 ^A	34.78 ^A	38.85 ^A
<i>LC</i>	30.66 ^A	33.57 ^A	38.83 ^A
<i>LM</i>	31.14 ^A	34.99 ^A	38.75 ^A

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si [TUKEY 5% de probabilidade]

TABELA 17 - Empolamento do solo em função da interação tipo de lâmina e rotação no rotor

5.6. Diâmetro médio geométrico dos agregados do solo (D.M.G.)

Os resultados médios referentes ao e D.M.G. do solo são apresentados nas TABELAS 18, 19 e 20.

a) Tipo de lâmina [L]

Nota-se na TABELA 18 que não ocorreram diferenças estatisticamente significativas quando foram analisados os valores obtidos para o D.M.G. do solo referentes as diferentes formas geométricas de lâminas. O que possibilita afirmar que a geometria da lâmina não alterou a distribuição de agregados na camada do solo mobilizado pela enxada rotativa. Esses resultados contrariam aqueles obtidos por ADMS JR. & FURLONG(1959), que encontraram diferenças significativas para diferentes lâminas estudadas e confirmam resultados obtidos por GAMERO (1991) e MACIEL (1993).

Tipo de lâmina	LE	LC	LM
<i>D.M.G./mm</i>	11.01 [^]	10.83 [^]	10.36 [^]

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si [TUKEY 5% de probabilidade]

TABELA 18 - DMG do solo em função do tipo de lâmina

b) Rotação no rotor [R]

Os resultados apresentados na TABELA 19 mostra que o D.M.G. do solo não apresentou diferença estatística significativa em função da rotação no rotor. Esta constatação foi diferente da obtida por MACIEL (1993), que encontrou diferenças estatísticas entre a rotação do rotor e o D.M.G. do solo. O autor observou que aumentando a rotação do rotor houve uma diminuição no D.M.G. do solo

Rotação no rotor	R1	R2	R3
<i>D.M.G.[mm]</i>	9.96 [^]	10.40 [^]	10.83 [^]

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si [TUKEY 5% de probabilidade]

TABELA 19 -DMG do solo em função da rotação no rotor

c) Interação tipo de lâmina e rotação no rotor[LxR]

Os resultados apresentados na TABELA 20 mostra a interação tipo de lâmina e rotação no rotor. Nota-se que não houve diferenças estatisticamente significativas quando comparado com os valores médios obtidos para o D.M.G. do solo em função das diferentes formas geométricas de lâminas. O que possibilita afirmar que a geometria da lâmina não alterou a distribuição dos agregados na camada do solo mobilizado Estes resultados confirmam os obtidos por MACIEL (1993)

Rotação na TDP [min^{-1}]			
TIPOS DE LÂMINAS	R1	R2	R3
<i>LE</i>	11.58 [^]	11.09 [^]	10.36 [^]
<i>LC</i>	9.54 [^]	10.42 [^]	12.53 [^]
<i>LM</i>	8.76 [^]	9.70 [^]	12.60 [^]

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si [TUKEY 5% de probabilidade]

TABELA 20 - DMG do solo em função da interação tipo de lâmina e rotação no rotor

5.7. Conjugado específico

Os resultados médios referentes ao conjugado específico do solo são apresentados nas TABELAS 21, 22 e 23.

a) Tipo de lâmina [L]

Os resultados apresentados na TABELA 21 mostram que ocorreram diferenças estatisticamente significativas entre os valores obtidos para conjugado específico em função das diferentes formas geométricas de lâminas. Nota-se que lâmina LM exigiu um conjugado específico menor em relação às lâminas LC e LE que foram estatisticamente iguais. Este fato provavelmente deve estar relacionado com o requerimento de conjugado na TDP relativo a forma geométrica da lâmina., pois em se tratando de área mobilizada a forma geométrica (LM) foi a que obteve menor média, conforme foi mostrado no item 5.3

Tipo de lâmina	LE	LC	LM
<i>Conjugado específico [Nm/cm²]</i>	0.17 ^A	0.19 ^A	0.14 ^B

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si | TUKEY 5% de probabilidade|

TABELA 21 - Conjugado específico em função do tipo de lâmina

b) Rotação no rotor [R]

Observa-se no TABELA 22 que o conjugado específico em função das diferentes rotações no rotor foram estatisticamente significativo, sendo que para R1 os valores de conjugado específico foram menores quando comparado com R2 e R3 que foram estatisticamente iguais. O aumento na rotação do rotor provocou um aumento no requerimento do conjugado específico o que está de acordo com ADMS & FURLONG, HENDRICK & GILL (1971b), GAMERO (1991) e MACIEL (1993).

Rotação no rotor	R1	R2	R3
<i>Conjugado específico [Nm/cm²]</i>	0.13 ^B	0.17 ^A	0.19 ^A

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si | TUKEY 5% de probabilidade|

TABELA 22 - Conjugado específico em função da rotação no rotor

c) Interação tipo de lâmina e rotação no rotor[LxR]

Os resultados apresentados na TABELA 23 mostra a interação tipo de lâmina e rotação no rotor. Nota-se que houve diferenças estatisticamente significativas analisando os valores de conjugado específico, e que, as interações envolvendo a forma geométrica LM com as diferentes rotações no rotor foram os menores requerimento de conjugado específico quando comparado com as demais interações.

Rotação na TDP [min^{-1}]			
TIPOS DE LÂMINAS	R1	R2	R3
<i>LE</i>	0.13 ^C	0.17 ^B	0.21 ^A
<i>LC</i>	0.16 ^B	0.19 ^A	0.20 ^A
<i>LM</i>	0.12 ^B	0.15 ^A	0.16 ^A

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si [TUKEY 5% de probabilidade]

TABELA 23 - Conjugado específico em função da interação tipo de lâmina e rotação no rotor

6. CONCLUSÕES

Dentro das condições em que o presente trabalho foi realizado e através da análise dos resultados obtidos dado os materiais e métodos aplicados foram estabelecidas as seguintes conclusões.

Analisando o requerimento energético da operação de preparo do solo referente as diferentes lâminas, dentro dos parâmetros avaliados conclui-se que:

- A lâmina modificada (LM) apresentou o menor requerimento energético quando comparado com a lâmina especial (LE) e lâmina Cernag (LC).
- A lâmina especial (LE) apresentou requerimento energético estatisticamente igual a lâmina Cernag (LC).

No que se refere a qualidade final do trabalho de preparo do solo referente as diferentes lâminas, dentro dos parâmetros avaliados, conclui-se que:

- Independente da forma geométrica utilizada o empolamento do solo variou conforme a rotação do rotor, sendo que, quanto maior a rotação do rotor, maior o empolamento do solo
- A área mobilizada do solo foi maior para lâmina especial (LE), quando comparado com a lâmina modificada (LM). A lâmina Cernag (LC) apresentou-se como valor intermediário

Os resultados alcançados constituem-se em suporte para desenvolvimento de novas enxadas rotativas e como proposta de trabalhos futuros verificou-se a necessidade de estudar não só os ângulos formados pela borda da lâmina, mas também, a curvatura de penetração. Uma outra proposta de trabalho futuro seria a aplicação da enxada rotativa em operações conjugadas.

7. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS JUNIOR, W.J., FURLONG,D.B. Rotary tiller in soil preparation. *Agric. Enging.* St Joseph, v.40, p.600-603, 607, 1959.

BALASTREIRE, L.A. *Máquinas agrícolas*. São Paulo: Maole, 310p. 1987

BARNES, K.K., BOCKHOP,C.W., MacLEOD, H.E. Similitude in studies of tillage implements forces. *Agric.Eng.*, St Joseph, v.1, p.32-37, 1960.

BAVER, L.D. *Soil Physics*.3ed. New : J.Wiley,.489p. 1966.

BERNACKI, H., HAMAN, JKANAFOJSKI, C.Z. *Agricultural machines, theory and construction*. Washinton: U.S.Department of agriculture and National Science Foundation, 451p.

BERTONI, J. O. O planejador e a utilização dos recursos naturais . *Boletim da Federação dos Engenheiros-Agrônomos do Brasil (FEAB)*. Campinas, 23p., 1968.

BOWERS JUNIOR., CG. Southeastern tillage energy data and recommended reporting. *Trans. of the ASAE*, St Joseph, v.38, n.3, p.731-737, 1985.

BRIDGES, T. C., SMITH, E. M. A method for determining the total energy input for agricultural practices. *Trans of the ASAE*, St Joseph, v.22, n.4, p.781-784, 1979.

BURT, E. C. , BAILEY, A.C. Load and inflation pressure effects on tires. *Trans of the ASAE*, St Joseph , v.25, n.4, p.881-884, 1982.

BURT, E. C. , BAILEY, A.C., PATTERSON, R.M. Combined effects of dynamic load and travel reduction on tire performance. *Trans.of the ASAE*, St Joseph, v.22, n.1, p.40-45, 1979.

CAMP, C.R., GILL,W.R. The effect of drying on soil strenght parameters. *Proc Soil. Sci. Soc. Amer*, Madison, v.33, n.5, p.641- 644, 1969.

CARVALHO, W.A., ESPÍNDOLA, C.R., PACCOLA, A.A., Levantamento de solos da Fazenda Lageado - Estação Experimental 'Presidente Médici'. Botucatu: FCA/UNESP, 1983. 95p.

CASTELLI, G. Studio e sperimentazione di un protótipo di zappatrice a due rotori. *Revista di Eng Agrária*, Roma , n.3, p.127-139, 1978.

CHANG, C. S. *An agricultural engineering analysis of rice farming methods in farming methods in Taiwan*. Taiwan: National University, 1963. 73p.

DALLMEYER, A.U., SALVADOR, N., GAMERO, C.A. *Avaliação da rugosidade do solo sob doze tipos de preparo em Latossolo Roxo álico*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 18, 1989, Recife. Anais: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1989.

EMBRAPA Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*, Rio de Janeiro, 1979.

DALLMEYER, A.U. et al, *Avaliação energética e desempenho operacional de equipamentos de preparo do solo*. Botucatu, UNESP, 156p tese (Doutorado em Energia na Agricultura) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências agrônômicas Campus de Botucatu, 1994.

FREEMAN, L.H. Mechanical power transmission between tractor and implement. *Proc. Inst. Agric. Engrs.*, v.12, n.1, 1966.

FREITAG, D. R. , SCHAFER, R. L., WISMER, R. D. Similitude studies of soil-machine system. *Trans. of the ASAE*, St Joseph, v.13, n2, p.201-213, 1970.

GAMERO, C. A. *Desagregação do solo em diferentes métodos de preparo*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 18, 1989, Recife. Anais: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1989.

GAMERO, C. A., BENEZ, S.H. *Avaliação da condição do solo após o preparo*. In: CICLO DE ESTUDOS SOBRE MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA, 4, 1990, Jundiaí, Fundação Cargill, 1990. p.12-21.

GAMERO, C. A. *Enxada rotativa: desempenho em função do tipo de lâmina, do número de pares de lâminas por flange, da rotação do rotor e da velocidade de deslocamento*, Botucatu, UNESP, tese-livre docência-Faculdade de Ciências Agrônômicas-Universidade Estadual Paulista, 1991.

GHOSH, B.N. Power requirement of a rotary cultivator. *J.Agric.Engng Res.* v.12, n.1, p.5-12, 1967.

GILL, W. R., HENDRICK, J. G. The irregularity of soil disturbance depth by circular and rotating tillage tools. *Trans. of the ASAE*, St Joseph, v.19, n.2, p.230-233, 1976.

HARRISON, H. P. Soil surface profile meter for simple tillage tools. *Trans. of the ASAE*, St Joseph, v.33, n.1, p.21-24, 1990.

HENDRICK, J.G. GILL, W.R. Rotary tiller design parameters. Part II - Depth of tillage *Trans of the ASAE*, St Joseph, v.14, n.4, p.675-678, 1971.

HÉNIN, S. *Os Solos Agrícolas*. São Paulo, Ed da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976. 334p.

HUNT, D. *Maquinaria agrícola: rendimiento económicos, costos, operaciones, potencia y seleccion de equipo*. 7. ed México, Limusa, 1986. 451p.

JORGE, J. A., LIBARDI, P. L., FOLONI, L. L.. Influência da subsolagem e gradagem do solo na condutividade hidráulica. *Rev. Bras. Ciênc Solo*, Campinas, v. 8, n.1, p.1-6, 1984.

KEPNER, R. A., BAINER, R., BARGER, E. L. *Principles of form machinery*, 3 ed. Westport, Avi, 1978. 527p.

KINZEL, G. L., HOLMES, R., HUBER, S. Computer graphics analysis of rotary tillers. *Trans. of ASAE*, St Joseph, v. 24, p. 1392-1399, 1981.

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

LARSON, W.E., ALLMARAS, R.R. Management factors natural forces as related to compaction of Agricultural Soil, 1971. St. Joseph, *Trans. of the ASAE*, p.367-427, 1971.

MACHADO, A. L.T., REIS, A. V., MORAES, M. L. B. , ALONÇO, A. S. *Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais*, Pelotas: Universitária/UFPel, 1996. 229P.

MACIEL, A. J. S. *Enxada rotativa: Análise dimensional, requerimento energético e efeito no solo utilizando diferentes geometria de lâminas*, Botucatu, UNESP , 145p tese (Doutorado em Energia na Agricultura) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências agrônômicas Campus de Botucatu, 1993.

MIALHE, L.G. Abc das enxadas rotativas. *Dirigente rural*. São Paulo, v.8, p.29-44, 1969.

MICHEL JÚNIOR, A. J., FORNSTON, K. J., BORRELLI, J. Energy requirements of two tillage systems for irrigated sugarbeets, dry beans and corn. *Trans. of the ASAE* , St Joseph, v.28, n.6, p.1731-1735, 1985.

ORTIZ-CAÑAVATE, J. *Las maquinas agrícolas y su aplicación*. Madrid: Mundi-prensa 1980. 490p.

ROMIG, B.E. Performance test of rotary tiller blades. *Trans. of the ASAE*, St Joseph, v.14, n.6, p.1080-1082, 1971.

SEGUY, L., KLUTHCOUSKI, J., SILVA, J.G. *Técnicas de preparo do solo*. Goiânia: CPAF/EMBRAPA, 1984. 26p.

SILVEIRA, G, M. *O preparo do solo: Implementos corretos*. 2 ed. Rio de Janeiro: Globo, 1989. 234p.

SINGH, G. SINGE, D. Optimum energy model for tilage. *Soil & Tillage Res.*, Amsterdam, v.6, n.3, p.235-245, 1986.

SMITH, J. A., FORNSTON, K. J. Energy requeriments of selected dryland wheat cropping systems. *Transof the ASAE.*, St. Joseph, v.23, n.4, p. 822-825, 1980.

SWICK, W.C., PERRUMPRAL, J.V. A model for predicting soil-tool interaction. *J. of Terramechanics*, London, v.25, n.1, p.43-56, 1988.

VERMA, B.P., SCHAFER, R.L. A distorted-model theory for non uniform soil strength profiles. *Trans. of the ASAE*, St Joseph, v.14, n.2, p. 359-364, 1971b.

VEZ, H. Minimum or intensive soil tilage? *Soil & Tillage Res.*, Amsterdam, v.4, n.2 p.113-114, 1984.

WILKINSON, R. H. & BRAUMBECK, O. A. *Elements of agricultural machinery*. FAO agricultural services bulletin. Rome: Food and agriculture organization of the united nations, 1977. v.1 241p.

8. APÊNDICES

APÊNDICE I - Análise de variância

Parâmetro: Conjugado específico do solo

CV	GL	SQUAD	QM	FCAL	
TRAT	8	0,0299	0,0037	42,79	*
BLO	3	0,0003	0,0001	1,18	NS
RESID	24	0,0021	0,0001		
TOTAL	35	0,0323			

CV= 5,7

CV - Coeficiente de variação

CV	GL	SQ	QM	FCAL	
L	2	0,009711	0,004855	55,56	*
R	2	0,019383	0,009692	110,91	*
LXR	4	0,000819	0,000205	2,34	*
BLOCO	3	0,000309	0,000103	1,18	NS
RESID	24	0,002097	8,74E-05		
TOTAL	35	0,03232			

DESDOBRAMENTO

L(R1)	0,066316	0,172191	0,116277
L(R2)	0,097726	0,161287	0,145047
L(R3)	0,054874	0,105146	0,089413
	0,218916	0,438625	0,350738
	0,003239	0,004795	0,003349

CV	GL	SQ	QM	FCAL	
L(R1)	2	0,003239	0,001619	18,53	*
L(R2)	2	0,004795	0,002398	27,44	*
L(R3)	2	0,003349	0,001674	19,16	*
RESID	24	0,002097	8,74E-05		

	MEDIAS			
	R1	R2	R3	
LE	0,13	0,17	0,21	0,17
LC	0,16	0,19	0,20	0,18
LM	0,12	0,15	0,16	0,14
	0,13	0,17	0,19	

DMS= 0,02

Diferença mínima significativa

APÊNDICE 2 - Análise de variância

Parâmetro: Empolamento do solo

CV	GL	SD	QM	FCAL	
TRAT	8	365,27	45,66	6,98	*
BLO	3	16,60	5,53	0,85	NS
RESID	24	157,02	6,54		
TOTAL	35	538,89			

CV= 7,3

CV - Coeficiente de variação

CV	GL	SQ	QM	FCAL	
L	2	2,71	1,36	0,21	NS
R	2	359,53	179,76	27,48	*
LXR	4	3,03	0,76	0,12	NS
BLOCO	3	16,60	5,53	0,85	NS
RESID	24	157,02	6,54		
TOTAL	35	538,89			

DESDOBRAMENTO

L(R1)	3913,75	6036,51	4838,59
L(R2)	3760,14	6031,85	4507,78
L(R3)	3877,55	5949,81	4897,20
	11551,45	18018,17	14243,57
	0,84	0,20	4,70

CV	GL	SQ	QM	FCAL	
L(R1)	2	0,84	0,42	0,06	NS
L(R2)	2	0,20	0,10	0,02	NS
L(R3)	2	4,70	2,35	0,36	NS
RESID	24	157,02	6,54		

	MEDIAS			
	R1	R2	R3	
LE	31,28	34,78	38,85	34,97
LC	30,66	33,57	38,83	34,35
LM	31,14	34,99	38,57	34,90
	31,03	34,45	38,75	

DMS= 6,15

Diferença mínima significativa

APÊNDICE 3 - Análise de variância

Parâmetro: Área mobilizada do solo

CV	GL	SQUAD	QM	FCAL	
TRAT	8	588522,80	73565,35	16,44	*
BLO	3	18859,72	6286,57	1,41	NS
RESID	24	107373,04	4473,88		
TOTAL	35	714755,56			
CV=	3,1				

CV - Coeficiente de variação

CV	GL	SQ	QM	FCAL	
L	2	173178,04	86589,02	19,35	*
R	2	348407,76	174203,88	38,94	*
LXR	4	66937,00	16734,25	3,74	*
BLOCO	3	18859,72	6286,57	1,41	NS
RESID	24	107373,04	4473,88		
TOTAL	35	714755,56			

DESDOBRAMENTO

L(R1)	23264656,99	16768820,25	19055363,91
L(R2)	20671480,63	16601183,55	18355740,61
L(R3)	17579068,71	15594245,59	17081730,33
	61515206,32	48964249,39	54492834,85
	199821,94	12497,72	27795,38

CV	GL	SQ	QM	FCAL	
L(R1)	2	199821,94	99910,97	22,33	*
L(R2)	2	12497,72	6248,86	1,40	NS
L(R3)	2	27795,38	13897,69	3,11	*
RESID	24	107373,04	4473,88		

	MEDIAS			
	R1	R2	R3	
LE	2411,67	2182,62	2047,49	2213,93
LC	2273,30	2142,18	2037,23	2150,90
LM	2096,37	2066,50	1974,48	2045,78
	2260,45	2130,44	2019,73	

DMS= 160,86

Diferença mínima significativa

APÊNDICE 4 - Análise de variância

Parâmetro: Diâmetro médio geométrico dos agregados

CV	GL	SQUAD	QM	FCAL	
TRAT	8	56,59	7,07	0,70	NS
BLO	3	17,28	5,76	0,57	NS
RESID	24	241,68	10,07		
TOTAL	35	315,55			

CV= 29,57

CV - Coeficiente de variação

CV	GL	SQ	QM	FCAL	
L	2	2,73	1,36	0,14	NS
R	2	22,89	11,45	1,14	NS
LXR	4	30,97	7,74	0,77	NS
BLOCO	3	17,28	5,76	0,57	NS
RESID	24	241,68	10,07		
TOTAL	35	315,55			

DESDOBRAMENTO

L(R1)	536,46	429,42	491,51
L(R2)	363,70	627,55	433,95
L(R3)	307,23	634,94	376,57

1207,39	1691,91	1302,03
16,95	12,93	3,82

CV	GL	SQ	QM	FCAL	
L(R1)	2	16,95	8,47	0,84	NS
L(R2)	2	12,93	6,46	0,64	NS
L(R3)	2	3,82	1,91	0,19	NS
RESID	24	241,68	10,07		

	MEDIAS			
	R1	R2	R3	
LE	11,58	11,09	10,36	11,01
LC	9,54	10,42	12,53	10,83
LM	8,76	9,70	12,60	10,36
	9,96	10,40	11,83	

DMS= 7,63

Diferença mínima significativa

APÊNDICE 5 - Análise de variância

Parâmetro: Rotação na TDP

CV	GL	SQUAD	QM	FCAL	FOAL
TRAT	8	771	96	2,27	NS
BLO	3	8	3	0,06	NS
RESID	24	1021	43		
TOTAL	35	1800			

CV= 1,24

CV - Coeficiente de variação

CV	GL	SQ	QM	FCAL	
L	2	4	2	0,05	NS
R	2	464	232	5,46	NS
LXR	4	302	76	1,78	NS
BLOCO	3	8	3	0,06	NS
RESID	24	1021	43		
TOTAL	35	1800			

DESDOBRAMENTO

L(R1)	1137273	1079116	1102658
L(R2)	1113183	1081392	1132149
L(R3)	1099048	1096335	1121142
	3349504	3256842	3355949
	167	40	99

CV	GL	SQ	QM	FCAL	
L(R1)	2	167	83	1,96	NS
L(R2)	2	40	20	0,47	NS
L(R3)	2	99	50	1,17	NS
RESID	24	1021	43		

	MEDIAS			
	R1	R2	R3	
LE	533,2	525,0	519,4	525,9
LC	527,5	532,0	520,0	526,5
LM	524,2	529,4	523,5	525,7
	528,3	528,8	521,0	

DMS= 15,69

Diferença mínima significativa

APÊNDICE 6 - Análise de variância

Parâmetro: Conjugado na TDP

CV	GL	SQUAD	QM	FCAL	
TRAT	8	111841,3	13980,16	40,53	*
BLO	3	785,8721	261,9574	0,76	NS
RESID	24	8277,647	344,9019		
TOTAL	35	120904,8			

CV= 5,30

CV - Coeficiente de variação

CV	GL	SQ	QM	FCAL	
L	2	65005,16	32502,58	94,24	*
R	2	42125,59	21062,8	61,07	*
LXR	4	4710,528	1177,632	3,41	*
BLOCO	3	785,8721	261,9574	0,76	NS
RESID	24	8277,647	344,9019		
TOTAL	35	120904,8			

DESDOBRAMENTO

L(R1)	385175,4	721888,1	551685
L(R2)	504121,3	667578,9	665790,7
L(R3)	240909,2	410413,2	381380,4

1130206	1799880	1598856
24294,29	25289,63	20131,77

CV	GL	SQ	QM	FCAL	
L(R1)	2	24294,29	12147,14	35,22	*
L(R2)	2	25289,63	12644,81	36,66	*
L(R3)	2	20131,77	10065,89	29,18	*
RESID	24	8277,647	344,9019		

	MEDIAS			
	R1	R2	R3	
LE	310,3	371,4	424,8	368,8
LC	355,0	408,0	408,5	390,5
LM	245,4	308,8	308,8	287,7
	303,6	362,7	380,7	

DMS= 44,7

Diferença mínima significativa

APÊNDICE 7 - Análise de variância

Parâmetro: Área de elevação do solo

CV	GL	SQUAD	QM	FCAL	
TRAT	8	67854,12	8481,76	2,31	NS
BLO	3	8997,33	2999,11	0,82	NS
RESID	24	87981,63	3665,90		
TOTAL	35	164833,08			
CV=	8,19				

CV - Coeficiente de variação

CV	GL	SQ	QM	FCAL	
L	2	20203,96	10101,98	2,76	NS
R	2	35005,34	17502,67	4,77	NS
LXR	4	12644,81	3161,20	0,86	NS
BLOCO	3	8997,33	2999,11	0,82	NS
RESID	24	87981,63	3665,90		
TOTAL	35	164833,08			

DESDOBRAMENTO

L(R1)	2274056,86	2528354,99	2311583,69
L(R2)	1943809,47	2509984,56	2073489,85
L(R3)	2083769,91	2317669,46	1704947,01

6301636,24	7356009,00	6090020,55
6512,56	2815,87	23520,35

CV	GL	SQ	QM	FCAL	
L(R1)	2	6512,56	3256,28	0,89	NS
L(R2)	2	2815,87	1407,93	0,38	NS
L(R3)	2	23520,35	11760,18	3,21	NS
RESID	24	87981,63	3665,90		

	MEDIAS			
	R1	R2	R3	
LE	754,00	760,19	795,04	769,74
LC	697,10	719,98	792,15	736,41
LM	721,76	652,87	761,19	711,94
	724,29	711,01	782,79	

DMS= 145,61

Diferença mínima significativa

APÊNDICE 8 - Resultados Obtidos no ensaio

Parâmetro: Área mobilizada do solo [cm²]

REPETIÇÕES		1	2	3	4
LE	R1	2463,26	2412,75	2371,03	2399,65
	R2	2112,32	1987,7	1993,42	2096,51
	R3	2223,9	2314,41	2162,06	2030,12
LC	R1	2256,94	2319,15	2299,71	2217,38
	R2	2121,44	2002,85	1936,02	2088,6
	R3	2113,18	2098,36	2201,04	2156,14
LM	R1	2204,68	2128,36	2016,41	2036,03
	R2	2021,44	1951,85	1936,02	1988,6
	R3	2013,18	2098,36	2098,14	2056,33

Parâmetro: Empolamento do solo [%]

REPETIÇÕES		1	2	3	4
LE	R1	29,91	31,02	33,32	30,87
	R2	38,86	40,01	39,01	37,51
	R3	34,71	36,09	35,33	32,99
LC	R1	28,91	30,61	32,1	31,02
	R2	39,3	36,05	37,77	42,21
	R3	34,8	29,81	37,49	32,18
LM	R1	33,02	28,19	30,15	33,18
	R2	36,02	39,01	39,04	40,2
	R3	42,36	31,9	33,21	32,49

Parâmetro: Diâmetro médio geométrico dos agregados[mm]

REPETIÇÕES		1	2	3	4
LE	R1	8,51	12	11,785	14,028
	R2	13,165	5,383	9,309	13,588
	R3	12,307	10,293	13,069	8,671
LC	R1	10,82	6,312	9,86	11,15
	R2	10,549	19,614	10,01	9,929
	R3	12,035	11,114	11,692	6,822
LM	R1	13,838	5,775	6,619	8,824
	R2	12,693	17,228	9,545	10,93
	R3	11,86	11,101	8,895	6,955

APÊNDICE 9 - Resultados Obtidos no ensaio

Parâmetro: Rotação na TDP [min^{-1}]

REPETIÇÕES		1	2	3	4
LE	R1	532,07	530,49	537,92	532,38
	R2	516,4	515,14	512,02	528,05
	R3	521,84	514,17	529,98	534,16
LC	R1	531,82	526,57	523,49	528,27
	R2	518,51	518,43	515,37	522,49
	R3	527,78	532,32	536,56	531,39
LM	R1	532,6	534,35	511,24	511,52
	R2	521,59	527,06	531,11	514,36
	R3	534,41	528,73	528,81	525,73

Parâmetro: Área elevação do solo [cm^2]

REPETIÇÕES		1	2	3	4
LE	R1	736,8	748,4	790,0	740,8
	R2	820,8	795,3	777,6	786,4
	R3	771,9	835,3	763,9	669,7
LC	R1	652,5	709,9	738,2	687,8
	R2	833,7	722,0	731,2	881,6
	R3	735,4	625,5	825,2	693,8
LM	R1	728,0	600,0	607,9	675,6
	R2	728,1	761,4	755,8	799,4
	R3	852,8	669,4	696,8	668,1

Parâmetro: Conjugado na TDP [Nm]

REPETIÇÕES		1	2	3	4
LE	R1	291,4	309,24	320,54	320,07
	R2	437,24	430,87	393,3	437,87
	R3	355,04	380,95	381,17	368,35
LC	R1	354,24	339,11	351,46	375,22
	R2	410,93	366,07	433,49	423,62
	R3	393,83	398,3	419,56	420,23
LM	R1	238,63	273,96	243,86	225,2
	R2	338,77	307,82	298,09	336,59
	R3	313,95	308,36	296,18	316,63

APÊNDICE 10 - Resultados Obtidos no ensaio

Parâmetro: Conjugado específico na TDP [Nm/cm²]

REPETIÇÕES		1	2	3	4
LE	R1	0,12	0,13	0,14	0,13
	R2	0,21	0,22	0,20	0,21
	R3	0,16	0,16	0,18	0,18
LC	R1	0,16	0,15	0,15	0,17
	R2	0,19	0,18	0,22	0,20
	R3	0,19	0,19	0,19	0,19
LM	R1	0,11	0,13	0,12	0,11
	R2	0,17	0,16	0,15	0,17
	R3	0,16	0,15	0,14	0,15

Parâmetro: Teor de água [%]

REPETIÇÕES		1	2	3	4
LE	R1	17,53	17,00	18,28	19,64
	R2	17,05	17,67	20,45	13,08
	R3	17,17	14,39	17,35	16,52
LC	R1	17,20	16,82	18,38	17,00
	R2	16,47	18,66	17,75	18,34
	R3	18,34	20,34	15,98	13,14
LM	R1	19,01	20,07	14,96	16,09
	R2	17,03	17,85	15,45	16,38
	R3	16,26	17,81	16,37	17,52

APÊNDICE 11 - Rotina de cálculo desenvolvida para entrada de dados referentes a rotação na TDP [Matlab]

```
load ellr1a.txt
ellr1a=ellr1a(:,1)*983.41+11.41;
ellr1a=ellr1a';
t=1/200:1/200:10;
rr11a=[t;ellr1a];
save rr11a rr11a
figure(1);
plot(rr11a(2,:))
```

```
load ellr1b.txt
ellr1b=ellr1b(:,1)*983.41+11.41;
ellr1b=ellr1b';
t=1/200:1/200:10;
rr11b=[t;ellr1b];
save rr11b rr11b
figure(2);
plot(rr11b(2,:))
```

```
load ellr1c.txt
ellr1c=ellr1c(:,1)*983.41+11.41;
ellr1c=ellr1c';
t=1/200:1/200:10;
rr11c=[t;ellr1c];
save rr11c rr11c
figure(3);
plot(rr11c(2,:))
```

```
load ellr1d.txt
ellr1d=ellr1d(:,1)*983.41+11.41;
ellr1d=ellr1d';
t=1/200:1/200:10;
rr11d=[t;ellr1d];
save rr11d rr11d
figure(4);
plot(rr11d(2,:))
```

APÊNDICE 13 - Rotina de cálculo desenvolvida para saída de resultados referente ao conjugado na TDP [Matlab]

```
figure(1)
load r11af.mat
subplot(211)
plot(r11af(1,:),r11af(2,:))
title('r11a')
grid
k=(r11af(2,1000:2000));
mediar11a=mean(k)
maximor11a=min(k)
```

```
load r11bf.mat
subplot(212)
plot(r11bf(1,:),r11bf(2,:))
title('r11b')
grid
p=(r11bf(2,1200:2000));
mediar11b=mean(p)
maximor11b=min(p)
```

```
figure(2)
load r11cf.mat
subplot(211)
plot(r11cf(1,:),r11cf(2,:))
title('r11c')
grid
j=(r11cf(2,1000:2000));
mediar11c=mean(j)
maximor11c=min(j)
```

```
load r11df.mat
subplot(212)
plot(r11df(1,:),r11df(2,:))
title('r11d')
grid
x=(r11df(2,200:2000));
mediar11d=mean(x)
maximor11d=min(x)
```

APÊNDICE 14 - Rotina de cálculo desenvolvida para entrada de dados referentes a conjugado na TDP
[Matlab]

```
load ellr1a.txt
ellr1a=ellr1a(:,2)*100.33+1.3765;
ellr1a=ellr1a';
t=1/200:1/200:10;
r11a=[t;ellr1a];
save r11a r11a
figure(1);
plot(r11a(2,:))
```

```
load ellr1b.txt
ellr1b=ellr1b(:,2)*100.33+1.3765;
ellr1b=ellr1b';
t=1/200:1/200:10;
r11b=[t;ellr1b];
save r11b r11b
figure(2);
plot(r11b(2,:))
```

```
load ellr1c.txt
ellr1c=ellr1c(:,2)*100.33+1.3765;
ellr1c=ellr1c';
t=1/200:1/200:10;
r11c=[t;ellr1c];
save r11c r11c
figure(3);
plot(r11c(2,:))
```

```
load ellr1d.txt
ellr1d=ellr1d(:,2)*100.33+1.3765;
ellr1d=ellr1d';
t=1/200:1/200:10;
r11d=[t;ellr1d];
save r11d r11d
figure(4);
plot(r11d(2,:))
```

APÊNDICE 15 - Demonstrativo de filtragem de sinais no [Matlab]

```

function [ret,x0,str]=untitle(t,x,u,flag);
%UNTITLE is the M-file description of the SIMULINK system named UNTITLE.
% The block-diagram can be displayed by typing: UNTITLE.
%
% SYS=UNTITLE(T,X,U,FLAG) returns depending on FLAG certain
% system values given time point, T, current state vector, X,
% and input vector, U.
% FLAG is used to indicate the type of output to be returned in SYS.
%
% Setting FLAG=1 causes UNTITLE to return state derivatives, FLAG=2
% discrete states, FLAG=3 system outputs and FLAG=4 next sample
% time. For more information and other options see SFUNC.
%
% Calling UNTITLE with a FLAG of zero:
% [SIZES]=UNTITLE([],[],[],0), returns a vector, SIZES, which
% contains the sizes of the state vector and other parameters.
% SIZES(1) number of states
% SIZES(2) number of discrete states
% SIZES(3) number of outputs
% SIZES(4) number of inputs.
% For the definition of other parameters in SIZES, see SFUNC.
% See also, TRIM, LINMOD, LINSIM, EULER, RK23, RK45, ADAMS, GEAR.
% Note: This M-file is only used for saving graphical information;
% after the model is loaded into memory an internal model
% representation is used.
% the system will take on the name of this mfile:
sys = mfilename;
new_system(sys)
simver(1.2)
if(0 == (nargin + nargout))
    set_param(sys,'Location',[214,268,678,458])
    open_system(sys)
end;
set_param(sys,'algorithm', 'RK-23')
set_param(sys,'Start time', '1/200')
set_param(sys,'Stop time', '10')
set_param(sys,'Min step size', '0.0001')
set_param(sys,'Max step size', '10')
set_param(sys,'Relative error','1e-3')
set_param(sys,'Return vars', 'res')

add_block('built-in/Discrete State-space',[sys,/, 'Butterworth',13,'IIR LP filter'])
set_param([sys,/, 'Butterworth',13,'IIR LP filter'],...
    'A','a',...

```

```

        'B','b',...
        'C','c',...
        'D','d',...
        'Sample time','ts',...
        'Mask Display','plot(1:64,abs(h))',...
        'Mask Type','butter')
set_param([sys,'/',['Butterworth',13,'IIR LP filter']],...
'Mask Dialogue','Butterworth low pass filter.\n(Requires Signal Processing
Toolbox)|Cutoff frequency (0 to 1):|Order:|Sample time:')
set_param([sys,'/',['Butterworth',13,'IIR LP filter']],...
'Mask Translate','[a,b,c,d]=butter(@2,@1); ts=@3;
[num,den]=ss2tf(a,b,c,d,1); h=freqz(num,den,64); '...',
'Mask Help','IIR Butterworth low pass filter using MATLAB"s butter
command.')
set_param([sys,'/',['Butterworth',13,'IIR LP filter']],...
'Mask Entries','0.01\3\1/200\%',...
'position',[200,97,275,143])

add_block('built-in/From File',[sys,'/','From File'])
set_param([sys,'/','From File'],...
'File name','r33d.mat',...
'position',[90,105,120,135])

add_block('built-in/To File',[sys,'/','To File'])
set_param([sys,'/','To File'],...
'File name','r33df.mat',...
'Matrix name','r33df',...
'position',[365,105,395,135])
add_line(sys,[125,120;190,120])
add_line(sys,[280,120;355,120])
% Return any arguments.
if (nargin | nargout)
    % Must use feval here to access system in memory
    if (nargin > 3)
        if (flag == 0)
            eval(['|ret,x0,str|=',sys,'(t,x,u,flag);'])
        else
            eval(['|ret =', sys,'(t,x,u,flag);'])
        end
    else
        |ret,x0,str| = feval(sys);
    end
end
end

```