

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**MOBILIZAÇÃO DO SOLO UTILIZANDO COMBINAÇÕES DE
DISCOS DUPLOS E HASTES PARABÓLICAS PARA
PRÁTICAS DE CULTIVO**

JESÚS HERNÁN CAMACHO TAMAYO

CAMPINAS
MAIO DE 2002

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**MOBILIZAÇÃO DO SOLO UTILIZANDO COMBINAÇÕES DE
DISCOS DUPLOS E HASTES PARABÓLICAS PARA
PRÁTICAS DE CULTIVO**

Dissertação submetida à banca examinadora
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Agrícola na área de concentração
em Máquinas Agrícolas.

JESÚS HERNÁN CAMACHO TAMAYO

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sergio Graziano Magalhães

CAMPINAS
MAIO DE 2002

Dedico
a mis padres Pablo y Ligia,
por el cariño y el apoyo

A mi esposa Nidia
y a mi hijo Pablo Emilio
por su amor y comprensión

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Paulo Sergio Graziano Magalhães, pelo seu interesse, suporte e dedicação durante as fases deste trabalho, mais especialmente pela compreensão e palavras de alento que sempre tinha para me oferecer.

À Faculdade de Engenharia Agrícola-FEAGRI da Universidade Estadual de Campinas pela oportunidade de diversificar minha formação científica.

À Corporación Colombiana de Investigación Agropecuária - CORPOICA, pelo suporte para a realização do mestrado e especialmente aos Doutores Juan Jaramillo Vásquez e Gilberto Alonso Murcia Contreras.

Agradeço ao Eng. Aloísio Bianchini pelas dicas e sugestões no planejamento e realização do presente trabalho.

Agradeço aos amigos Carlos, Walterley, Aristóteles, Gilmar, Admilson e Regina, pela ajuda oferecida e sobretudo pela amizade construída na minha estada na Unicamp.

Agradeço a todo o pessoal do Laboratório de Máquinas Agrícolas e do Laboratório de Instrumentação e Controle pelo apoio fornecido durante a realização dos testes.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro que viabilizou o desenvolvimento do presente trabalho.

SUMÁRIO

<u>LISTA DE FIGURAS</u>	vii
<u>LISTA DE TABELAS</u>	ix
<u>LISTA DE SÍMBOLOS</u>	x
<u>RESUMO</u>	xii
<u>ABSTRACT</u>	xiii
<u>1 INTRODUÇÃO</u>	1
<u>1.1 Justificativa</u>	1
<u>1.2 Objetivos</u>	3
<u>1.2.1 Objetivo geral</u>	3
<u>1.2.2 Objetivos específicos</u>	3
<u>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	4
<u>2.1 Descrição de fertilizadoras</u>	4
<u>2.2 Efeito da aplicação de fertilizantes e corretivos no solo e no cultivo</u>	6
<u>2.3 Modelos para cálculo de esforços de ferramentas estreitas</u>	9
<u>2.3.1 Hettiaratchi e Reece</u>	9
<u>2.3.2 Godwin e Spoor</u>	13
<u>2.3.3 McKyes e Ali</u>	15
<u>2.3.4 Perumpral et al.</u>	17
<u>2.3.5 Cálculo da profundidade crítica</u>	19
<u>2.4 Discos de corte na agricultura</u>	21
<u>3 MATERIAL E MÉTODOS</u>	23
<u>3.1. Material</u>	23
<u>3.1.1 Campo experimental</u>	23
<u>3.1.2 Solo</u>	24
<u>3.1.3 Ferramentas avaliadas</u>	24
<u>3.1.3.1 Disposição das ferramentas</u>	24
<u>3.1.3.2 Discos duplos</u>	26

<u>3.1.3.3 Hastes</u>	26
<u>3.1.4 Instrumentação</u>	27
<u>3.1.5 Perfilômetro</u>	28
<u>3.1.6 Penetrógrafo digital</u>	29
<u>3.2 Métodos</u>	30
<u>3.2.1 Delineamento experimental</u>	30
<u>3.2.1.1 Tratamentos</u>	30
<u>3.2.1.2 Unidade experimental</u>	34
<u>3.2.2. Delineamento estatístico</u>	34
<u>3.2.3 Determinação das variáveis do solo</u>	35
<u>3.2.3.1 Teor de água</u>	35
<u>3.2.3.2 Resistência à penetração</u>	35
<u>3.2.4 Determinação dos parâmetros analisados</u>	36
<u>3.2.4.1 Força horizontal e força vertical</u>	36
<u>3.2.4.2 Profundidade de trabalho e área mobilizada</u>	36
<u>3.2.4.3 Resistência específica</u>	37
<u>3.2.4.4 Índice de força</u>	37
<u>3.2.5 Velocidade de trabalho</u>	37
<u>3.2.6 Análise estatística</u>	37
<u>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	38
<u>4.1 Força horizontal</u>	38
<u>4.2 Força vertical</u>	40
<u>4.3 Área mobilizada</u>	42
<u>4.4 Profundidade de trabalho</u>	45
<u>4.5 Índice de cone</u>	46
<u>4.6 Resistência específica</u>	48
<u>4.7 Índice de força</u>	49
<u>5. CONCLUSÕES</u>	50
<u>6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</u>	51
<u>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	52
<u>8. ANEXOS</u>	56

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura 1. Forças atuantes na interface solo-ferramenta, para o caso bidimensional. (Hettiratchi e Reece, 1974)</u>	11
<u>Figura 2. Representação da falha tridimensional do solo ocasionado por ferramentas estreitas, em profundidades inferiores às críticas, no modelo proposto por Godwin e Spoor (1977)</u>	14
<u>Figura 3. Teoria da cunha para ruptura passiva de solos (McKyes, 1985)</u>	15
<u>Figura 4. Cunha de ruptura do solo e suas forças, proposta por Perumpral et al. (1983)</u>	17
<u>Figura 5. Profundidade crítica em uma ferramenta estreita.</u>	20
<u>Figura 6. Ruptura do solo abaixo da profundidade crítica para uma ferramenta estreita, proposta por Godwin e Spoor (1977).</u>	20
<u>Figura 7. Unidade experimental usada nos ensaios. Caixa de solo</u>	23
<u>Figura 8. Detalhe da disposição das ferramentas avaliadas na caixa de solo.</u>	25
<u>Figura 9. Hastes construídas para o desenvolvimento do experimento: (a) - Haste curta (<i>hc</i>); (b) - Haste escarificadora (<i>he</i>), medidas em milímetros.</u>	27
<u>Figura 10. Dimensões do anel octogonal. Medidas em milímetros.</u>	28
<u>Figura 11. Perfilômetro.</u>	29
<u>Figura 12. Penetrógrafo Eletrônico Automático PNT 2000.</u>	29
<u>Figura 13. Discos duplos utilizados para o tratamento <i>dd</i>.</u>	30
<u>Figura 14. Haste curta, utilizada para o tratamento <i>hc</i>.</u>	31
<u>Figura 15. Haste escarificadora, utilizada para o tratamento <i>he</i>.</u>	31
<u>Figura 16. Conjunto discos duplos e haste curta, utilizado no tratamento <i>ddhc</i>.</u>	32
<u>Figura 17. Conjunto discos duplos e haste escarificadora, para o tratamento <i>ddhe</i>.</u>	32
<u>Figura 18. Conjunto discos duplos, haste curta e haste escarificadora, para o tratamento <i>ddhche</i>.</u>	33
<u>Figura 19. Conjunto haste curta e haste escarificadora, para o tratamento <i>hche</i>.</u>	33
<u>Figura 20. Disposição dos tratamentos para cada bloco.</u>	34
<u>Figura 21. Pontos de amostragens para a determinação do teor de água no solo.</u>	35
<u>Figura 22. Pontos de amostragens para a determinação da resistência à penetração.</u>	35
<u>Figura 23. Força horizontal em função da distância, para as diferentes repetições em cada tratamento e as médias destes. (a). <i>dd</i>; (b) <i>hc</i>; (c) <i>he</i>; (d) <i>ddhc</i>; (e) <i>ddhe</i>; (f) <i>ddhche</i>; (g) <i>hche</i>.</u>	39

<u>Figura 24. Força vertical em função do distância, para as diferentes repetições em cada tratamento e as médias destes. (a). <i>dd</i>; (b) <i>hc</i>; (c) <i>he</i>; (d) <i>ddhc</i>; (e) <i>ddhe</i>; (f) <i>ddhche</i>; (g) <i>hche</i>.</u>	41
<u>Figura 25. Média do perfil do solo mobilizado para os diferentes tratamentos. (a). <i>dd</i>; (b) <i>hc</i>; (c) <i>he</i>; (d) <i>ddhc</i>; (e) <i>ddhe</i>; (f) <i>ddhche</i>; (g) <i>hche</i>.</u>	43
<u>Figura 26. Resistência à penetração média para cada bloco.</u>	46

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela 1. Efeito da fertilização de K na produção de algodão (Mullins et al., 1997).</u>	7
<u>Tabela 2. Efeito do manejo do solo e da fertilização sobre o rendimento de milho, soja, arroz e feijão, com uréia, sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio.</u>	8
<u>Tabela 3. Resultados obtidos para força total, força horizontal, força vertical e distância de ruptura, aplicando o modelo de McKyes e Ali (1977), e da profundidade crítica, aplicando o modelo de Godwin e Spoor (1977).</u>	26
<u>Tabela 4. Análise de variância da variável Força Horizontal expressa em kN.</u>	38
<u>Tabela 5. Comparação de médias entre os tratamentos pelo Teste de Tukey para a variável Força Horizontal expressa em kN.</u>	40
<u>Tabela 6. Análise de variância da variável Força Vertical expressa em kN.</u>	40
<u>Tabela 7. Comparação de médias entre os tratamentos pelo Teste de Tukey para a variável Força Vertical expressa em kN.</u>	42
<u>Tabela 8. Análise de variância da variável Área Mobilizada expressa em m².</u>	44
<u>Tabela 9. Comparação de médias entre os tratamentos pelo Teste de Tukey para a variável Área Mobilizada expressa em m².</u>	44
<u>Tabela 10. Análise de variância da variável profundidade expressa em m.</u>	45
<u>Tabela 11. Comparação de médias entre os tratamentos pelo Teste de Tukey para a variável Profundidade de Trabalho expressa em m.</u>	45
<u>Tabela 12. Análise de variância da variável Índice de Cone expressa em kPa.</u>	47
<u>Tabela 13. Comparação de médias entre os tratamentos pelo Teste de Tukey para a variável Índice de Cone expressa em kPa.</u>	47
<u>Tabela 14. Análise de variância da variável Resistência Específica expressa em kPa.</u>	48
<u>Tabela 15. Comparação de médias entre os tratamentos pelo Teste de Tukey para a variável Resistência Específica expressa em kPa.</u>	48
<u>Tabela 16. Análise de variância do Índice de Força, adimensional.</u>	49
<u>Tabela 17. Comparação de médias entre os tratamentos pelo Teste de Tukey para a variável Índice de Força, adimensional.</u>	49

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos minúsculos

a : adesão das partículas do solo com o metal da ferramenta, Pa;
 c : coesão das partículas do solo, Pa;
 d : profundidade de corte do implemento, m;
 d_c : profundidade crítica de trabalho, m;
 g : aceleração da gravidade, $m.s^{-2}$;
 h : altura do solo levantado a frente da ferramenta, m;
 p : componente de R devido ao atrito, $N.m^{-1}$;
 p_r : pressão atuando na face da ferramenta, Pa;
 q : sobrecarga aplicada sobre o solo, Pa;
 r : raio ou distancia de ruptura crescente, m;
 w : largura de corte do implemento, m;
 z : profundidade media do centróide da cunha de ruptura, a partir da superfície, m;

Símbolos maiúsculos

A : componente de R devido a adesão do solo, $N.m^{-1}$;
 Aa : componente de p devido a adesão solo-metal, $N.m^{-1}$;
 A_l : área lateral da cunha do solo, m^2 ;
 A_m : área mobilizada de solo em um sulco, m^2 ;
 C : componente de p devido a coesão do solo, $N.m^{-1}$;
 F : força atuante sobre a superfície de ruptura, N;
 F_T : força total, N;
 F_x : força horizontal ou força de tração, N;
 F_y : força vertical, N;
 F_z : força lateral, N;
 IC : índice de cone, Pa;
 IF : índice de força, adimensional;
 K_γ : fator de inclinação, adimensional;
 K_o : coeficiente de pressão do solo, adimensional;
 K_1, K_2, K_3, K_4 : coeficientes dependentes da geometria de ruptura do solo, adimensional;
 L_x : leitura registrada pelo transdutor para a força horizontal, mV;
 L_y : leitura registrada pelo transdutor para a força vertical, mV;
 $N_\gamma, N_c, N_q, N_{aa}, N_{ca}, N'_c, N'_q, N_{\gamma x}, N_{cx}, N_{qx}, N_{cax}, N_{s\gamma}, N_{sc}$: fatores dependentes da geometria da ferramenta e das propriedades mecânicas do solo, adimensional;
 P : força total da ferramenta, para o preparo do solo, N;
 P_f : componente de força frontal a ferramenta, N;
 P_s : componente de força lateral a ferramenta, N;
 Q : componente de p devido a sobrecarga no solo, $N.m^{-1}$;
 R : resistência do solo por unidade de largura da ferramenta, $N.m^{-1}$;
 R_e : Resistência específica, Pa;
 W : componente de p devido ao peso próprio do solo, $N.m^{-1}$;

Símbolos gregos

- α : ângulo de ataque da ferramenta, rad;
- β : ângulo de aproximação do plano de ruptura, rad;
- β_{cr} : valor de β para o qual p é mínimo, rad;
- γ : ângulo de atrito solo-metal, rad;
- γ_r : ângulo de ruptura, entre a parte central da cunha de ruptura e as linhas laterais de ruptura, rad;
- γ_i : ângulo de atrito interno das partículas do solo, rad;
- ρ : densidade total do solo, Mg.m^{-3} ;
- φ : $\frac{\gamma}{4} + \frac{\gamma_i}{2}$, rad;
- $\varphi_p - \varphi_f$, rad;
- θ : ângulo entre a linha de aplicação da força resultante e a direção horizontal, rad;
- θ_a : ângulo entre a direção horizontal e a direção de aplicação de A , rad;
- θ_c : ângulo entre a direção horizontal e a direção de aplicação de C , rad;
- θ_f : ângulo entre a direção horizontal e a direção de aplicação de F , rad;
- θ_p : ângulo entre a direção horizontal e a direção de aplicação de p , rad

RESUMO

O experimento foi desenvolvido em caixa de solo, na Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, com o objetivo de avaliar configurações de discos duplos e hastes para distribuir adubo em profundidades de 0,0 a 0,30 m. Foram testados discos duplos atuando a 0,1 m, haste curta atuando a 0,20 m e haste escarificadora atuando a 0,30 m em área com a presença de palhicho, tanto individualmente como combinações destes. O solo da caixa foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo e apresenta uma textura composta de 29,5 % de argila, 23,5 % de silte e 47 % de areia. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com sete tratamentos e quatro repetições. Avaliaram-se as forças horizontal e vertical, área de solo mobilizada, profundidade de trabalho, índice de cone, resistência específica e índice de força. Os valores das forças de reação do solo foram medidos com anel octogonal estendido. Os resultados indicaram que o uso de discos duplos na frente das hastes reduziu a força horizontal e a área de solo mobilizada, embora suas magnitudes não diferiram estatisticamente. Os tratamentos com hastes, além de requerer maiores esforços de tração apresentaram maiores áreas mobilizadas resistência específica semelhante. Para a força vertical, observou-se que a combinação de discos duplos e hastes reduz o valor deste parâmetro. A máxima profundidade reportada foi para os tratamentos que apresentaram combinações discos duplos e haste escarificadora. Os discos duplos descentrados apresentaram a menor força horizontal, menor profundidade de trabalho e menor área mobilizada, porém maior resistência específica e maior índice de força. A unidade experimental composta de discos duplos, haste curta e haste escarificadora mostrou ser uma alternativa viável para a prática de cultivo de solo em área de plantio direto, facilitando o corte de resíduos na superfície e ajudando a reduzir a compactação e o adensamento do solo.

PALAVRAS CHAVE: máquinas agrícolas; solos-manejo; equipamento agrícola; agricultura-mecanização.

ABSTRACT

The experiment was conducted in a soil bin at Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP. The objective was to evaluate configurations of double disks and narrow tines to distribute fertilizer at depths from 0,0 to 0,30 m in surface with the presence of straw. Offset double disks working at depth of 0,10 m, chisel tines at 0,20 m and subsoilers at 0,30 m were tested, both individually and combinations of them. The soil was classified as Latossolo Vermelho Amarelo (sandy loam) and its texture was 29.5% of clay, 23.5% of silt and 47% of sand. The experimental delineation was of randomized blocks, with seven treatments and four repetitions. The horizontal and vertical soil reaction force, soil disturbed area, working depth, cone index, specific resistance and force index were evaluated. The values of the soil reaction forces were measured with an extended octagonal ring. The results indicated the use of offset double disks in front of the chisel tine reduced the horizontal force and the soil disturbed area, although your magnitudes did not differ statistically. The treatments with narrow tines, besides requiring higher traction efforts, present larger mobilized areas and therefore, similar specific resistance. It was observed that the combination of double disks and chisel tine reduce the vertical force. The combination of double disks and subsoiler presented the maximum working depth. The offset double disks presented the smallest horizontal force, minimum working depth and smaller mobilized area, however larger specific resistance and larger force index. The treatments that presented better homogeneity among analyzed variables were those with double disks with chisel tines.

KEY-WORDS: agricultural machinery; soil tillage; coulter implement; subsoiler.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

A crescente demanda por alimentos e insumos básicos para a agroindústria exercem alta pressão sobre os recursos naturais, o que obriga a ampliação da fronteira agrícola e degrada principalmente a qualidade do solo e da água. Grande parte desta pressão apresenta-se nos países que se acham nas zonas tropicais e subtropicais, em regiões conhecidas como savanas, onde os solos são fisicamente frágeis, fortemente ácidos, possuem deficiência de nutrientes e onde a ocorrência de fortes precipitações e altas temperaturas, favorecem os processos de degradação.

De acordo com Amezquita et al. (1999) na América do sul estas savanas são cerca de 270 milhões de hectares situadas na Bolívia (14), Brasil (207), Colômbia (17), Guiana (4) e Venezuela (28), cujas limitações principais são sua baixa fertilidade, acidez de moderada a forte, alta mineralização de matéria orgânica, susceptibilidade à erosão laminar e, de acordo com o manejo do solo, perda da estrutura física do solo.

Tradicionalmente estas zonas dedicam-se a pecuária de corte extensiva, em pastagens nativas de baixa qualidade e baixa capacidade de carga, mas durante as últimas duas décadas têm-se observado a introdução de pastos melhorados e, em áreas mecanizáveis, a mudança para a produção de outras culturas (arroz, milho, sorgo, soja e algodão).

Na produção destas culturas é necessária a aplicação de corretivos e fertilizantes, que são incorporados ao solo mediante práticas do preparo convencional, ocasionando uma movimentação do solo a uma profundidade que varia entre 0,20 a 0,30 m.

A prática de incorporação de corretivos e preparo do solo realiza-se, geralmente, no início do período chuvoso, o que causa uma grande perda de solo e dos insumos aplicados e, com o tempo, favorece a degradação, reduzindo a produtividade e a fertilidade natural, passando a área a depender cada vez mais de insumos externos.

Com o desenvolvimento dos sistemas de conservação de solo este impacto diminui notoriamente, mas aparecem outras limitações técnicas devido à baixa mobilidade que alguns fertilizantes e corretivos apresentam no solo. Estes são aplicados superficialmente ou em uma profundidade máxima de 0,10 m, mas seu efeito dificilmente alcança os 0,15 m recomendados agronomicamente, o que limita o desenvolvimento das raízes e incide na produtividade devido à baixa fertilidade e alta concentração de alumínio que persiste em níveis inferiores.

Por isto, é necessária à utilização inicial de corretivos como a calcário ou o gesso, para depois aplicar fertilizantes, com a finalidade de reduzir a toxicidade do alumínio, aumentar o pH, aumentar a disponibilidade de nutrientes e favorecer a atividade biológica do solo. Estes agroquímicos devem ser incorporados a uma profundidade tal que melhorem as condições químicas na zona de crescimento das raízes.

No processo de calagem se realiza uma distribuição superficial da cal e para a sua incorporação em uma maior profundidade realiza-se entre uma e três passadas de arados de discos em conjunto com grades, a uma profundidade máxima de 0,25 m. Este manejo opõe-se aos princípios dos sistemas de conservação, já que desagrega o solo e deixa-o sem proteção ante agentes erosivos. Por esta razão Bianchini et al. (2001a) afirmam que na cultura de cana-de-açúcar, a manutenção do palhço exige equipamentos específicos para lavouras como adubação, escarificação ou subsolagem do solo, sem movimentar o palhço da superfície.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento de uma unidade experimental de um implemento para cultivo de solos composto de discos duplos e hastes, que permita a fertilização profunda em uma camada de solo de 0 a 0,30 m, na aplicação de corretivos e fertilizantes sólidos, com manutenção do palhço e avaliar seu comportamento, vantagens e limitações na interação máquina-solo, em caixa de solo.

1.2.2 Objetivos específicos

- ? Construir uma unidade experimental do cultivador que permita a adubação a diferentes profundidades, baseados em equipamentos comerciais existentes;
- ? Determinar as características de operação da unidade experimental em caixa de solo;
- ? Avaliar o desempenho desta unidade experimental em relação ao comportamento das forças horizontal e vertical, resistência específica e área mobilizada.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Descrição de fertilizadoras

Os fertilizantes e corretivos são aplicados para melhorar as condições químicas do solo e a disponibilidade de nutrientes requeridos pelas plantas. Sua distribuição uniforme e a localização adequada no solo são cada vez mais importantes para o melhor aproveitamento das plantas e para a diminuição de possíveis perdas por volatilização ou por deflúvio superficial (Ortiz – Cañavate, 1984).

Os fertilizantes podem ser sólidos, líquidos ou gasosos e sua aplicação (modo e frequência) depende de suas características, das condições do solo e dos requerimentos do cultivo. Esta síntese bibliográfica concentra-se em máquinas para aplicação de fertilizantes e corretivos sólidos, tendo em vista que estes são mais utilizados na agricultura.

Conforme os fertilizantes e corretivos são distribuídos, podem ser classificados em:

- ✍ **Distribuidoras por gravidade.** Nestes equipamentos geralmente a largura da máquina corresponde à largura de aplicação e os corretivos ou adubo são distribuídos por gravidade. Este sistema é o mais econômico e fácil de operar.
- ✍ **Distribuidoras centrífugas.** A largura de aplicação é maior que a largura da máquina e o corretivo e adubo são distribuídos no solo mediante dispositivos mecânicos, acionados pelo tomada de potencia (TDP) do trator. Demanda maior potencia e sua construção, operação e manutenção são mais caros.
- ✍ **Distribuidoras pneumáticas.** Neste sistema o produto é carregado por uma corrente de ar a pressão ao longo de uma barra ou rampa com saídas. A largura de aplicação é aproximadamente a mesma da barra de distribuição. É o sistema mais caro e de difícil manutenção.

Os implementos desenvolvidos disponíveis no mercado para distribuição de fertilizantes, podem ser classificados em:

- ✍ **Superficiais.** Esta operação se realiza com equipamentos que distribuem o adubo ou corretivo na superfície e é comum que este se incorpore ao solo mediante o uso de arados e grades. É o sistema mais utilizado na aplicação de corretivos em solos ácidos.
- ✍ **Subsuperficiais.** Realiza-se em sulcos, por meio de discos duplos em V ou com haste rígida na parte traseira. Com esta operação coloca-se o adubo a uma profundidade que varia entre 0,10 e 0,30 m.

A velocidade de operação destes equipamentos varia entre 4 e 8 km h⁻¹ conforme suas características e às propriedades do produto que se aplica. Nos equipamentos atuais a capacidade dos depósitos varia entre 50 e 100 kg por metro de largura, constituindo uma desvantagem quando se trabalha em áreas de grande extensão, já que o tempo dedicado ao abastecimento do depósito é recorrente e incide na eficiência de campo.

Na aplicação dos fertilizantes a profundidade de trabalho e a velocidade de operação influem na quantidade de solo mobilizado. Chichester et al. (1985) avaliando sistemas de fertilização localizada mediante dispositivos disco-haste, em velocidades de 4,7 e 10 km h⁻¹ encontraram que a maior remoção do solo se dá a uma velocidade de 7 km h⁻¹, sendo 3 vezes maior a uma profundidade de trabalho de 0,10 m se comparada à profundidade de 0,05 m. Coelho et al. (1998) em pesquisa realizada para diferentes sistemas de sulcadores utilizados para plantio direto, não encontrou diferenças significativas na remoção do solo e na cobertura do palhço mantida no solo.

Outros fatores a se considerar na incorporação localizada de fertilizantes são os relacionados com as características dos discos e hastes. No caso dos discos, Gill et al. (1982) determinaram que a profundidade de penetração no solo é influenciada pelo ângulo de trabalho, forma (concavidade principalmente) e peso do disco. Seus resultados indicam que os discos planos ou de baixa concavidade devem trabalhar em ângulos de 0,35 a 0,40 rad, com peso de 68 kg e um diâmetro de 0,61 m. Com estas características se consegue uma penetração superior a 0,1 m em solo arenoso e 0,027 m em solo argiloso, sendo necessário para este último solo um disco com peso maior. Com discos de menor peso, o ângulo de penetração deve ser maior para se conseguir uma melhor profundidade, o que por outro lado indica uma maior mobilização do solo. Da mesma forma, concluíram que para velocidades maiores a profundidade de trabalho diminui.

Chaudhuri (2001) fez uma revisão de diferentes pesquisas realizadas para avaliar o desempenho de sistemas sulcadores e concluiu que o incremento do ângulo de ataque da haste aumenta o requerimento de força horizontal, e que usualmente os valores mais baixos encontrados para a força horizontal em testes experimentais, apresentam-se quando o ângulo de ataque é entre 0,436 e 0,524 rad. Também encontrou que o aumento da largura da haste incrementa o requerimento da força horizontal e a quantidade de solo mobilizado.

No caso das hastes rígidas, Wildman et al. (1978) encontraram que a mobilização do solo foi maior quando o ângulo de ataque foi de 0,436 rad, a uma velocidade de operação de 3,2 km h⁻¹, na qual apresentou-se a profundidade crítica de trabalho. Spoor e Godwin (1978) afirmam que a mobilização do solo depende da profundidade de trabalho, do comprimento e da largura da haste, além da umidade e da densidade do solo.

2.2 Efeito da aplicação de fertilizantes e corretivos no solo e no cultivo

A prática mais freqüente de fertilização faz-se depositando o fertilizante ou corretivo na superfície do solo durante ou antes da semeadura. Quando se realiza antes da semeadura, a incorporação é feita mediante o uso de arados de discos, aivecas ou grades, que revolvem o solo a uma profundidade até 0,30 m. Existem também equipamentos para aplicar fertilizantes entre sulcos da cultura a uma profundidade entre 0,05 e 0,10 m. Para pastagens é comum o uso de hastes para romper camadas compactas e realizar uma fertilização simultânea a uma profundidade entre 0,20 e 0,30 m.

Segundo Kluthcouski et al. (2000) as sucessivas fertilizações superficiais podem originar alterações nos parâmetros físicos e químicos do solo, devido à acumulação de nutrientes na superfície. No caso do Cerrado Brasileiro o autor cita: “Sob as condições climáticas reinantes neste bioma, tem sido difícil a formação e principalmente a manutenção de volume de palhada, em quantidade suficiente para proteger plenamente a superfície do solo. Isto aliado a intensa movimentação de máquina e implementos, pode favorecer o surgimento de problemas de segunda geração, ou aqueles decorrentes do uso continuado do sistema de plantio direto, tais como: recompactação/readensamento do solo; salinização devido á constante deposição dos fertilizantes na superfície”.

No caso da uréia, principal fonte de N na agricultura, de acordo com seu comportamento no solo, a volatilização e o deflúvio superficial são duas das causas principais de perdas, ocasionando produções menores. Rodrigues e Kiehl (1986) citado por CASTRO et al. (1999) observaram que a incorporação da uréia no solo reduz a volatilização do amoníaco. Por esta razão Pavan e Parra (1995) recomendam a incorporação da uréia a uma profundidade entre 0 e 0,20 m. Bianchini et al. (2001a) para cultura da cana-de-açúcar, recomendam que a adubação de nitrogênio a base de uréia, seja aplicada sob o palhiço e preferencialmente incorporada ao solo.

Bautista et al. (1999 a,b) em Tsukuba avaliaram a perda de nitrogênio incorporado ao solo mediante uma emulsão líquida, a profundidades de 20, 70, 110 e 150 mm. Os resultados obtidos mostram que a menor perda se dá a uma profundidade de 110 mm. Além disso, os autores avaliaram o comportamento do arroz neste experimento, sem encontrar diferenças significativas no desenvolvimento das plantas e da sua produção, porém concluíram que mediante a aplicação de N a uma profundidade de 110 ou 150 mm, é possível a redução na dose de N uma vez que se diminui a volatilização do N e a perda por deflúvio superficial.

Pesquisas desenvolvidas nos Estados Unidos estudaram a deficiência de K na cultura do algodão, mediante a aplicação deste mineral por diferentes métodos. Gulick et al. (1989) encontraram os melhores resultados no sistema de fertilização profunda no estado da Califórnia. Baseados neste trabalho, Mullins et al. (1997) desenvolveram uma pesquisa no estado de Alabama com aplicação de K ao nível superficial e subsuperficial mediante o uso de um subsolador, a uma profundidade constante de 0,38 m, em três classes de solo. Os autores verificaram não haver diferenças significativas dos tratamentos na produção, sendo levemente maior na distribuição superficial de K, para solo de textura fina, como se observa na Tabela 1.

Tabela 1. Efeito da fertilização de K na produção de algodão (Mullins et al., 1997).

Forma de Aplicação	Produção (kg.ha ⁻¹)				
	1989	1990	1991	1992	Media
Solo limoso					
Superficial	4050 a	2137 a	1780 a	-	2656 a
Profunda	3871 a	2226 a	1652 a		2583 a
Solo arenoso					
Superficial	2407 a	2900 a	3598 a	-	2968 a
Profunda	2668 a	3110 a	3519 a		3099 a
Solo argiloso					
Superficial	-	3043 a	3223 a	3278 a	3182 a
Profunda		2856 b	3122 a	3182 a	3053 a

Para todos os tratamentos fez-se uma passada de subsolador antes da aplicação de K.
Medidas seguidas da mesma letra, não diferem ao nível de P=0,05, teste de Duncan.

Kluthcouski et al. (2000) encontraram diferenças na produção de milho, soja, arroz e feijão em pesquisa desenvolvida nos anos 1996-97, mediante fertilização e manejo do solo, apresentando-se o melhor efeito para aração profunda feito com aiveca (Tabela 2).

Tabela 2. Efeito do manejo do solo e da fertilização sobre o rendimento de milho, soja, arroz e feijão, com uréia, sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio.

Tratamentos		Rendimento (kg.ha ⁻¹)			
Manejo ¹	Adubação ²	Milho	Soja	Arroz	Feijão
PD	T	5867	3554	2394	2247
	To	6032	3498	2538	2328
	Eg	5928	3509	2614	2525
	média	5942 b	3520 a	2515 c	2367 b
GA	T	5729	3548	2765	2174
	To	6103	3619	2990	2041
	Eg	6054	3611	3287	2517
	média	5962 b	3593 a	3014 b	2244 b
EP	T	6021	3512	3246	2315
	To	5881	3685	3084	2273
	Eg	6107	3568	3239	2460
	média	6003 b	3582 a	3189 b	2349 b
AP	T	6569	3493	3614	2565
	To	6695	3703	3554	2681
	Eg	6762	3570	3854	2826
	média	6675 a	3589 a	3674 a	2691 a

¹ PD: plantio direto; GA: grade aradora; EP: escarificação profunda; AP: aração profunda. ² T: testemunha; To recomendação oficial para a região; Eg: reposição das exportações pela colheita. Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem ao nível de P=0,05, teste de Tukey. Fonte: (Kluthcouski et al. 2000)

A aplicação de corretivos no sistema de plantio direto realiza-se superficialmente. Staut e Kurihara (1998) afirmam que este procedimento permite que o alumínio trocável no solo mantenha-se em níveis não detectáveis a uma profundidade de 0 a 0,05 m e em níveis não prejudiciais na camada de 0,05 a 0,10 m, mais seu efeito não alcança camadas de maior profundidade, o que restringe o crescimento das raízes. Para dose de 5 Mg.ha⁻¹ os autores recomendam para o Cerrado que a aplicação de calcário se realize de forma convencional, distribuindo a metade da dose antes da aração e a outra metade antes de gradagem. Desta maneira obtêm-se a incorporação na camada de 0 a 0,20 m. Se a incorporação for feita a uma profundidade menor, pode se induzir redução da disponibilidade de nutrientes.

Com respeito à aplicação de corretivos Sousa et al. (1986) recomendam a incorporação de calcário a uma profundidade entre 0 e 0,30 m e dose de 5 a 8 Mg.ha⁻¹, segundo a análise do solo. Isto propicia um bom desenvolvimento das raízes e melhora a produtividade da cultura, pois reduz os teores de Al e melhora a absorção de água e nutrientes.

2.3 Modelos para cálculo de esforços de ferramentas estreitas

Existem diferentes modelos para o cálculo das forças atuantes no solo, sua deformação e o comportamento da mobilização sob condições estáticas e dinâmicas, não são modelos generalizados para todas as condições, embora permitam prever o comportamento na interação ferramenta-solo.

Segundo Jayasuriya e Salokhe (2001) pode-se identificar quatro métodos para estimar as interações ferramenta-solo e determinar algumas propriedades mecânicas presentes na mobilização de solo. O primeiro método usa equações empíricas ou semiempíricas baseadas na geometria e nas condições estáticas e dinâmicas. O segundo método faz aproximações por meio da análise dimensional, sendo o aspecto mais relevante, a identificação de parâmetros críticos do modelo e sua representação. No terceiro aplica-se o método de elementos finitos, o qual permite calcular forças, deslocamento, velocidade ou a aceleração do solo, sem a necessidade de realizar testes previamente. Este método apresenta limitações para comportamentos dinâmicos, comuns em operações de preparo de solo. O quarto método consiste na aplicação de redes neurais e, trabalha diferentes modelos em combinação com o método de elementos finitos, o que facilita a simulação de ferramentas sob comportamentos dinâmicos. Redes neurais foram estudadas anteriormente por Kushwaha e Zhang (1998) e afirmaram ser este método uma grande ferramenta para a simulação do preparo do solo e de seu comportamento dinâmico.

Os quatro modelos descritos a seguir foram apresentados por Grisso e Perumpral (1985) como adequados para o cálculo de esforços em ferramentas estreitas e para estabelecer a quantidade de solo mobilizado, sob diferentes condições do solo.

2.3.1 Hettiaratchi e Reece

A análise de caso tridimensional de ruptura do solo apresentado por Hettiaratchi et al. (1966/1967) é baseado no modelo de pressão passiva e assume que a configuração da ruptura do solo possui componentes frontais e laterais sobre a ferramenta. As componentes referem-se à falha longitudinal na interface solo-ferramenta. A força total sobre a ferramenta é a soma da componente frontal (P_f), da componente lateral (P_s) e da adesão na interface solo-ferramenta.

A Figura 1 representa as forças atuantes no bloco de solo mobilizado, para a obtenção de P_f , e utiliza o modelo estabelecido por eles para o caso bidimensional, onde assumem que a falha na interface solo-ferramenta se estende longitudinal e lateralmente. A resistência por unidade de largura de corte (R) pode ser determinada pela seguinte relação:

$$R = f(c, \phi, \alpha, d, \gamma, q) \quad (1)$$

A representação da relação entre as variáveis inicialmente era feita com a utilização de um único gráfico, dificultando a sua aplicação. Por este motivo, os autores dividiram R em duas partes: uma devido ao atrito solo-ferramenta, ocorrendo com o ângulo ϕ , denominada p e outra, causada pela adesão na superfície da ferramenta, denominada A e dada pela seguinte expressão:

$$A = ad / \sin \phi \quad (2)$$

Sendo assim o problema ficou reduzido ao cálculo e localização do ponto de aplicação da componente p sobre a ferramenta. A partir de análise dimensional obtém-se sete grupos adimensionais, descritos como:

$$\frac{p}{\gamma d^2} = f\left(\frac{c}{\gamma d}, \frac{a}{\gamma d}, \frac{q}{\gamma d}, \phi, \alpha, \gamma\right) \quad (3)$$

As três primeiras componentes da Equação 3 são conhecidos como números característicos do solo, representando cada um deles, as taxas de coesão, adesão e sobrecarga sobre as componentes de tensão. A relação entre p e os grupos adimensionais pode então ser derivada do estudo das forças atuantes em um bloco de solo de largura unitária, assumindo OIJ como a superfície de ruptura, Figura 1.

Conhecendo-se a geometria do bloco de solo em estudo e os três números característicos do solo, pode-se determinar a magnitude de p . Os valores devidos as componentes de adesão (A_a), coesão (C), ao peso próprio (W) e à sobrecarga (Q), são determinados pelas seguintes expressões:

$$A_a = adK_3 \quad (4)$$

$$C = cdK_2 \quad (5)$$

$$W = \gamma d^2 K_1 \quad (6)$$

$$Q = qdK_4 \quad (7)$$

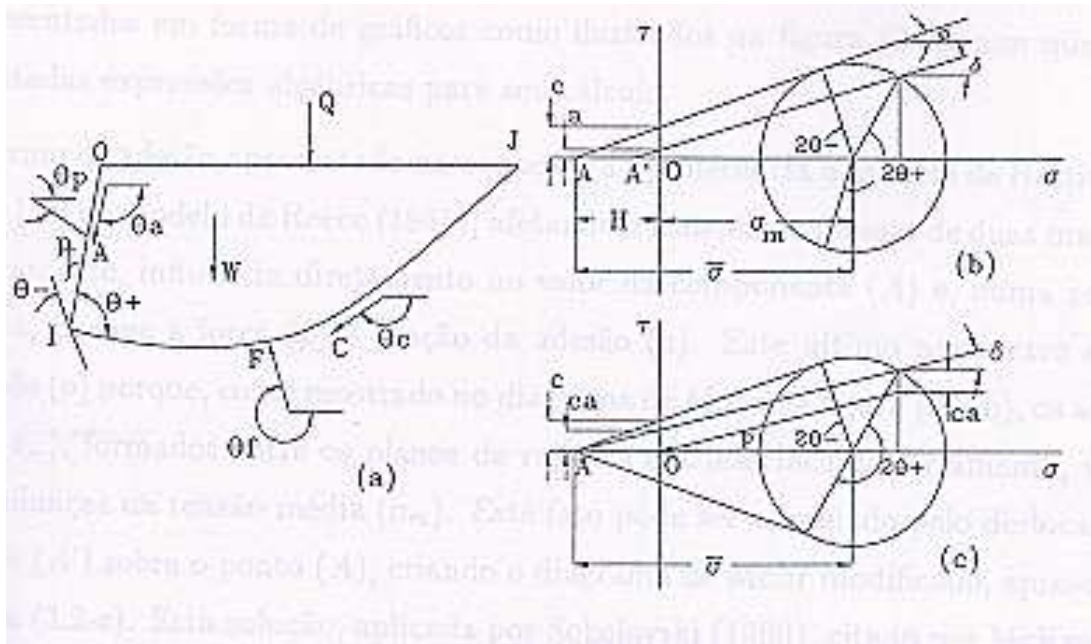


Figura 1. Forças atuantes na interface solo-ferramenta, para o caso bidimensional. (Hettiratchi e Reece, 1974)

Os coeficientes adimensionais K_1 , K_2 , K_3 e K_4 dependem da geometria de ruptura do bloco do solo. Considerando o equilíbrio de forças na direção de atuação de (F) , tem-se:

$$p = \gamma g d^2 K_1 \frac{\cos(\theta_f)}{\sin(\theta)} + c d K_2 \frac{\sin(\theta_c - \theta_f)}{\sin(\theta)} + a d K_3 \frac{\sin(\theta_a - \theta_f)}{\sin(\theta)} + q d K_4 \frac{\cos(\theta_f)}{\sin(\theta)} \quad (8)$$

Chamando os termos adimensionais e agrupados entre parêntesis de N_γ , N_c , N_{aa} e N_q , respectivamente, resultando:

$$p = \gamma g d^2 N_\gamma + c d N_c + a d N_{aa} + q d N_q \quad (9)$$

Os coeficientes N_γ , N_c , N_{aa} e N_q dependem das características do solo, da geometria do bloco de solo mobilizado, dos parâmetros ϕ e c , do ângulo de ataque da ferramenta (θ) e são geralmente tabelados ou apresentados em forma de gráficos, sem que os autores apresentem expressões algébricas para seu cálculo. A Equação 9 quando multiplicada pela largura de trabalho da ferramenta, apresenta a forma da Equação 10, que representa a componente frontal da força, P_f .

$$P_f = g d^2 N_\gamma + c d N_c + a d N_{aa} + q d N_q \quad (10)$$

A força lateral (P_s) é composta de forças coesivas e gravitacionais. A componente lateral faz um ângulo de atrito (ϕ) com a normal da interface solo-ferramenta e é expressa da seguinte forma:

$$P_s = g d \frac{q}{\gamma} N_{s\phi} + c d w N_{sc} \quad (11)$$

Na Equação 11, os fatores $N_{s\phi}$ e N_{sc} dependem da rugosidade do material da ferramenta. Estes fatores podem ser calculados pelas equações 12 e 13.

$$N_{s\phi} = \frac{\sin^3 \phi e^{\phi \tan \phi}}{\cos \phi \cos \phi} \quad (12)$$

$$N_{sc} = \tan \phi \frac{1}{\sin \phi} \frac{1}{2} N_c + N_a \tan \phi \cot \phi + 2 \tan \phi \frac{1}{N_q} \quad (13)$$

Relações separadas são freqüentemente fornecidas para condições ideais sem rugosidade ($\phi = 0$) e rugosidade semelhante ao ângulo de atrito interno das partículas de solo ($\phi = \phi$), podendo ser obtidas por meio de gráficos como os fornecidos por Hettiaratchi et al. (1966). Estes fatores são utilizados para calcular as componentes laterais e verticais da força. Para valores diferentes do ângulo de atrito ($0 < \phi < \phi$) os autores fizeram gráficos com os dados experimentais, observando que o comportamento entre $\log N$ e ϕ/ϕ era quase linear. Desconsiderando as pequenas variações de deflexão estabeleceu-se a Equação (14),

$$N_\phi = N_{\phi=0} \frac{N_{\phi/\phi}}{N_{\phi=0}} \quad (14)$$

Onde N_ϕ é o valor do fator N (N_γ , N_c , N_{aa} e N_q) e $N_{\phi=\phi}$ e $N_{\phi=0}$ são, respectivamente, os valores correspondentes dos fatores N para $\phi = 0$ e para $\phi = \phi$, obtidos dos gráficos.

Para ferramentas inclinadas, a Equação 11 deve ser multiplicada pelo fator de inclinação K_ϕ , dado pela seguinte relação:

$$K_\phi = \frac{\tan^2 \phi \frac{1}{\sin \phi} \cot \phi}{90 \phi} \quad (15)$$

Generalizando a componente lateral, tem-se:

$$P_s = w \cdot g \cdot d \cdot \frac{q}{\gamma} N_{s\gamma} + c d N_{sc} K_\gamma \quad (16)$$

Pela combinação das Equações 10 e 16, incluindo-se a força de adesão na interface solo-ferramenta, as forças horizontal e vertical de uma ferramenta estreita, pode ser expressa da seguinte forma:

$$F_x = P_f \sin \eta + P_s \sin \eta + adw \cot \eta \quad (17)$$

$$F_z = P_f \cos \eta + P_s \cos \eta + adw \quad (18)$$

As diferenças obtidas para o cálculo da força requerida para produzir a falha do solo, foram aceitáveis, segundo Hettiaratchi et al. (1966). McKyes (1985) afirmou que este modelo é adequado para prever a força horizontal em hastes que apresentem uma largura perto de $1/6$ da profundidade de trabalho. Para hastes com larguras maiores, as forças horizontais reportadas por este modelo, foram menores.

2.3.2 Godwin e Spoor

Godwin e Spoor (1977) desenvolveram um modelo para determinar forças em ferramentas estreitas contemplando relações entre largura das hastes e profundidade de trabalho. Eles consideraram um modelo para trabalho a profundidades inferiores da profundidade crítica (discutido no item 2.3.5) e outro para o cálculo além da profundidade crítica. A Figura 2 representa o formato de ruptura considerado para o primeiro modelo.

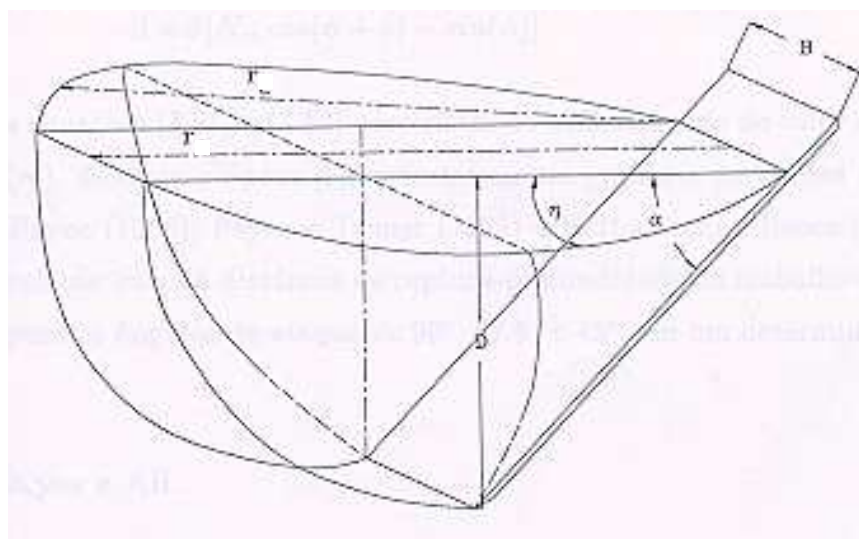


Figura 2. Representação da falha tridimensional do solo ocasionado por ferramentas estreitas, em profundidades inferiores às críticas, no modelo proposto por Godwin e Spoor (1977)

A cunha de solo desenvolvida foi dividida em duas porções. Uma central, com a largura da haste e duas laterais. A Equação 10, obtida por Hettiaratchi et al. (1966) foi utilizada para calcular as forças da secção central. Para o cálculo da força devido a componentes laterais, foi desenvolvida uma equação assumindo um raio ou distância de ruptura crescente (r) lateralmente e estendido até um ângulo θ definido na Equação 19.

$$\theta = \cos^{-1} \frac{d \cot \theta}{r} \quad (19)$$

Para obter a relação da força lateral, os autores assumiram um volume unitário de solo com forma de cunha. Uma equação para a força passiva devido a este volume elementar foi desenvolvida e integrada para obter-se a força lateral total.

A relação para as forças horizontal e vertical foram desenvolvidas pela combinação das componentes central e lateral, obtendo:

$$F_x = \frac{1}{2} g d^2 N_\gamma + c d N_c + q d N_q \left[\frac{1}{2} w + r \sin \theta \right] \frac{1}{2} \sin \theta + \frac{1}{2} A w d \left[N_{ca} \cos \theta + \frac{1}{2} \cos \theta \right] \quad (20)$$

$$F_z = \frac{1}{2} g d^2 N_\gamma + c d N_c + q d N_q \left[\frac{1}{2} w + r \sin \theta \right] \frac{1}{2} \cos \theta + \frac{1}{2} A w d \left[N_{ca} \cos \theta + \frac{1}{2} \sin \theta \right] \quad (21)$$

Para o uso das Equações 20 e 21 é necessário conhecer o valor da distância de ruptura (r). Por esta razão Godwin e Spoor (1977) desenvolveram um gráfico a partir das informações obtidas por Payne (1956), Payne e Tanner (1959) e Hettiaratchi e Reece (1967) para descrever a relação entre a distância de ruptura-profundidade de trabalho em referencia ao ângulo de ataque da haste.

Godwin e Spoor (1977) realizaram testes em um solo de textura média e velocidade de 2 km.h⁻¹ para verificar o modelo. A força horizontal calculada apresentou valores próximos aos valores obtidos experimentalmente. A força vertical obtida pelo modelo apresentou valores até dez vezes maiores aos obtidos experimentalmente, para solos compactados. O método para a determinação da distância de ruptura reportou valores próximos aos encontrados experimentalmente.

2.3.3 McKyes e Ali

O modelo proposto por McKyes e Ali (1977) é similar ao modelo de Godwin e Spoor. A diferença básica é que o modelo destes autores não é dependente da distância de ruptura para o cálculo das forças em ferramentas estreitas.

A superfície de ruptura é aproximada a um plano formando um ângulo de ruptura ϕ com a horizontal definida pela linha IJ (Figura 3). Considerando uma condição próxima à ruptura do solo, a determinação das forças na ferramenta foi desenvolvida em função do ângulo de ruptura, o qual também foi utilizado para determinar parâmetros relativos ao solo e a ferramenta.

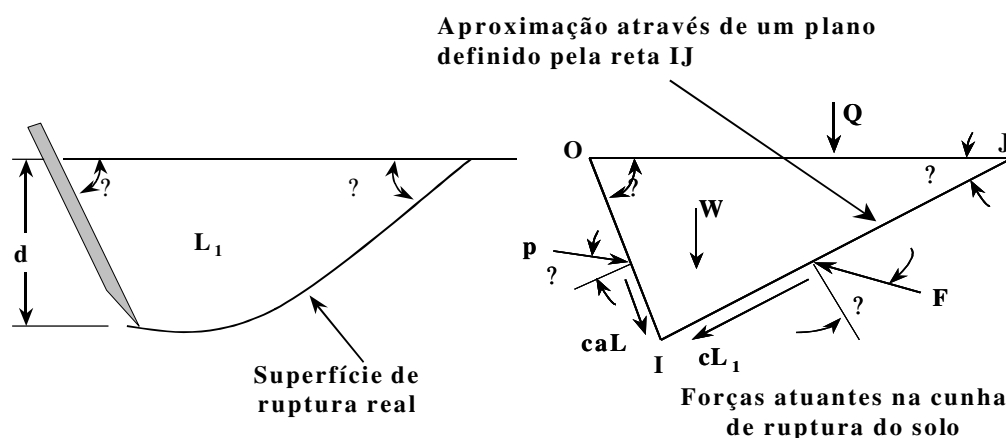


Figura 3. Teoria da cunha para ruptura passiva de solos (McKyes, 1985)

Por meio de manipulações matemáticas, determinou-se qual a força passiva mínima necessária para romper o solo. A distância de ruptura foi assumida como:

$$r = d \cot \phi + \frac{c}{\tan \phi} \quad (22)$$

Conhecendo a distância de ruptura, o ângulo de ruptura é calculado com a Equação 19. A fim de se determinar uma relação para a força total na ferramenta, os autores consideraram as forças para a secção central e para as secções laterais, separadamente.

$$P = F_x + 2F_z \quad (23)$$

Onde F_x e F_z são calculadas pelas seguintes equações:

$$F_x = \frac{\frac{1}{2} \gamma d^2 \frac{r}{2d} + cd \tan \phi + \frac{c}{\tan \phi} + qd \frac{r}{d} w}{\cot \phi + \frac{c}{\tan \phi} + \frac{c}{\tan \phi}} \quad (24)$$

$$F_z = \frac{\frac{1}{6} \gamma g d r^2 + \frac{1}{2} c d r \frac{1}{\cot \beta} \frac{1}{\cot \beta} + \frac{1}{2} q r^2 \frac{1}{\cot \beta} \frac{1}{\cot \beta}}{\cot \beta + \frac{1}{\cot \beta} + \frac{1}{\cot \beta}} \quad (25)$$

Mais tarde McKyes (1985) considerou a adesão e incluiu um termo, alterando as Equações 24 e 25, onde a Equação 23 fica como segue:

$$P = \gamma g d^2 N_{\gamma x} + c d N_{cx} + q d N_{qx} + c_a d N_{cax} \frac{1}{w} \quad (26)$$

A forma final da Equação 26 é similar à equação de Hettiaratchi et al. (1966) e a Equação Universal de Movimento de Solos, onde os coeficientes $N_{\gamma x}$, N_{cx} , N_{qx} e N_{cax} da força total são dados pelas seguintes equações:

$$N_{\gamma x} = \frac{\frac{\gamma_r}{2d} \frac{1}{\cot \beta} + \frac{2r}{3w} \frac{1}{\cot \beta} \frac{1}{\cot \beta}}{\cot \beta + \frac{1}{\cot \beta} + \frac{1}{\cot \beta}} \quad (27)$$

$$N_{cx} = \frac{\frac{1}{\cot \beta} \frac{1}{\cot \beta} + \frac{1}{\cot \beta} \frac{1}{\cot \beta} + \frac{r}{w} \frac{1}{\cot \beta} \frac{1}{\cot \beta}}{\cot \beta + \frac{1}{\cot \beta} + \frac{1}{\cot \beta}} \quad (28)$$

$$N_{qx} = \frac{\frac{\gamma_r}{d} \frac{1}{\cot \beta} + \frac{r}{w} \frac{1}{\cot \beta} \frac{1}{\cot \beta}}{\cot \beta + \frac{1}{\cot \beta} + \frac{1}{\cot \beta}} \quad (29)$$

$$N_{cax} = \frac{1 + \cot \beta \frac{1}{\cot \beta} + \frac{1}{\cot \beta} \frac{1}{\cot \beta}}{\cot \beta + \frac{1}{\cot \beta} + \frac{1}{\cot \beta}} \quad (30)$$

Para determinar o formato da cunha de ruptura, o valor de β é calculado por meio da minimização de $N_{\gamma x}$ ($dN_{\gamma x}/d\beta = 0$) ou mediante processo iterativo onde se atribuem valores para β até atingir o mínimo valor de $N_{\gamma x}$. Definido o valor mínimo de $N_{\gamma x}$, o correspondente valor de β é utilizado para calcular os valores dos outros fatores de N . McKyes (1985) também forneceu tabelas para determinar o valor de β , baseados nos parâmetros γ , c , q e d/w .

McKyes e Ali (1977) compararam os fatores N apresentados nas Equações 27, 28 e 29, para largura $w = 1$. Os resultados reportaram comportamentos próximos aos obtidos experimentalmente, quando o ângulo de atrito solo-ferramenta tende a zero ($\beta \sim 0$). Embora, para ferramentas com superfícies rugosas e ângulos de ataque maiores de 90 - β , os fatores de N obtidos foram excessivamente grandes.

2.3.4 Perumpral et al.

O modelo proposto por Perumpral et al. (1983) é similar aos desenvolvidos por McKyes e Ali (1977) e Godwin e Spoor (1977). Porém as cunhas laterais foram definidas como dois conjuntos de forças atuando nos lados da cunha central. Como em McKyes e Ali (1977) a superfície de ruptura é considerada como um plano formando um ângulo de ruptura ? com a horizontal.

Os vetores de forças G , SF_2 e CF_2 da Figura 4, sobre as faces abc e def são forças substituindo as componentes laterais. A equação para pressão do solo foi utilizada para calcular estas forças. O plano $ebcf$ é a superfície de ruptura e o plano $abed$ é a interface solo-ferramenta, e neste plano, apresenta-se a força devido a adesão e a força total sobre a ferramenta.

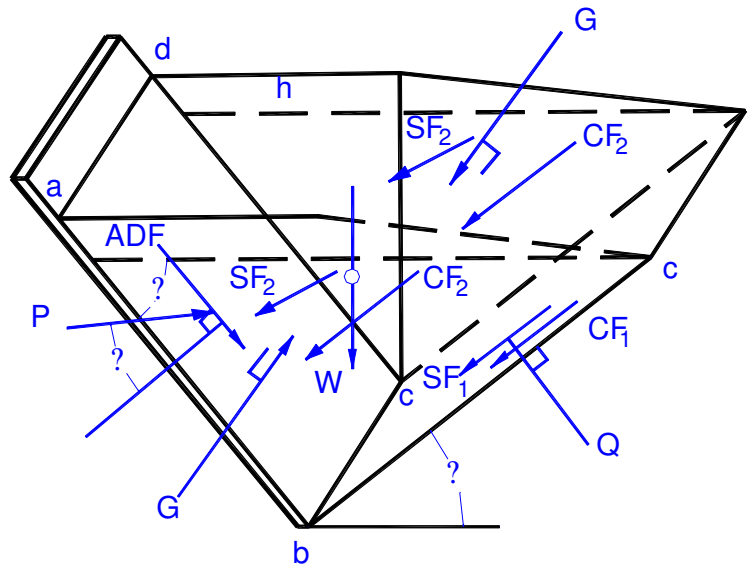


Figura 4. Cunha de ruptura do solo e suas forças, proposta por Perumpral et al. (1983)

Assumindo que a cunha mostrada na Figura 4 esta em equilíbrio, as Equações 31 e 32 para as forças horizontal e vertical respectivamente, foram obtidas pela somatória das forças nas direções horizontal e vertical.

$$F_z = P \cos \theta + W + 2SF_2 \sin \theta + SF_1 \sin \theta + 2CF_2 \sin \theta + CF_1 \sin \theta + AdF \sin \theta + Q \cos \theta \quad (31)$$

$$F_x = P \sin \theta + 2SF_2 \cos \theta + SF_1 \cos \theta + 2CF_2 \cos \theta + CF_1 \cos \theta + Q \sin \theta + AdF \cos \theta \quad (32)$$

O valor de θ nas Equações 31 e 32, representa o ângulo de atrito solo-metal. Nos modelos anteriores, utilizou-se um ângulo de atrito solo-metal constante. Neste modelo θ é expresso como função do ângulo de ruptura ϕ , representado pela seguinte relação:

$$\theta = \begin{cases} \frac{24}{50,5} \phi & \text{se } \phi \leq 1,065 \text{ rad} \\ 0,45 \phi & \text{se } \phi > 1,065 \text{ rad} \end{cases} \quad (33)$$

Combinando as Equações 31 e 32, obtém-se a relação para o cálculo da força total:

$$P = \frac{1}{\sin \theta} \left(AdF \cos \theta + 2SF_2 \cos \theta + SF_1 \cos \theta + 2CF_2 \cos \theta + CF_1 \cos \theta + Q \sin \theta + AdF \cos \theta \right) \quad (34)$$

Baseados nos termos apresentados para os parâmetros solo-ferramenta fica:

$$P = \frac{1}{\sin \theta} \left(A_d w d + \frac{h}{d} \cos \theta + A_l 2K_o z \sin \theta + w \sin \theta + C \cos \theta + 2A_l \frac{wd}{\sin \theta} \right) \quad (35)$$

A Equação 35 pode ser expressa na forma dos modelos anteriores

$$P = d^2 w N_\theta + cdw N_c + Adw N_{aa} \quad (36)$$

onde os fatores N são definidos pelas seguintes relações:

$$N_\theta = \frac{\frac{A_l}{wd^2} 2K_o z \sin \theta + w \sin \theta}{\sin \theta} \quad (37)$$

$$N_c = \frac{\cos \theta + 2 \frac{A_l}{wd} \frac{1}{\sin \theta}}{\sin \theta} \quad (38)$$

$$N_{aa} = \frac{1 + \frac{h}{d} \cos \theta}{\sin \theta} \quad (39)$$

O fator K_o é conhecido como coeficiente de pressão do solo, expressado como:

$$K_o = 1 + \sin \theta \quad (40)$$

O termo h é definido como altura do solo levantado em frente da ferramenta e z é a profundidade média do centróide da cunha de ruptura, localizado a partir da superfície do solo. O valor de z é dado por:

$$z = \frac{1}{3}d + \frac{h}{3} \quad (41)$$

A_l é a área de cada lado da cunha e representada na Figura 4 pelos triângulos abc e def , e calculado pela seguinte expressão:

$$A_l = \frac{d^2}{2} \tan^2 \phi + \frac{h}{d} \tan^2 \phi + \frac{h}{d} \cot \phi + \cot \phi \quad (42)$$

Na Equação 36 todos os parâmetros são conhecidos, exceto ϕ . Baseados na Teoria de Pressão Passiva, a ruptura acontece quando a resistência da cunha é mínima. Isto implica que a cunha oferece a mínima resistência podendo-se identificar, portanto, o ângulo de ruptura. Matematicamente esta cunha pode ser determinada resolvendo a seguinte relação:

$$\frac{dP}{d\phi} = 0 \quad (43)$$

Perumpral et al. (1983) fizeram testes para verificar a validade deste modelo. Observaram que os resultados obtidos no modelo apresentaram bom comportamento com os dados obtidos experimentalmente. Concluíram que o modelo é adequado para velocidades baixas e ferramentas estreitas em solos coesivos e que apresentem grande atrito de partículas.

2.3.5 Cálculo da profundidade crítica

Segundo Zelenin e Kostrityn (1956) citados por McKyes (1985) uma ferramenta de preparo de solo muito estreita não é capaz de elevar o solo em toda sua profundidade de operação para certas condições do terreno, como ilustrado na Figura 5. A profundidade crítica é definida como a profundidade abaixo da qual o solo não se movimenta para frente nem para cima e pelo contrário a ferramenta comprime o solo lateralmente, formando um sulco. Abaixo desta profundidade a energia para romper o solo lateralmente é menor que a energia que seria necessária para movê-lo para cima. Este comportamento é dependente da geometria da ferramenta e da estrutura do solo.

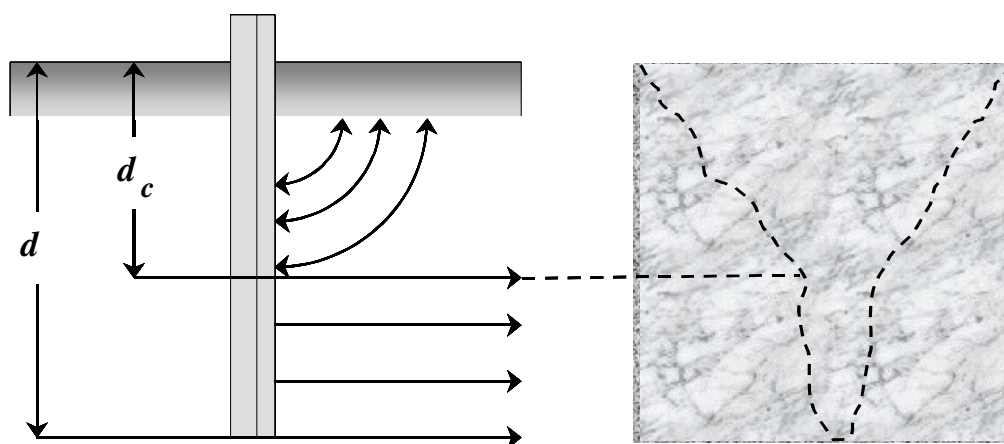


Figura 5. Profundidade crítica em uma ferramenta estreita.

Godwin e Spoor (1977) apresentaram um modelo matemático para movimento do solo abaixo da profundidade crítica. O mecanismo utilizado foi uma adaptação do mecanismo de falhas para fundações, desenvolvido por Meyerhoff (1951). Uma cunha vertical foi assumida formando-se em frente a ferramenta com um ângulo ϕ . O solo rompe para as laterais da ferramenta sobre um plano em forma de espiral logarítmica, limitado pelo ângulo ϕ , mostrado na Figura 6, atrás da face da ferramenta. Sobre a face posterior da espiral logarítmica age a pressão exercida pelo solo em repouso.

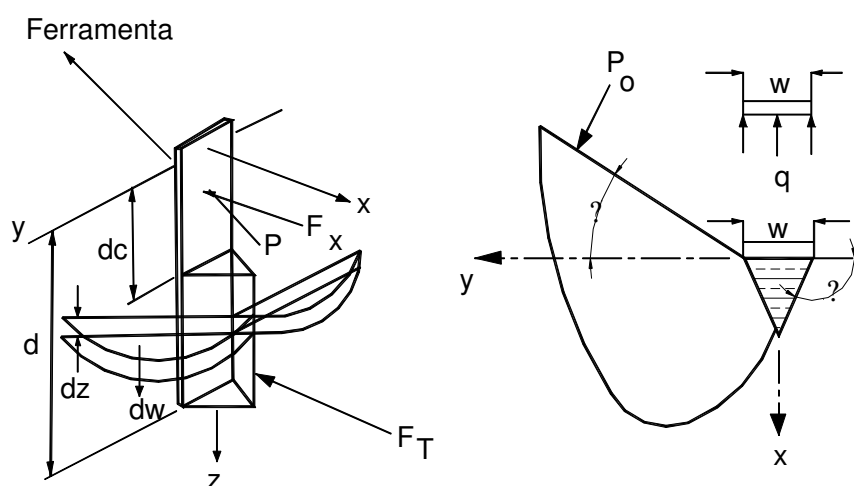


Figura 6. Ruptura do solo abaixo da profundidade crítica para uma ferramenta estreita, proposta por Godwin e Spoor (1977).

A equação 12 foi desenvolvida por Meyerhoff (1951) e é usada para calcular a pressão atuando na face da ferramenta.

$$p_r = cN'_c + p_o N'_q + \gamma K_o N'_q \quad (44)$$

sendo

$$K_o = \frac{1}{\sin \phi} \quad (45)$$

$$N'_q = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} e^{2\gamma \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \tan \phi} \quad (46)$$

$$N'_c = \cot \phi \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} e^{2\gamma \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \tan \phi} \quad (47)$$

A força total atuando sobre a ferramenta abaixo da profundidade crítica é encontrada por meio da integração da pressão da ferramenta (Equação 44), para a faixa de profundidade entre d_c e d , como mostrado na Figura 5.

$$F_T = \int_{d_c}^d cN'_c dd + \frac{1}{2} \gamma K_o N'_q d^2 + d_c^2 \gamma \quad (48)$$

Para determinar a profundidade crítica, deve-se utilizar um processo iterativo, no qual comparam-se os valores obtidos da força total de mobilização de solo ($F_T + F_x$), onde F_x é a força horizontal calculada acima da profundidade crítica e pode ser determinada aplicando um dos métodos descritos anteriormente. Quando a força total de mobilização do solo é mínima, o valor estabelecido para a profundidade de trabalho representa a profundidade crítica.

2.4 Discos de corte na agricultura

Um dos principais problemas nos sistemas de conservação de solo na agricultura é o manejo dos resíduos deixado pelas culturas anteriores, tanto pelas características (resistência ao corte) como da quantidade dos resíduos. Kepner et al. (1972) e Chaudhuri (2001) referem-se aos sulcadores de discos como sendo os mais apropriados para operar em solos com alguma quantidade remanescente de palhicho, após o preparo reduzido, porém em solos duros a eficiência destes diminui e no caso do plantio direto, o desempenho dos discos duplos não é satisfatório.

Righes et al. (1984) citado por Coelho (1998) acrescentam que os sulcadores de discos duplos aumentam a compactação no fundo do sulco, embora, foram os que mobilizaram

menor volume de solo e demandaram menor energia específica do que os sulcadores tipo haste e tipo facas rotativas. Portella (1989) afirma que os sulcadores de discos se adaptam a diversos tipos de solos e quantidades de resíduos superficiais, desde que picados e bem distribuídos, embora apresentem limitações em solos úmidos devido à aderência e em solos com densidade elevada, devido a pouca penetração.

Tice e Hendrick (1992) avaliando características de operação de discos de corte acharam que discos com larguras pequenas reportaram menores forças horizontal e vertical, melhorando ainda quando o ângulo da cunha é pequeno, pelo qual aumenta a eficiência de corte. Schaaf et al. (1980) citados por Kushwaha et al. (1986) avaliando nove discos de corte em caixa de solo sem palhicho, encontraram que o diâmetro do disco é inversamente proporcional a força vertical e diretamente proporcional à penetração.

Kushwaha et al. (1983) afirmam que a velocidade de operação no corte de forragem não apresenta diferença significativa nos requerimentos de força nem mesmo na eficiência de corte. Kushwaha et al. (1986) fizeram testes em caixa de solo, com palhicho de trigo e encontraram que o processo de corte é influenciado pelo diâmetro do disco, profundidade de trabalho, teor de água, índice de cone do solo, densidade e umidade do palhicho. O melhor comportamento foi reportado com disco de 0,46 m de diâmetro, que com profundidades de trabalho de 0,5 a 0,7 m e palhicho de 3 a 5 Mg.ha⁻¹, reportou uma eficiência de 100%. A força vertical reportada para o corte de palhicho de trigo no solo foi de 35 e 200 N para 1 e 5 Mg.ha⁻¹, respectivamente. Já a força horizontal apresentou valores de 30 e 100 N.

Chang et al. (1986) testaram diferentes formas de discos para corte de resíduos de milho em duas profundidades e três teores de água. Para uma profundidade de trabalho de 0,076 m, eles reportaram valores médios para a força horizontal de 321 N e de 1045 N para a força vertical. Concluíram que a forma e o diâmetro do disco não influenciaram significativamente no corte dos resíduos de milho. Tanto a força horizontal como a força vertical aumenta quando é incrementada alguma das seguintes características de operação: profundidade de trabalho, diâmetro do disco ou resistência a penetração.

Bianchini et al. (2001b) em testes de corte feitos em laboratório para determinar os requerimentos de força para palhicho de cana encontraram que as forças máximas de corte para lâminas com ângulo oblíquo de 0 e 0,17 rad foram, respectivamente, de 396,6 N e 760,4 N para 4 Mg.ha⁻¹ de palhicho e de 0,99 kN e 1,36 kN para 16 Mg.ha⁻¹ de palhicho.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1 Campo experimental

O presente trabalho foi realizado nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2001 em Caixa de Solo da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, cujas coordenadas geográficas são: latitude de 22° 49'07"S, longitude 47° 03'43"W e altitude média de 629 m, município de Campinas-SP.

A área experimental consistiu de uma caixa de solo (Figura 7) de 2 m de largura por 15 m de comprimento com uma camada de 0,5 m de solo. O sistema de deslocamento é composto por uma estrutura como porta ferramentas, que desloca-se no sentido longitudinal da caixa, tracionada por um cabo de aço, projetado para uma força horizontal máxima de 20 kN. O acionamento do cabo é feito por meio de uma unidade hidrostática, composta por motor de combustão interna Yanmar de 22,08 kW a 1500 rpm, bomba hidráulica Eaton com deslocamento de 89,1 cm³/rev com uma pressão de 415 bar, motor hidráulico Eaton de 940 cm³/rev, e controlador elétrico-hidráulico de velocidade.



Figura 7. Unidade experimental usada nos ensaios. Caixa de solo

3.1.2 Solo

O solo da caixa é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo. Este apresenta uma textura composta de 29,5% de argila, 23,5% de silte e 47% de areia. Para determinar a coesão e o ângulo de atrito interno das partículas do solo, foram feitas análises no Laboratório de Mecânica do Solo da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, utilizando a técnica de cisalhamento direto, onde se determinou que a coesão do solo (c) apresenta um valor de 52,6 kPa e o ângulo de atrito interno (ϕ) de 0,264 rad.

A caixa de solo foi preparada antes de iniciar-se os ensaios para cada um dos blocos, tirando 0,3 m de solo com uma lâmina e preparando-o em camadas de 0,07 m. Cada camada foi compactada antes de depositar a seguinte, com duas passadas de um rolo compactador de 0,80 m de diâmetro, 1 m de altura e 750 kg de peso. Entre uma camada e outra se adicionou aproximadamente 2 litros de água por metro quadrado para manter a umidade. Para manter a homogeneidade do solo, após o preparo de cada camada e antes de depositar a seguinte, a superfície foi escareada. Depois de terminar a preparação e antes de iniciarem os testes, a caixa permaneceu coberta com plástico por 15 horas, para homogeneizar a umidade.

3.1.3 Ferramentas avaliadas

3.1.3.1 Disposição das ferramentas

Na Figura 8 observa-se o esquema usado para a avaliação das diferentes ferramentas. Para decidir a disposição destas ferramentas e determinar as forças horizontal e vertical das hastes, utilizou-se o modelo de McKyes e Ali (1977), com a finalidade de verificar se estes valores não seriam superiores aos limites de trabalho da célula de carga. Para determinar se as dimensões das ferramentas estavam adequadas e garantir que a estas não iriam atingir uma profundidade de trabalho superior a profundidade crítica, utilizou-se o modelo proposto por Godwin e Spoor (1977) descrito no item 2.3.5.

Para o cálculo do ângulo formado entre o plano de ruptura do solo e a superfície (θ), procura-se o valor de θ que forneça um valor mínimo para N_1 na Equação 27, onde o ângulo de ataque das hastes (α) é 0,436 rad; o ângulo de atrito interno das partículas de solo (ϕ) é 0,265 rad; ângulo de atrito solo-metal (δ) é 0,1745 rad; largura das hastes de 25 mm e profundidades de trabalho de 0,20 e 0,30 m, obtendo-se relações de profundidade de trabalho e largura das hastes (d/w) de 7,9 para a haste curta e de 11,8 para a haste escarificadora.

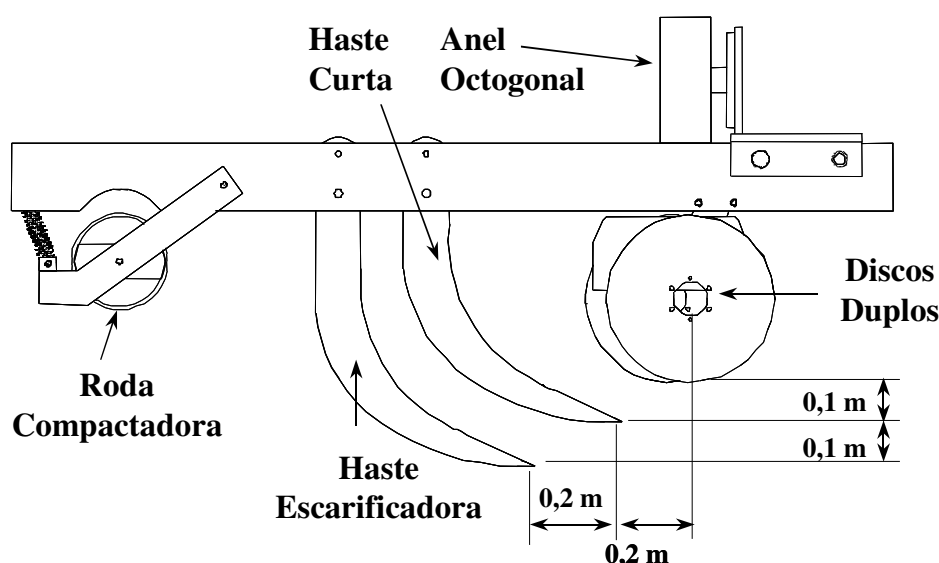


Figura 8. Detalhe da disposição das ferramentas avaliadas na caixa de solo.

Com os parâmetros descritos acima e o ângulo de ruptura θ variando entre 0 e 1,57 rad, θ não apresenta um valor mínimo, para as duas profundidades de trabalho. Esta situação é prevista por McKyes (1985) para as características das hastes e do solo trabalhado. Sendo assim, optou-se por adotar um valor de θ maior a 1,4835 rad e verificar as forças atuantes nas hastes, a distância de ruptura (r) e a profundidade crítica (d_c), obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 3. Baseados nestes resultados e nas características da célula de carga descrita no item 3.1.4, concluiu-se que esta célula de carga pode ser utilizada para medir os esforços nas hastes, onde as forças horizontal e vertical máximas obtidas com o modelo de McKyes e Ali, foram de 3,61 e 4,10 kN, respectivamente, para uma profundidade de 0,30 m.

O modelo para o cálculo da profundidade crítica previa um valor maior de 0,26 m e que a distância de ruptura, calculada pela Equação 22, seria menor de 0,447 m para a haste curta e menor de 0,670 m para a haste escarificadora. Considerando esta distância de ruptura, estabeleceu-se a distância de 0,2 m entre ferramentas, e que poderíamos trabalhar com segurança a uma profundidade de até 0,26.

Tabela 3. Resultados obtidos para força total, força horizontal, força vertical e distância de ruptura, aplicando o modelo de McKyes e Ali (1977), e da profundidade crítica, aplicando o modelo de Godwin e Spoor (1977).

Profundidade de trabalho	Ângulo de ruptura	Força Total	Força Horizontal	Força Vertical	Distância de Ruptura	Profundidade Crítica
m	rad	kN	kN	kN	m	m
0,2	1,483	2,57	1,85	1,93	0,447	0,257
	1,501	2,42	1,76	1,81	0,443	0,280
	1,518	2,24	1,66	1,66	0,440	0,317
	1,535	2,01	1,53	1,47	0,436	0,376
	1,553	1,69	1,34	1,21	0,433	0,508
0,3	1,483	5,32	3,61	4,10	0,670	0,258
	1,501	4,96	3,41	3,80	0,665	0,282
	1,518	4,53	3,16	3,45	0,660	0,317
	1,535	3,99	2,85	3,01	0,655	0,376
	1,553	3,24	2,42	2,39	0,649	0,508

3.1.3.2 Discos duplos

Os discos duplos utilizados no presente experimento foram retirados do conjunto adubador de uma Plantadora Magnum 2880 PD da Jumil, cujas características são: diâmetro de 0,381 m, desencontrados 0,03 m e formando um ângulo de 0,105 rad. Estes discos duplos têm como função cortar o palhicho deixado por diferentes culturas. A profundidade de trabalho utilizada para os discos duplos (*dd*) foi de 0,1 m.

3.1.3.3 Hastes

Neste experimento foram utilizadas duas hastes, identificadas como haste curta (*hc*) e haste escarificadora (*he*). A primeira foi desenhada para atingir uma profundidade de 0,2 m e a segunda para atingir uma profundidade de 0,3 m. Ambas apresentam espessura de 0,0254 m e foram construídas em aço 1045. As medidas das hastes encontram-se na Figura 9. O ângulo de ataque para as hastes é de 0,436 rad, que segundo pesquisas realizadas por Chaudhuri (2001), Magalhães e Souza (1990), Wildman et al. (1978) e por Godwin e Spoor (1977) é o valor que apresenta a menor resistência específica.

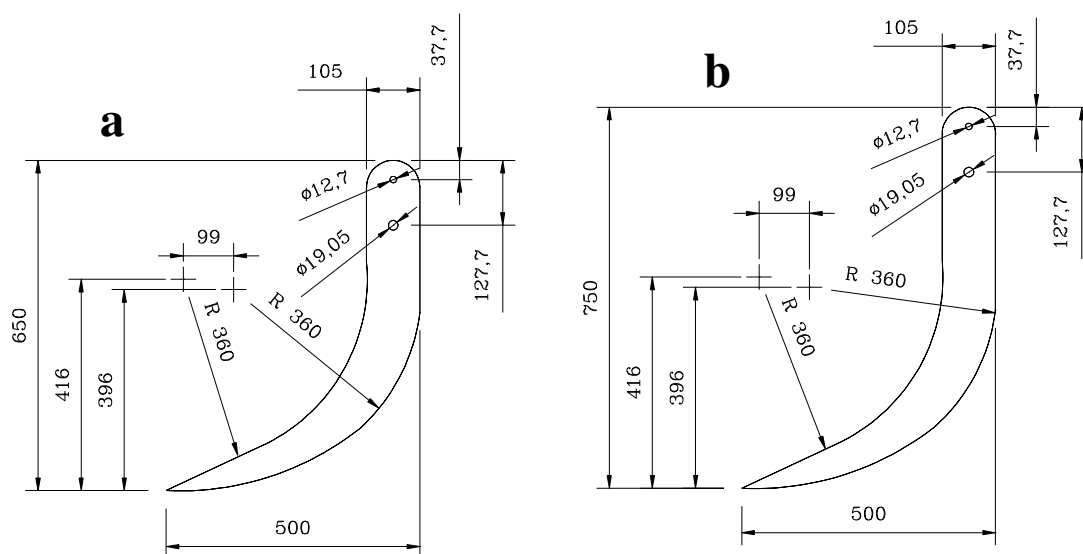


Figura 9. Hastes construídas para o desenvolvimento do experimento: **(a)** - Haste curta (*hc*); **(b)** - Haste escarificadora (*he*), medidas em milímetros.

3.1.4 Instrumentação

A instrumentação utilizada na coleta dos dados esteve constituído basicamente de:

- ? Célula de carga (Figura 10), dimensionada e construída por Magalhães e Souza (1990), apresenta as seguintes características estáticas de trabalho: força horizontal máxima de 19,6 kN, força vertical máxima de 7,84 kN e um momento máximo de 13,05 kN.m; erro total combinado para compressão de 1,4 % para a força horizontal e de 2,08% para a força vertical; sensibilidade cruzada da força horizontal na força vertical de 1,3% e o inverso de 0,61%. A calibração da célula de carga encontra-se nos Anexos 1 e 2 para a força horizontal e vertical, respectivamente.
- ? Condicionador de sinais Spider8 fabricado pela Hottinger Baldwin Messtechnik, com 8 canais, taxa de aquisição entre 1 Hz e 9600 Hz. No presente ensaio, trabalhou-se com uma taxa de aquisição de dados de 400Hz.
- ? Spider Control, programa computacional para a aquisição e armazenamento de dados, específico para o condicionador de sinais Spider8;

- ? Laptop Satellite 4010, configuração Pentium II – 266;
- ? Cabos e conexões eletrônicas genéricas.

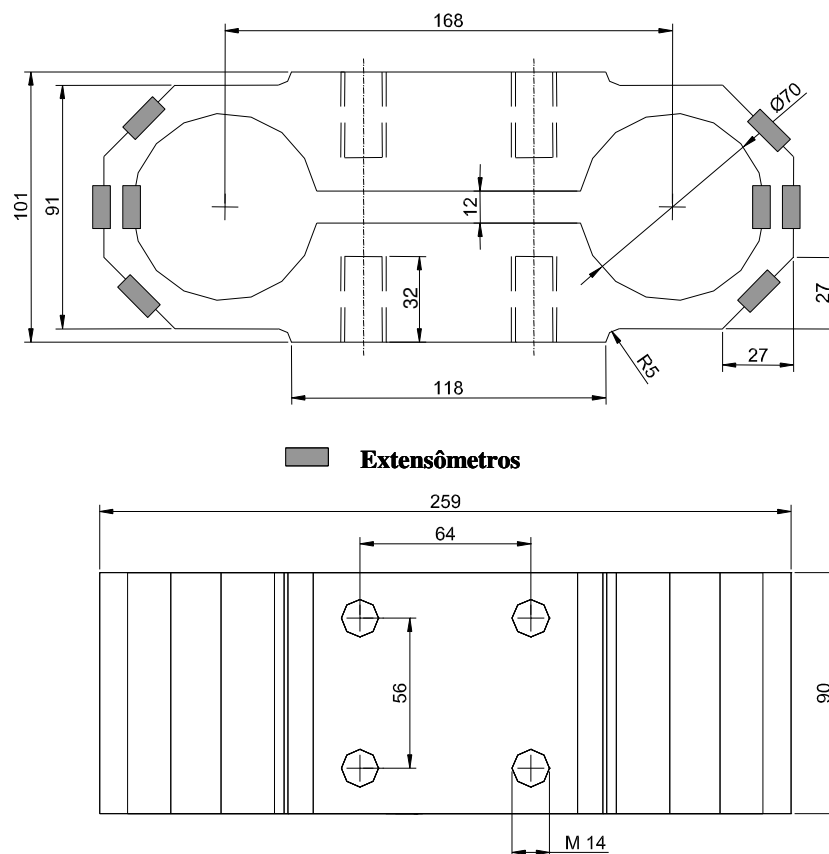


Figura 10. Dimensões do anel octogonal. Medidas em milímetros.

3.1.5 Perfilômetro

Um perfilômetro construído especificamente para este trabalho foi utilizado para determinar a profundidade atingida por cada ferramenta e para determinar a área mobilizada. O equipamento consta de hastes espaçadas de 0,01 m. Para realizar as medições, retira-se manualmente o solo, nivela-se o perfilômetro, e em seguida, procede-se às leituras com auxílio de uma trena. A Figura 11 ilustra o perfilômetro utilizado no experimento.



Figura 11. Perfilômetro.

3.1.6 Penetrógrafo digital

Para conhecer a resistência à penetração apresentada pelo solo, foi utilizado o Penetrógrafo Eletrônico Automático PNT 2000 (Figura 12), projetado e construído por Bianchini et al. (2002), segundo a norma ASAE S313.2. Este equipamento mantém a velocidade de amostragem constante ($30 \text{ mm/s} \pm 5\%$), e também, permite controlar a profundidade máxima e o número de leituras desejáveis por amostra. Visto que a profundidade máxima de trabalho das hastes é de 0,3 m, avaliou-se a resistência à penetração na camada de 0 a 0,35 m de profundidade. Os dados coletados pelo penetrógrafo foram transferidos para uma planilha de cálculo.



Figura 12. Penetrógrafo Eletrônico Automático PNT 2000.

3.2 Métodos

3.2.1 Delineamento experimental

3.2.1.1 Tratamentos

O delineamento experimental deste experimento foi montado com o intuito de se determinar a influência de cada componente e/ou agrupamento de componentes no comportamento do conjunto em relação às forças atuantes e a área mobilizada. Desta forma o experimento apresenta sete tratamentos, correspondentes às distintas configurações de montagem dos elementos nomeados no item 3.1.3. Estas configurações são:

- ? **dd**: disco duplo, Figura 13;
- ? **hc**: haste curta, Figura 14;
- ? **he**: haste escarificadora, Figura 15;
- ? **ddhc**: disco duplo e haste curta, Figura 16;
- ? **ddhe**: disco duplo e haste escarificadora, Figura 17;
- ? **ddhche**: disco duplo, haste curta e haste escarificadora, Figura 18;
- ? **hche**: haste curta e haste escarificadora, Figura 19.

Todos os testes foram conduzidos utilizando uma roda compactadora na parte traseira, como se observa à direita da Figura 15.



Figura 13. Discos duplos utilizados para o tratamento *dd*.



Figura 14. Haste curta, utilizada para o tratamento *hc*.



Figura 15. Haste escarificadora, utilizada para o tratamento *he*.



Figura 16. Conjunto discos duplos e haste curta, utilizado no tratamento *ddhc*.



Figura 17. Conjunto discos duplos e haste escarificadora, para o tratamento *ddhe*.



Figura 18. Conjunto discos duplos, haste curta e haste escarificadora, para o tratamento *ddhche*.



Figura 19. Conjunto haste curta e haste escarificadora, para o tratamento *hche*.

3.2.1.2 Unidade experimental

Cada unidade experimental ocupou uma área maior de 2,25 m², equivalente a forma geométrica de um retângulo com um comprimento de 4,5 m e uma largura entre 0,5 e 0,6 m, dependendo do tratamento, como apresentado na Figura 20.

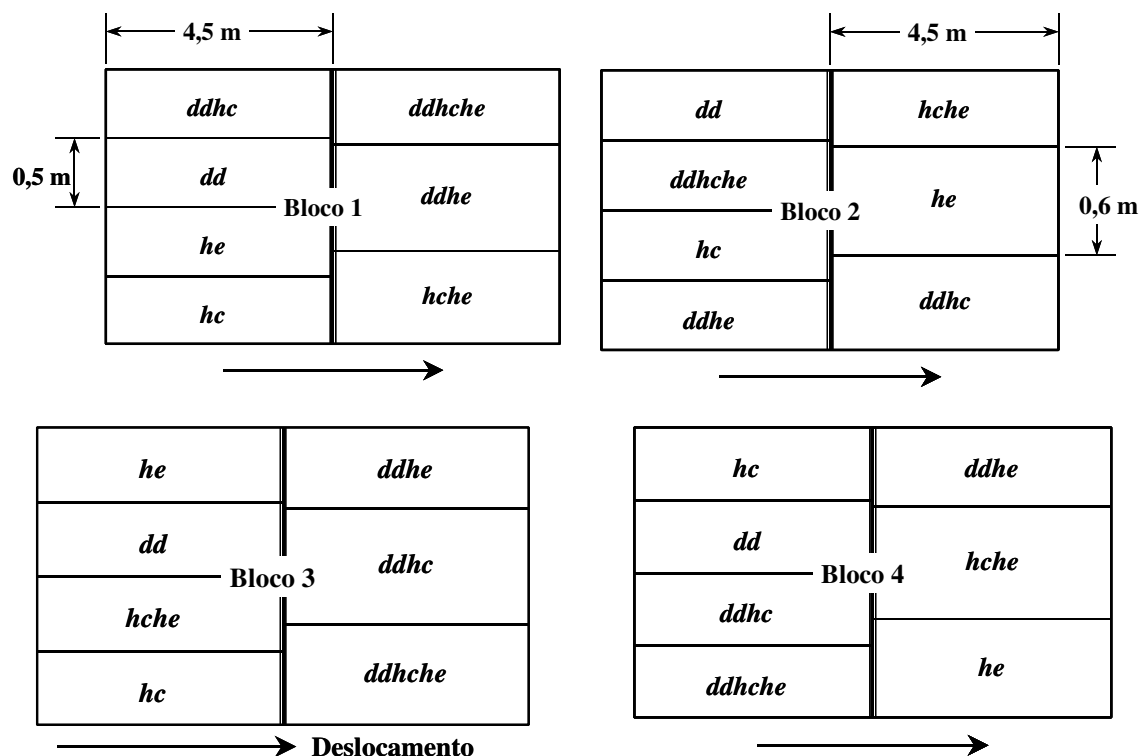


Figura 20. Disposição dos tratamentos para cada bloco.

3.2.2. Delineamento estatístico

O delineamento estatístico adotado foi de blocos casualizados, com sete tratamentos e quatro repetições, totalizando 28 unidades experimentais dispostas em quatro blocos e com 27 graus de liberdade, sendo 3 graus para os blocos, 6 para os tratamentos e 18 para os resíduos. A distribuição dos tratamentos dentro de cada bloco foi efetuada por meio de sorteio conforme apresentado na Figura 20.

3.2.3 Determinação das variáveis do solo

3.2.3.1 Teor de água

Para a determinação do teor de água, coletaram-se 8 amostras para cada bloco (Figura 21) na profundidade de 0,05 a 0,25 m, as quais foram depositadas em caixas de alumínio e hermeticamente fechadas. Após a coleta, as amostras foram levadas para o Laboratório de Solos da Feagri-Unicamp, onde foram secas em estufa à temperatura de 105°C, durante 24 horas. Para determinar o teor de água utilizou-se o Método Gravimétrico Padrão.

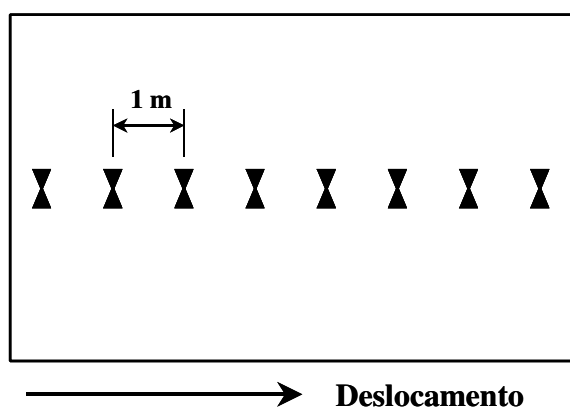


Figura 21. Pontos de amostragens para a determinação do teor de água no solo.

3.2.3.2 Resistência à penetração

A determinação da resistência à penetração foi feita em uma camada de 0 a 0,35 m, com leituras realizadas verticalmente a cada 2,5 mm. As 24 amostras foram distanciadas de 1,0 m x 0,8 m e dispostos como na Figura 22.

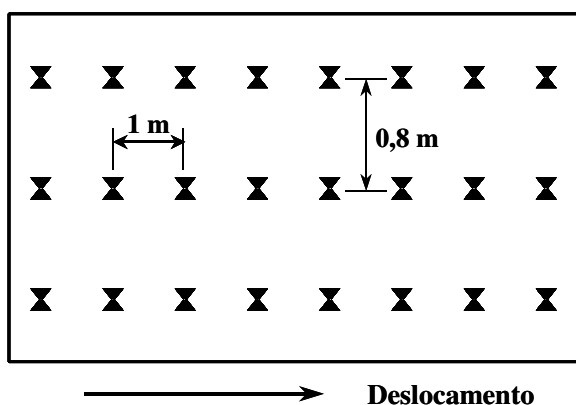


Figura 22. Pontos de amostragens para a determinação da resistência à penetração.

Para analisar o comportamento desta variável e sua influência no comportamento das ferramentas avaliadas, tirou-se a média das 24 amostras, e definiram-se três camadas. Destas, tirou-se as médias para obter o índice de cone nas camadas de 0,0 e 0,1 m, de 0,1 e 0,2 m, e finalmente, de 0,2 e 0,3 m.

3.2.4 Determinação dos parâmetros analisados

3.2.4.1 Força horizontal e força vertical

A aquisição de dados para cada parâmetro foi feita por meio de um canal do condicionador de sinais Spider8, com uma taxa de aquisição de dados de 400 Hz em 4,5 m de deslocamento. No início de cada teste os canais foram zerados. Baseados na calibração apresentada nos Anexos 1 e 2, as curvas de calibração para a força horizontal (F_x) e força vertical (F_y) são:

$$F_x = 12,7504895 * L_x + 0,0444879 \quad (49)$$

$$F_y = 12,0781355 * L_y + 0,0171843 \quad (50)$$

Com as Equações 49 e 50, calculou-se as forças registradas em cada tratamento para determinar as médias e posteriormente, as médias das repetições serviram para gerar a média de cada tratamento, obtida na análise estatística. Para o cálculo das médias utilizou-se os dados registrados entre 1,5 e 3,0 m.

3.2.4.2 Profundidade de trabalho e área mobilizada

Para a determinação da profundidade de trabalho e da secção transversal do sulco foi empregado o perfilômetro. Depois da realização dos testes, e cuidadosa retirada manual do solo mobilizado, foram feitas leituras para determinar as variáveis mencionadas. Feita a digitação dos dados em uma planilha eletrônica, calculou-se a área mobilizada (A) em cada unidade experimental. Posteriormente obteve-se a área mobilizada média para cada tratamento por meio da análise estatística.

3.2.4.3 Resistência específica

Definida como a força horizontal (média) de um único elemento, em relação a sua respectiva área mobilizada, cuja razão indica a resistência específica, expressa em kPa (Equação 51).

$$R_e = F_x / A_m \quad (51)$$

3.2.4.4 Índice de força

O índice de força é definido como a relação entre a resistência específica e o índice de cone médio (Chang et al., 1994). Este índice permite analisar a influência da compactação do solo nas diferentes configurações testadas.

$$IF = R_e / IC \quad (52)$$

3.2.5 Velocidade de trabalho

No presente trabalho optou-se por manter a velocidade de trabalho constante para todos os tratamentos com base nos resultados obtidos por outros pesquisadores (Dransfield et al., 1964; Lanças e Benez, 1988) mostraram que a área mobilizada do solo e a força horizontal são pouco afetadas por variações da velocidade, principalmente dentro da faixa de operação onde normalmente são utilizados hastes e subsoladores. Neste respeito, procurou-se trabalhar com uma velocidade de 0,5 m.s⁻¹, apresentando variações entre 0,48 e 0,51 m.s⁻¹.

3.2.6 Análise estatística

A estatística empregada foi uma análise de variância para determinação do valor de F, média geral e coeficiente de variação. Em seguida procedeu-se o teste de Tukey para a comparação de médias ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Para tal, empregou-se o software SANEST (Sistema de Análise Estatística). Os quadros originais encontram-se nos Anexos 3 a 9, onde as unidades das variáveis avaliadas são: kN para a força horizontal e força vertical, m para profundidade, m² para área mobilizada, kPa para a resistência específica e para a resistência à penetração, já a variável índice de força é adimensional.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que o teor de água dos blocos foi bastante homogêneo, sendo de 11,12% para o Bloco 1; 11,16% para o Bloco 2; 10,19% para o Bloco 3 e 9,90% para o Bloco 4.

4.1 Força horizontal

As Tabelas 4 e 5 apresentam, respectivamente, a análise de variância e o teste de Tukey para a força horizontal. Tais análises foram utilizadas para comparar as médias de força horizontal entre os tratamentos. A Figura 23 ilustra o comportamento da força horizontal em função da distância percorrida, para as diferentes repetições em cada tratamento e a média destes. Pelos resultados obtidos, pode-se afirmar que tanto para $P \geq 0,05$, como para $P \geq 0,01$ os tratamentos *hche*, *ddhche*, *he* e *ddhe*, cuja característica comum é a presença da haste escarificadora, não diferiram entre si, concordando com dados apresentados por Spoor e Godwin (1978), quando utilizaram hastes na frente de um subsolador. Estes tratamentos apresentaram os maiores valores de força horizontal. Além disso, observa-se que o uso de discos duplos em combinação com hastes diminui o requerimento de potência. Isto significa que o uso da configuração *hche* requereu 24,85% a mais de potência do que *ddhche*. A semelhança, o tratamento *he* requereu 12,18% a mais de potência do que *ddhe*.

Tabela 4. Análise de variância da variável Força Horizontal expressa em kN.

Causa da Variação	G. L.	S.Q	Q.M.	Valor F	Prob. > F
Bloco	3	1,4845	0,4948	2,858	0,06515
Tratamento	6	13,5148	2,2525	13,009	0,00005
Resíduo	18	3,1166	0,1731		
Total	27	18,1158			

Os tratamentos *ddhc* e *hc* apresentam valores intermediários e não diferiram estatisticamente entre si, porém o tratamento *ddhc* apresenta diferença significativa com *he* e *dd* para $P < 0,05$, enquanto para o mesmo nível de significância *hc* apresenta diferença significativa com os tratamentos *hche*, *ddhche* e *he*. Já o tratamento *dd* apresenta o menor valor de força horizontal e só não difere significativamente do tratamento *hc*, para $P < 0,05$, e dos tratamentos *ddhc* e *hc*, com $P < 0,01$.

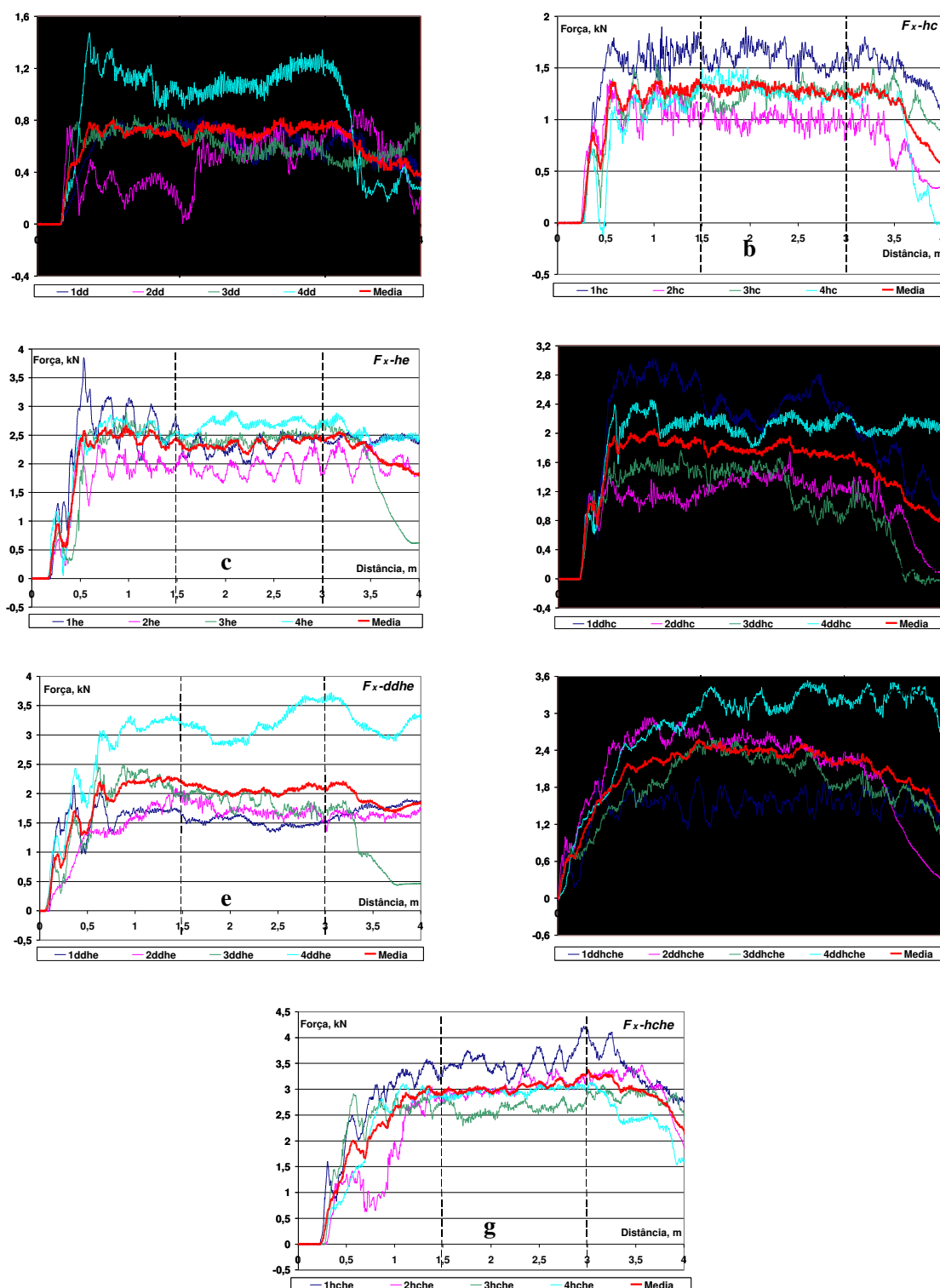


Figura 23. Força horizontal em função da distância, para as diferentes repetições em cada tratamento e as médias destes. (a). dd; (b) hc; (c) he; (d) ddhc; (e) ddhe; (f) ddhche; (g) hche.

Tabela 5. Comparação de médias entre os tratamentos pelo Teste de Tukey para a variável Força Horizontal expressa em kN.

Num. Ordem	Num. Trata.	Nome	Num. Repet.	Médias	5%*	1%*
1	7	<i>hche</i>	4	2,99	a	A
2	6	<i>ddhche</i>	4	2,39	ab	AB
3	3	<i>he</i>	4	2,35	ab	AB
4	5	<i>ddhe</i>	4	2,09	abc	AB
5	4	<i>ddhc</i>	4	1,83	bc	ABC
6	2	<i>hc</i>	4	1,30	cd	BC
7	1	<i>dd</i>	4	0,73	d	C

* Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si ao nível de significância indicado.

4.2 Força vertical

As Tabelas 6 e 7 apresentam, respectivamente, a análise de variância e o teste de Tukey dos valores obtidos para a força vertical. Tais análises foram utilizadas para comparar as médias de força vertical entre os tratamentos. A Figura 24 ilustra o comportamento da força vertical em função da distância percorrida, para as diferentes repetições em cada tratamento e a média destes. A força vertical apresenta grandes variações, influenciadas tanto pela configuração das ferramentas testadas, como pela profundidade de trabalho. Os valores positivos referem-se a uma força resultante para cima e os negativos a uma força resultante de sucção, reportada nos tratamentos com hastes sem discos duplos analisados.

Tabela 6. Análise de variância da variável Força Vertical expressa em kN.

Causa da Variação	G. L.	S.Q	Q.M.	Valor F	Prob. > F
Bloco	3	0,9819	0,3273	1,099	0,37596
Tratamento	6	44,8962	7,4827	25,126	0,00001
Resíduo	18	5,3606	0,2978		
Total	27	51,2386			

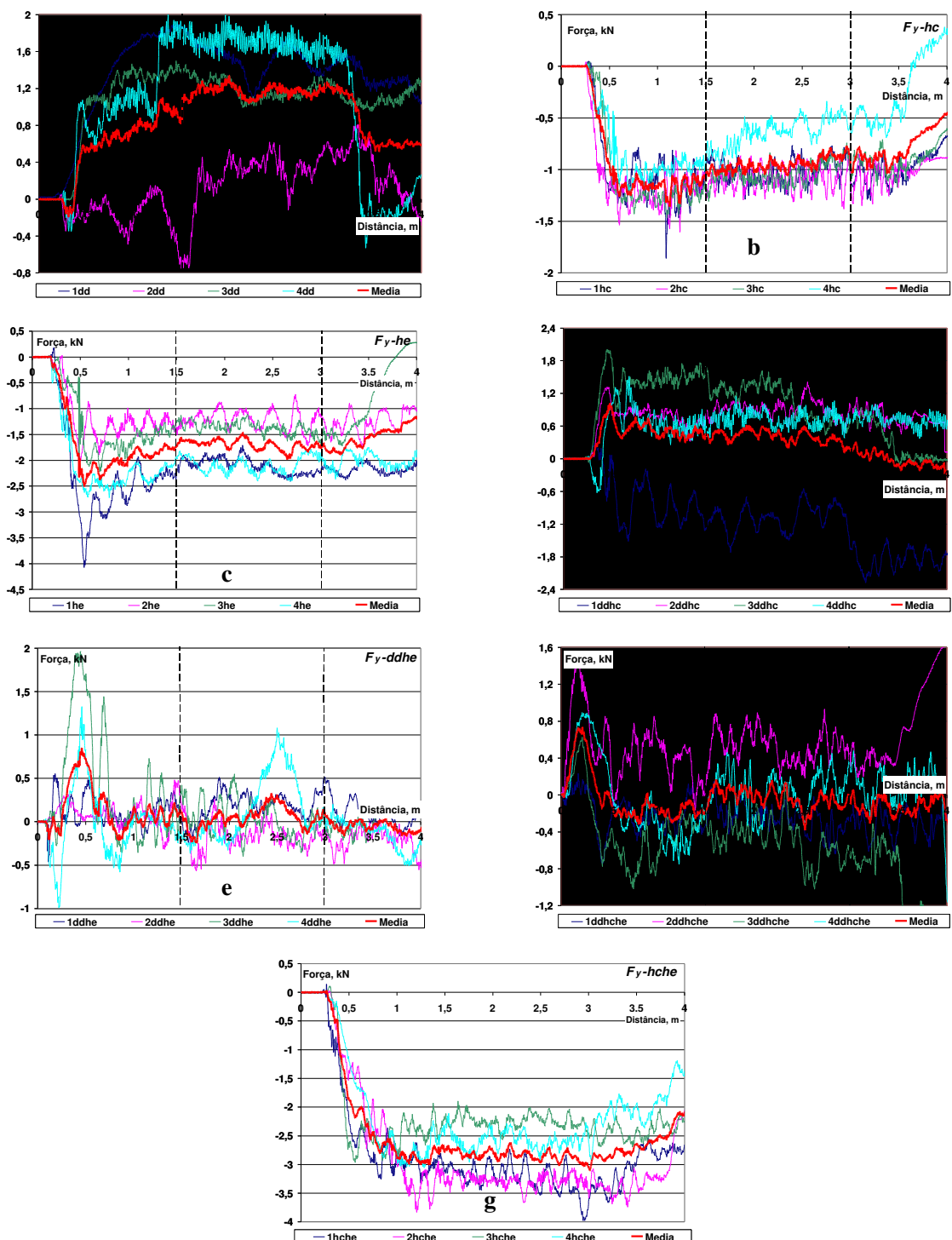


Figura 24. Força vertical em função do distância, para as diferentes repetições em cada tratamento e as médias destes. (a). dd; (b) hc; (c) he; (d) ddhc; (e) ddhe; (f) ddhche; (g) hcche.

Tabela 7. Comparação de médias entre os tratamentos pelo Teste de Tukey para a variável Força Vertical expressa em kN.

Num. Ordem	Num. Trata.	Nome	Num. Repet.	Médias	5%*	1%*
1	1	<i>dd</i>	4	1,17	a	A
2	4	<i>ddhc</i>	4	0,45	a	AB
3	5	<i>ddhe</i>	4	0,05	ab	AB
4	6	<i>ddhche</i>	4	-0,03	ab	AB
5	2	<i>hc</i>	4	-0,99	bc	BC
6	3	<i>he</i>	4	-1,69	cd	CD
7	7	<i>hche</i>	4	-2,82	d	D

* Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si ao nível de significância indicado.

Os tratamentos *dd*, *ddhc*, *ddhe* e *ddhche* não apresentaram diferenças significativas, já que a força de sucção ocasionada pelas hastes é compensada pelos discos duplos; caso contrário sucede com os tratamentos com hastes que apresentam força vertical de sucção. O tratamento *hche* reporta a maior força de sucção (-2,82 kN) e difere estatisticamente das outras configurações, excetuando o tratamento *he*, para os dois níveis de significância.

O comportamento dos tratamentos com discos duplos e hastes mostram que as hastes fazem com que os discos duplos aprofundem, o que favoreceria a distribuição de adubo localizado em solos com palhço. Baseados na força vertical obtida em *dd* pode-se afirmar que o tratamento *ddhc* dispõe de 0,73 kN adicionais para corte na superfície do solo, 1,12 kN para *ddhe* e 1,20 kN para *ddhche*.

4.3 Área mobilizada

As Tabelas 8 e 9 apresentam respectivamente, a análise de variância e o teste de Tukey para a área mobilizada. Tais análises foram utilizadas para comparar as médias da variável área mobilizada entre os tratamentos. A Figura 25 ilustra o perfil de solo mobilizado, para as diferentes repetições em cada tratamento. O menor valor foi para o tratamento *dd* (0,0016 m²), apresentando diferença significativa com os outros tratamentos, para os dois níveis de significância. Os tratamentos *he*, *ddhe*, *ddhche*, *hche* e *hc*, não diferiram estatisticamente entre si e apresentaram a maior área mobilizada, devido à maior profundidade de trabalho.

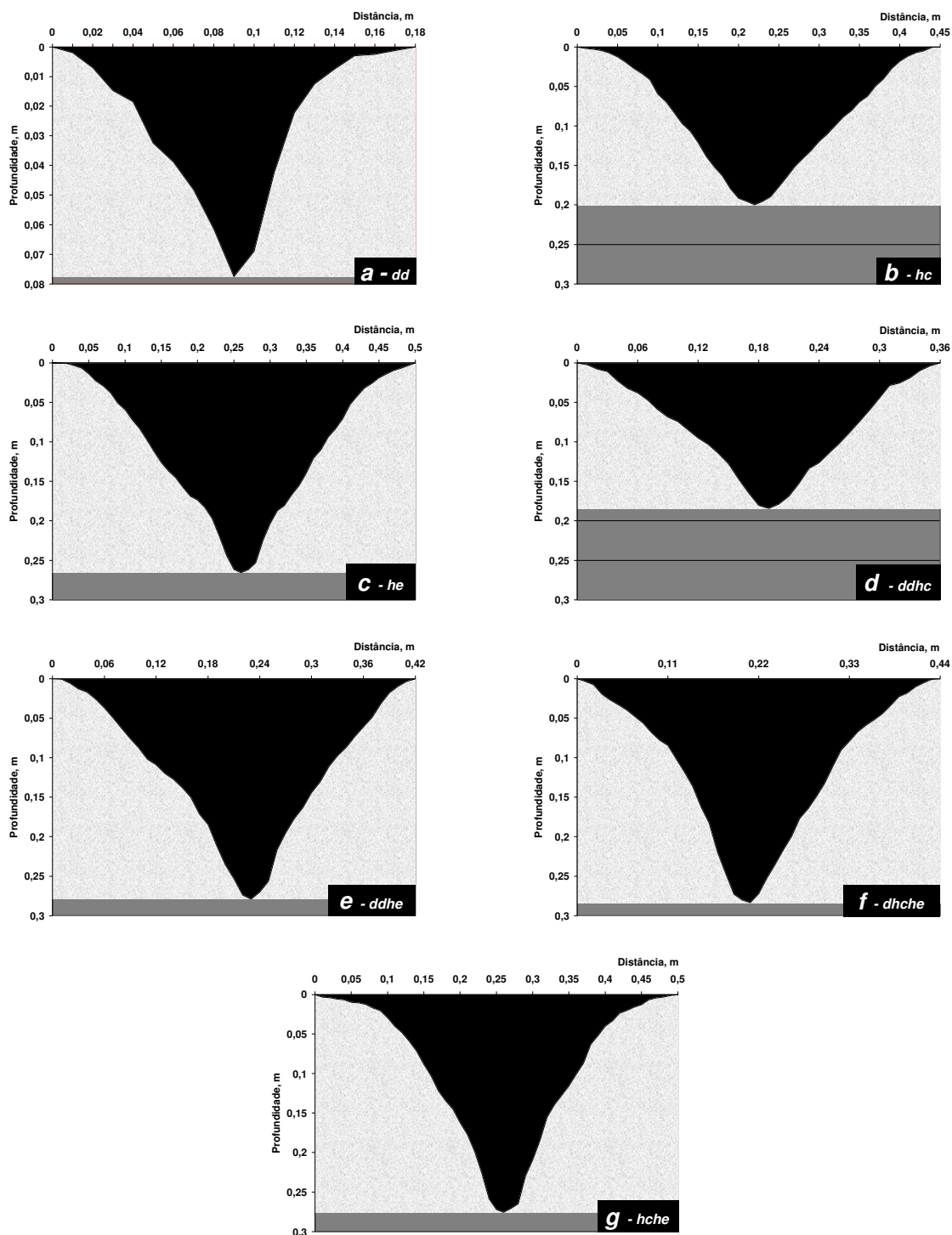


Figura 25. Média do perfil do solo mobilizado para os diferentes tratamentos. (a). dd; (b) hc; (c) he; (d) ddhc; (e) ddhe; (f) ddhche; (g) hche.

Tabela 8. Análise de variância da variável Área Mobilizada expressa em m².

Causa da Variação	G. L.	S.Q	Q.M.	Valor F	Prob. > F
Bloco	3	0,000045	0,000015	0,263	0,85165
Tratamento	6	0,007397	0,001233	21,495	0,00001
Resíduo	18	0,001032	0,000057		
Total	27	0,008475			

O tratamento *ddhc* difere estatisticamente dos outros com $P < 0,05$, excetuando o tratamento *hc*. Para $P < 0,01$ os tratamentos com haste curta, não deferiram entre si. Estes dados concordam com os obtidos por Coelho (1998) quando verificou que a combinação do sistema disco-haste apresenta uma maior mobilização de solo do que o uso de sistema disco duplo.

Observou-se que as áreas mobilizadas pelas hastes foram maiores quando trabalhadas individualmente, assim, a área do tratamento haste escarificadora (0,0545 m²) foi maior que para o tratamento composto por discos duplos e haste escarificadora (0,0514 m²); a semelhança, a área para o tratamento com a haste curta (0,385 m²) foi maior do que a área para o tratamento composto pelos discos duplos e haste curta (0,0290 m²), o qual favoreceria uma menor remoção de palhico na superfície do solo. Pode-se concluir que o uso de haste curta ou de discos duplos não contribuiu para o aumento da área mobilizada, concordando com resultados apresentados por Godwinn e Spoor (1984).

Tabela 9. Comparação de médias entre os tratamentos pelo Teste de Tukey para a variável Área Mobilizada expressa em m².

Num. Ordem	Num. Trata.	Nome	Num. Repet.	Médias	5%	1%
1	3	<i>he</i>	4	0,0545	a	A
2	5	<i>ddhe</i>	4	0,0515	a	A
3	6	<i>ddhche</i>	4	0,0491	a	AB
4	7	<i>hche</i>	4	0,0473	a	AB
5	2	<i>hc</i>	4	0,0385	ab	AB
6	4	<i>ddhc</i>	4	0,0290	b	B
7	1	<i>dd</i>	4	0,0046	c	C

* Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si ao nível de significância indicado.

4.4 Profundidade de trabalho

As Tabelas 10 e 11 apresentam respectivamente, a análise de variância e o teste de Tukey dos valores obtidos para a profundidade de trabalho. Tais análises foram utilizadas para comparar as médias da variável profundidade de trabalho entre os tratamentos. Na Figura 25 ilustra o perfil de solo mobilizado, podendo-se observar a profundidade de trabalho obtida para as diferentes repetições em cada tratamento.

Tabela 10. Análise de variância da variável profundidade expressa em m.

Causa da Variação	G. L.	S.Q	Q.M.	Valor F	Prob. > F
Bloco	3	0,0013	0,00042	0,702	0,56616
Tratamento	6	0,1416	0,02360	39,106	0,00001
Resíduo	18	0,0109	0,00060		
Total	27	0,1537			

Tabela 11. Comparação de médias entre os tratamentos pelo Teste de Tukey para a variável Profundidade de Trabalho expressa em m.

Num. Ordem	Num. Trata.	Nome	Num. Repet.	Médias	5%	1%
1	6	<i>ddhche</i>	4	0,288	a	A
2	5	<i>ddhe</i>	4	0,281	a	A
3	7	<i>hche</i>	4	0,276	a	A
4	3	<i>he</i>	4	0,266	a	AB
5	2	<i>hc</i>	4	0,200	b	BC
6	4	<i>ddhc</i>	4	0,184	b	C
7	1	<i>dd</i>	4	0,078	c	D

* Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si ao nível de significância indicado.

Nenhum dos tratamentos atingiu a profundidade crítica. Para $P < 0,05$ apresentaram-se três grupos definidos pela profundidade planejada de trabalho. O primeiro é composto pelos tratamentos *ddhche*, *ddhe*, *hche* e *he*, que atingiram a maior profundidade e não diferiram estatisticamente entre si.

A máxima profundidade foi para os tratamentos que apresentaram combinações discos duplos e haste escarificadora: 0,288 m para *ddhche* e 0,281 m para *ddhe*, concluindo-se que os discos duplos favoreceram a penetração das hastes, já que mobilizam o solo na camada de 0 a 0,1 m frente das hastes. O segundo grupo formado pelos tratamentos *hc* e *ddhc*, que foram trabalhados a profundidades intermediárias, sendo 0,2 e 0,184 m respectivamente. Estes tratamentos não diferiram estatisticamente entre si, mas apresentam diferenças significativas com os outros tratamentos. O terceiro grupo formado pelo tratamento *dd*, que apresenta diferença significativa com os outros tratamentos e a menor profundidade atingida de 0,0775 m, ficando abaixo do previsto (0,1 m). Este comportamento é devido à força vertical, o que sugere que para trabalhar com discos duplos individualmente, o diâmetro destes deve ser maior, aumentar o grau de inclinação ou aumentar o peso sobre eles, para que a força vertical ajude à penetração dos mesmos, de acordo aos resultados encontrados por Gill et al. (1982).

4.5 Índice de cone

A Figura 26 ilustra os resultados da resistência à penetração obtida para cada bloco, para uma profundidade de 0,35 m. As Tabelas 12 e 13 apresentam, respectivamente, a análise de variância e o teste de Tukey dos valores obtidos para o índice de cone. Estes testes foram utilizados para comparar as médias da variável índice de cone entre os tratamentos, como descrito no item 3.2.3.2.

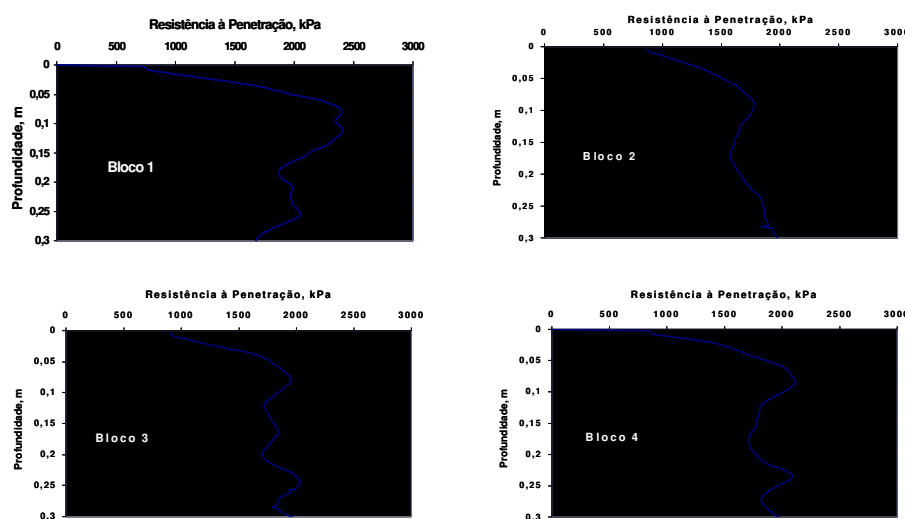


Figura 26. Resistência à penetração média para cada bloco.

Os resultados obtidos para esta variável mostram que não diferiram estatisticamente para um $P < 0,01$. Embora, para $P < 0,05$ o tratamento *dd* diferiu estatisticamente dos tratamentos conformados com haste escarificadora: *he*, *ddhe*, *ddhche* e *hche*. Assim, o solo da caixa apresentou o menor índice de cone na camada de 0 a 0,1 m com um valor de 1,66 MPa; um valor intermediário de 1,83 MPa para a camada de 0,1 a 0,2 m; e o maior valor para a camada de 0,2 a 0,3 m de 1,89 MPa. Pode-se afirmar que as condições experimentais do solo trabalhado na caixa de solo, encontravam-se homogêneas para uma profundidade maior de 0,1 m e com pouca variabilidade na camada de 0 a 0,1 m como é esperado em solos que são artificialmente preparados.

Tabela 12. Análise de variância da variável Índice de Cone expressa em kPa.

Causa da Variação	G. L.	S.Q	Q.M.	Valor F	Prob. > F
Bloco	3	215604	71868	8,761	0,00112
Tratamento	6	179800	29967	3,653	0,01502
Resíduo	18	147661	8203		
Total	27	543065			

Tabela 13. Comparação de médias entre os tratamentos pelo Teste de Tukey para a variável Índice de Cone expressa em kPa.

Num. Ordem	Num. Trata.	Nome	Num. Repet.	Médias	5%	1%
1	3	<i>he</i>	4	1894	a	A
2	5	<i>ddhe</i>	4	1894	a	A
3	6	<i>ddhche</i>	4	1894	a	A
4	7	<i>hche</i>	4	1894	a	A
5	4	<i>ddhc</i>	4	1833	ab	A
6	2	<i>hc</i>	4	1833	ab	A
7	1	<i>dd</i>	4	1657	b	A

* Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si ao nível de significância indicado.

4.6 Resistência específica

As Tabelas 14 e 15 apresentam, respectivamente, a análise de variância e o teste de Tukey dos valores obtidos para a resistência específica.

Tabela 14. Análise de variância da variável Resistência Específica expressa em kPa.

Causa da Variação	G. L.	S.Q	Q.M.	Valor F	Prob. > F
Bloco	3	3800,6	1266,9	1,93	0,15948
Tratamento	6	49765,8	8294,3	12,66	0,00006
Resíduo	18	11791,4	655,1		
Total	27	65357,8			

A resistência específica do tratamento *dd* diferiu significativamente dos outros tratamentos para $P < 0,05$ e para $P < 0,01$, e apresenta um valor de 166,4 kPa. Os outros tratamentos não diferiram entre si para os dois níveis de significância analisados. O tratamento *hc* reportou 34,06 kPa, apresentando portanto, o menor valor dentre os tratamentos analisados. Conclui-se que para mobilizar uma mesma quantidade de solo, os discos duplos requerem mais força horizontal do que as hastes, devido à configuração geométrica dos discos e da maior área de contato lateral entre os discos duplos e o solo.

Tabela 15. Comparação de médias entre os tratamentos pelo Teste de Tukey para a variável Resistência Específica expressa em kPa.

Num. Ordem	Num. Trata.	Nome	Num. Repet.	Médias	5%	1%
1	1	<i>dd</i>	4	166,39	a	A
2	4	<i>ddhc</i>	4	67,87	b	B
3	7	<i>hche</i>	4	64,02	b	B
4	6	<i>ddhche</i>	4	49,18	b	B
5	3	<i>he</i>	4	44,50	b	B
6	5	<i>ddhe</i>	4	41,61	b	B
7	2	<i>hc</i>	4	34,06	b	B

* Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si ao nível de significância indicado.

4.7 Índice de força

As Tabelas 16 e 17 apresentam, respectivamente, a análise de variância e o teste de Tukey dos valores obtidos para o índice de força. O índice de força do tratamento *dd* deferiu significativamente dos outros tratamentos para $P < 0,05$ e para $P < 0,01$, e apresenta um valor de 0,099 kPa. Os outros tratamentos não diferiram entre si para os dois níveis de significância analisados.

O comportamento desta variável confirma a homogeneidade apresentada pelo índice de cone, na camada de 0 a 0,3 m, já que o comportamento reportado pelo índice de força para todos os tratamentos é o mesmo que o reportado pela resistência específica, indicando que a compactação do solo influenciou de forma semelhante em todos os tratamentos.

Tabela 16. Análise de variância do Índice de Força, adimensional.

Causa da Variação	G. L.	S.Q	Q.M.	Valor F	Prob. > F
Bloco	3	0,00078	0,00026	1,69	0,20411
Tratamento	6	0,01911	0,00319	20,76	0,00001
Resíduo	18	0,00276	0,00015		
Total	27	0,02265			

Tabela 17. Comparação de médias entre os tratamentos pelo Teste de Tukey para a variável Índice de Força, adimensional.

Num. Ordem	Num. Trata.	Nome	Num. Repet.	Médias	5%	1%
1	1	<i>dd</i>	4	0,099	a	A
2	4	<i>ddhc</i>	4	0,036	b	B
3	7	<i>hche</i>	4	0,034	b	B
4	6	<i>ddhche</i>	4	0,026	b	B
5	3	<i>he</i>	4	0,023	b	B
6	5	<i>ddhe</i>	4	0,022	b	B
7	2	<i>hc</i>	4	0,019	b	B

* Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si ao nível de significância indicado.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nas condições em que se realizou o presente experimento, permite chegar as seguintes conclusões:

- ? A unidade experimental composta de discos duplos, haste curta e haste escarificadora mostrou ser uma alternativa viável para a prática de cultivo de solo em área de plantio direto, facilitando o corte de resíduos na superfície e ajudando a reduzir a compactação e o adensamento do solo.
- ? A presença de uma haste menor ou de discos duplos na frente da haste escarificadora diminui a área mobilizada e os requerimentos de força horizontal, porém aumenta a profundidade de trabalho.
- ? O tratamento composto pela haste curta e haste escarificadora apresentaram a maior força horizontal e a maior força vertical de sucção.
- ? O comportamento da força vertical nos tratamentos *ddhc* e *ddhche* favoreceria a distribuição de adubo localizado em solos com palhço, ao facilitar o corte da palha. Além disso, as combinações destas ferramentas diminuem os requerimentos de potencia e favorece a penetração no solo.
- ? Os discos duplos descentrados apresentaram a menor força horizontal, menor profundidade de trabalho e menor área mobilizada, porém maior resistência específica e maior índice de força.
- ? A resistência específica e o índice de força apresentassem um comportamento semelhante, devido a que a resistência à penetração apresentou pouca variabilidade na camada de solo trabalhada.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista os resultados obtidos nas combinações com discos duplos e hastes é desejável realizar testes com discos duplos de diferentes diâmetros e verificar a influência do ângulo de abertura dos discos no comportamento da força horizontal, força vertical e profundidade de trabalho, principalmente.

Sendo esta uma proposta para adubação localizada em sistemas conservacionistas na agricultura, deve-se verificar o comportamento dos discos duplos no corte do palhço e das quantidades de cobertura morta vegetal removida depois da lavoura, para as culturas mais representativas considerando diferentes condições de solo e do palhço.

Para verificar a viabilidade técnica e econômica desta unidade experimental faz-se importante sua avaliação em condições reais de campo, sob diferentes culturas e classes de solo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMEZQUITA, E.; GUIMARES, E. P.; SANZ, J. I.; RAO, I. M. Investigaciones en sistemas agropastoriles: que hemos aprendido y que debemos hacer en el futuro. **Sistemas agropastoriles en sabanas tropicales de América Latina**. Cali, p 301 – 312. 1999.

BAUTISTA, E. U.; WATANABE, E.; YODA, A.; HAYASHI, H.; KOIKE, M. Deep placement of fertilizer solution in puddled soils. Part 1: Nitrogen losses. **Transaction of the ASAE**. St. Joseph, v.42, n.3, p 623-8, 1999a.

BAUTISTA, E. U.; WATANABE, E.; YODA, A.; HAYASHI, H.; KOIKE, M. Deep placement of fertilizer solution in puddled soils. Part 2: Rice growth and yield. **Transaction of the ASAE**. St. Joseph, v.42, n.3, p 629-635, 1999b.

BIANCHINI, A.; MAGALHÃES, P. S. G.; BRAUNBECK, O. Cultivo do solo em área de cana-de-açúcar. **Revista STAB**. Piracicaba, v.19, n.5, p.6-8, 2001a.

BIANCHINI, A.; MAGALHÃES, P. S. G.; UMEZU, C. K. Resistência da palha da cana-de-açúcar ao corte. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 30, Foz do Iguaçu: Unioeste, jul, 2001b, CD-Rom.

BIANCHINI, A.; MAIA, J. C. S.; MAGALHÃES, P. S. G.; CAPELLI, N. L.; UMEZU, C. K. Penetrógrafo eletrônico automático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Jaboticabal, no prelo. 2002.

CASTRO, C. de; BALLA, A.; CASTIGLIONI, V.B.; SFREDO, G. J. Doses e métodos de aplicação de nitrogênio em girasol. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v.56, n.4, 1999.

CHANG, C. S.; ALMEIDA, H. C.; CASÃO, J. R.; CONTRERAS, G. A. M. A laboratory study on conservation tillage performance. In: International conference on agricultural engineering. **Anais...**, Milan, v.2, p582-583, 1994

CHANG, H. Choi; DONALD, C. Erbach. Cornstalk residue shearing by rolling coulters. **Transaction of the ASAE**. St. Joseph , v.29, n.6, p.1530-1535, 1986.

CHAUDHURI, Deepak. Performance evaluation of various types of furrow openers on seed drills-a review. **Journal of Agricultural Engineering Research**. Londres, v.79, p.125-137, 2001.

CHICHESTER, F. W.; MORRISON, J. E.; GERIK, T. J. Minimum disturbance fertilizer knifing for no-till. **Transaction of the ASAE**. St. Joseph , v.28, n.4, p.1013-1018, 1985.

COELHO, José Luis Duarte. **Avaliação de elementos sulcadores para semeadoras-adubadoras utilizadas em sistemas conservacionistas de manejo do solo**. 71p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. 1998.

DRANSFIELD, P.; WILLATT, S. T.; WILLIS, A. H. Soil to implement reaction experienced with simple tines at various angles of attack. **Journal of Agricultural Engineering Research**. Londres, v.9, p.220-234, 1964.

GILL, W. R.; BAILEY, A. C.; REAVES, C. A. Harrow disk curvature – Influence on soil penetration. **Transaction of the ASAE**. St. Joseph, v.25, n.5, p.1180-1180, 1982.

GODWIN, R. J.; SPOOR, G. Soil failure with narrow tines failure. **Journal of Agricultural Engineering Research**. Londres, v.22, p.213-218, 1977.

GODWIN, R. J.; SPOOR, G. The effect of tine arrangement on soil forces and disturbance. **Journal of Agricultural Engineering Research**. Londres, v.30, p.47-56, 1984.

GRISSE, R. D.; PERUMPRAL, J. V. Review of models for predicting performance of narrow tillage toll. **Transaction of the ASAE**. St. Joseph, v.28, n.4, p.1062-1067, 1985.

GULICK, D.; CASSMAN, K. G.; GRATTAN, S. R. Exploitation of soil potassium in layered profiles by root systems of cotton and barley. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v.53, n.1, p.146-153, 1989.

HETTIARATCHI, D. R. P.; REECE, A. R. The calculation of passive soil resistance. **Geotechnique**. Londres, v.24, n.3, p.289-310, 1974.

HETTIARATCHI, D. R. P.; REECE, A. R. Symmetrical three-dimensional soil failure. **Journal of Terramechanichs**. Oxford, v.4, n.3, p.45-67, 1967.

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

JAYASURIYA, H. P. W.; SALOKHE, V. M. A review of soil-tine models for a range of soil condicions. **Journal of Agricultural Engineering Research**. Londres, v.79, n.1, p.1-13, 2001.

KEPNER, R. A.; BAINER, R.; BARGUER, E. L. Crop planting. In: **Principles of farm machinery**. Mestport: AVI, p.201-206, 1972.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO-NEUTO, D.; RIBEIRO, C. M.; FERRARO, L. A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v.57, n.1, 2000.

KUSHWAHA, R. L.; VAISHNAV, A. S.; ZOERB, G. C. Soil bin evaluation of disc coulters under no-till crop residue conditions. **Transaction of the ASAE**. St. Joseph, v.29, n.1, p.40-44, 1986.

KUSHWAHA, R. L.; VAISHNAV, A. S.; ZOERB, G. C. Shear strength of wheat straw. **Canadian agricultural engineering**. Saskatoon, v.25, n.2, p.163-166, 1983.

KUSHWAHA, R. L.; ZHANG, Z. X. Evaluation of factors and current approaches related to computerized desing of tillage tolls: a review. **Journal of Terramechanichs**. Oxford, v.35, n.2, p.69-86. 1998.

LANÇAS, K. P.; BENEZ, S. H. Influência da velocidade de subsolagem no consumo de combustível e na área mobilizada do solo. **Energia na Agricultura**. Botucatu, v.3, n.1, p.25-30, 1988.

MAGALHÃES, P. S. G.; SOUZA, W. R. Subsolador: Influência de parâmetros geométricos no mecanismo de forças In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 19, 1990, Piracicaba, **Anais...**, Piracicaba, v.2, p.1033-1033, 1990.

McKYES, E. **Soil Cutting and Tillage**. 1ed. Amsterdam: Elsevier, p.38-78, 1985

McKYES, E.; ALI, O. S. The cutting of soil by narrow blades. **Journal of Terramechanics**, Oxford, v.14, n.2, p.43-58, 1977.

MEYERHOF, G. G. The ultimate bearing capacity of foundations. **Geotechnique**. Londres, v.2, n.4, p.301-332, 1951.

MULLINS, G. L.; BURMESTER, C. H.; REEVES, D. W. Cotton response to in-row subsoiling and potassium fertilizer placement in Alabama. **Soil & Tillage Research**. Amsterdam, v.40, p.145-154, 1997.

ORTIZ-CAÑAVATE, J. **Lás máquinas agrícolas y su aplicación..** 2ed. Madrid: Mundi – Prensa, 1984.

PAVAN, M. A. e PARRA, M. S. Instruções para melhor uso da uréia como fertilizantes. IAPAR. Informe da Pesquisa, 116. Londrina, 8p.1995

PAYNE, P. C. J. The relationship between mechanical proprieties of soil and performace of simple cultivation implements. failure. **Journal of Agricultural Engineering Research**. Londres, v.1, n.1, p.23-50, 1956.

PAYNE, P. C. J.; TANNER, D. W. The relationship between rake angle and the performace of simple cultivation implements. failure. **Journal of Agricultural Engineering Research**. Londres, v.4, n.4, p.312-325, 1959.

PERUMPRAL, J. V.; GRISSE, R. D.; DESAI, C. S. A soil-tool model based on limit equilibrium analysis. **Transaction of the ASAE**. St. Joseph, v.26, n.4, p.991-995, 1983.

PORTELLA, J. A. Máquinas e implementos para plantio direto e cultivo mínimo. Em: **Encontro paulista de plantio direto**, 2. Assis, p.143-155, 1989.

RODRIGUES, M. B.; KIEHL. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modo de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. Campinas, v.10, p.37-43, 1986.

SOUSA, D. M. G. de; CARVALHO, L. J. C.; MIRANDA, L. N. de. Correção da acidez do solo. **Solos dos cerrados. Tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: EMBRAPA-CPAC, p 99-127. 1986

SPOOR, G.; GODWIN, R. J. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. **Journal of Agricultural Engineering Research**. Londres, v.26, n.6, p.477-497, 1978.

STAUT, L.A.; KURIHARA, C.H. Calagem, nutrição e adubação. In: Algodão: informações técnicas. Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste. Dourados: EMBRAPA-CNPQ, p.51-69, 1998.

TICE, E. M.; HENDRICK, J. G. Disc coulter operating characteristics. **Transaction of the ASAE**. St. Joseph, v.35, n.1, p.3-10, 1992.

WILDMAN, W. E.; REAVES, C. A.; GILL, W. R. Effect of slip plow desing on draft forces and soil loosening. **Transaction of the ASAE**. St. Joseph, v.21, n.3, p.422-426, 1978.

8. ANEXOS

A N E X O S

ANEXO 1. Dados obtidos na calibração da célula de carga para a força horiz

Célula: Anél Condicionador: MGC-plus :
 Marca: Alimentação da ponte: Observações
 Modelo: octagonal
 Número:
 Capacidade nominal: Foram realizados três ciclos de carga até a capacidade nominal antes da tomada de dados
 Data: 26/02/01

Força [kN]	Ascend. [mV/V]	Descend. [mV/V]	Ascend. [mV]	Descend. [mV]	Ascend. [mV]	Descend. [mV]	Méd. Geral [mV]	Histerese %	Não Lin %
20	1,570	1,570	1,570	1,570	1,569	1,569	1,570	0,000	0,340
18	1,411	1,422	1,412	1,425	1,410	1,422	1,417	0,764	0,414
16	1,251	1,260	1,253	1,258	1,253	1,264	1,257	0,531	0,488
14	1,095	1,110	1,098	1,108	1,097	1,107	1,103	0,743	0,372
12	0,939	0,951	0,945	0,945	0,941	0,949	0,945	0,425	0,212
10	0,784	0,794	0,785	0,793	0,786	0,789	0,789	0,446	0,159
8	0,625	0,637	0,629	0,634	0,629	0,634	0,631	0,467	0,149
6	0,470	0,480	0,470	0,478	0,472	0,477	0,475	0,488	0,117
4	0,318	0,324	0,318	0,322	0,320	0,321	0,321	0,234	0,234
2	0,158	0,161	0,160	0,161	0,160	0,160	0,160	0,085	0,117
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Reta de Referência p/ compressão = 0,07875 [mV/N]

Erro Total Combinado p/ Compressão = 1,40 [%]

Coefficiente Angular = 12

Intersecção = -0,

ANEXO 2. Dados obtidos na calibração da célula de carga para a força vert

Célula: Anél Condicionador: MGC-plus :
 Marca: Alimentação da ponte: Observações
 Modelo: octagonal
 Número:
 Capacidade nominal: Foram realizados três ciclos de carga até a capacidade nominal antes da tomada de dados
 Data: 26/02/01

Força [kN]	Ascend. [mV/V]	Descend. [mV/V]	Ascend. [mV]	Descend. [mV]	Ascend. [mV]	Descend. [mV]	Méd. Geral [mV]	Histerese %	Não Lin %	Repe %
10	0,827	0,827	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,000	0,559	0,11
9	0,743	0,754	0,743	0,754	0,742	0,753	0,748	1,331	0,628	0,11
8	0,659	0,669	0,66	0,669	0,659	0,667	0,664	1,089	0,657	0,21
7	0,579	0,585	0,578	0,585	0,578	0,585	0,582	0,807	0,403	0,11
6	0,496	0,501	0,496	0,501	0,496	0,5	0,498	0,565	0,311	0,11
5	0,414	0,419	0,415	0,419	0,415	0,418	0,417	0,484	0,098	0,11
4	0,331	0,336	0,331	0,336	0,331	0,334	0,333	0,524	0,167	0,21
3	0,249	0,251	0,249	0,252	0,249	0,251	0,250	0,282	0,035	0,11
2	0,167	0,167	0,167	0,168	0,166	0,168	0,167	0,121	0,058	0,11
1	0,084	0,084	0,085	0,084	0,083	0,083	0,084	0,040	0,109	0,21
0	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,00

Reta de Referência p/ compressão = 0,08309524 [mV/N] **Coefficiente Angular** = .
 Erro Total Combinado p/ Compressão = 2,08 [%] **Intersecção** = .

ANEXO 3. Resultados da análise de variância e teste de Tukey para força horizontal.

```

*****
*      SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA      *
*      Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado *
*      Departamento de Matem. e Estat. ESALQ - USP      *
*      ANALISE DA VARIÁVEL FHoriz - ARQUIVO: ENSA1      *
*****

```

CODIGO DO PROJETO:

RESPONSÁVEL: DENISE

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: DBC

OBSERVAÇÕES NÃO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

```

-----
FATOR  NOME
-----
A      BLOCO
B      TRAT
-----

```

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
BLOCO	3	1.4844679	0.4948226	2.8579	0.06515
TRAT	6	13.5147539	2.2524590	13.0091	0.00005
RESIDUO	18	3.1166007	0.1731445		
TOTAL	27	18.1158225			

MÉDIA GERAL = 1.953809

COEFICIENTE DE VARIACAO = 21.297%

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE TRAT

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	7	HCHE	4	2.988617	2.988617	a	A
2	6	DDHCHE	4	2.393740	2.393740	ab	AB
3	3	HE	4	2.345791	2.345791	ab	AB
4	5	DDHE	4	2.091120	2.091120	abc	AB
5	4	DDHC	4	1.828114	1.828114	bc	ABC
6	2	HC	4	1.299204	1.299204	cd	BC
7	1	DD	4	0.730081	0.730081	d	C

MÉDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO

D.M.S. 5% = 0.97161 - D.M.S. 1% = 1.20463

ANEXO 4. Resultados da análise de variância e teste de Tukey para força vertical.

```

*****
*      SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA      *
*      Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado      *
*      Departamento de Matem. e Estat. ESALQ - USP      *
*      ANALISE DA VARIÁVEL FVERTI - ARQUIVO: ENSA1      *
*****

```

CODIGO DO PROJETO:

RESPONSÁVEL: DENISE

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: DBC

OBSERVAÇÕES NÃO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

FATOR	NOME
A	BLOCO
B	TRAT

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
BLOCO	3	0.9818654	0.3272885	1.0990	0.37596
TRAT	6	44.8961761	7.4826960	25.1257	0.00001
RESIDUO	18	5.3605910	0.2978106		
TOTAL	27	51.2386325			

MÉDIA GERAL = -0.551598

COEFICIENTE DE VARIACAO = -98.934%

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE TRAT

NUM.Ordem	NUM.Trat.	NOME	NUM.Repet.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	DD	4	1.171538	1.171538	a	A
2	4	DDHC	4	0.445749	0.445749	a	AB
3	5	DDHE	4	0.050372	0.050372	ab	AB
4	6	DDHCH	4	-0.029270	-0.029270	ab	AB
5	2	HC	4	-0.989922	-0.989922	bc	BC
6	3	HE	4	-1.693197	-1.693197	cd	CD
7	7	HCH	4	-2.816454	-2.816454	d	D

MÉDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 1.27426 - D.M.S. 1% = 1.57986

ANEXO 5. Resultados da análise de variância e teste de Tukey para profundidade.

```

*****
*      SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA      *
*      Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado      *
*      Departamento de Matem. e Estat. ESALQ - USP      *
*      ANALISE DA VARIÁVEL PROFUND - ARQUIVO: ENSA1      *
*****

```

CODIGO DO PROJETO:

RESPONSÁVEL: DENISE

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: DBC

OBSERVAÇÕES NÃO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

```

-----
FATOR  NOME
-----
A      BLOCO
B      TRAT
-----

```

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
BLOCO	3	0.0012698	0.0004233	0.7015	0.56616
TRAT	6	0.1415834	0.0235972	39.1063	0.00001
RESIDUO	18	0.0108614	0.0006034		
TOTAL	27	0.1537147			

MÉDIA GERAL = 0.224607

COEFICIENTE DE VARIACAO = 10.937%

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE TRAT

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	6	DDHCHE	4	0.288250	0.288250	a	A
2	5	DDHE	4	0.281250	0.281250	a	A
3	7	HCHE	4	0.275500	0.275500	a	A
4	3	HE	4	0.265500	0.265500	a	AB
5	2	HC	4	0.200000	0.200000	b	BC
6	4	DDHC	4	0.184250	0.184250	b	C
7	1	DD	4	0.077500	0.077500	c	D

MÉDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO

D.M.S. 5% = 0.05736 - D.M.S. 1% = 0.07111

ANEXO 6. Resultados da análise de variância e teste de Tukey para Área Mobilizada.

 * SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA *
 * Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado *
 * Departamento de Matem. e Estat. ESALQ - USP *
 * ANALISE DA VARIÁVEL AREA - ARQUIVO: ENSA1 *

CODIGO DO PROJETO:

RESPONSÁVEL: DENISE

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: DBC

OBSERVAÇÕES NÃO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

FATOR	NOME
A	BLOCO
B	TRAT

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
BLOCO	3	0.0000453	0.0000151	0.2634	0.85165
TRAT	6	0.0073971	0.0012328	21.4951	0.00001
RESIDUO	18	0.0010324	0.0000574		
TOTAL	27	0.0084748			

MEDIA GERAL = 0.039206

COEFICIENTE DE VARIACAO = 19.317%

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE TRAT

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	HE	4	0.054500	0.054500	a	A
2	5	DDHE	4	0.051478	0.051478	a	A
3	6	DDHCHE	4	0.049060	0.049060	a	AB
4	7	HCHE	4	0.047298	0.047298	a	AB
5	2	HC	4	0.038500	0.038500	ab	AB
6	4	DDHC	4	0.029010	0.029010	b	B
7	1	DD	4	0.004597	0.004597	c	C

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO

D.M.S. 5% = 0.01768 - D.M.S. 1% = 0.02192

ANEXO 7. Resultados da análise de variância e teste de Tukey para Resistência Específica.

 * SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA *
 * Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado *
 * Departamento de Matem. e Estat. ESALQ - USP *
 * ANALISE DA VARIÁVEL RE - ARQUIVO: ENSA1 *

CODIGO DO PROJETO:

RESPONSÁVEL: DENISE

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: DBC

OBSERVAÇÕES NÃO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

FATOR	NOME
A	BLOCO
B	TRAT

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
BLOCO	3	3800.6237771	1266.8745924	1.9339	0.15948
TRAT	6	49765.7987006	8294.2997834	12.6616	0.00006
RESIDUO	18	11791.3675575	655.0759754		
TOTAL	27	65357.7900351			

MEDIA GERAL = 66.805321
 COEFICIENTE DE VARIACAO = 38.312%

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE TRAT

NUM.ORDEN	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	DD	4	166.393179	166.393179	a	A
2	4	DDHC	4	67.865966	67.865966	b	B
3	7	HCHE	4	64.020227	64.020227	b	B
4	6	DDHCHE	4	49.182631	49.182631	b	B
5	3	HE	4	44.500773	44.500773	b	B
6	5	DDHE	4	41.610429	41.610429	b	B
7	2	HC	4	34.064034	34.064034	b	B

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
 D.M.S. 5% = 59.76305 - D.M.S. 1% = 74.09594

ANEXO 8. Resultados da análise de variância e teste de Tukey para Índice de Cone

```
*****
*      SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA      *
*      Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado      *
*      Departamento de Matem. e Estat. ESALQ - USP      *
*      ANALISE DA VARIÁVEL IC - ARQUIVO: ENSA1      *
*****
```

CODIGO DO PROJETO:

RESPONSÁVEL: DENISE

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: DBC

OBSERVAÇÕES NÃO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

```
-----
FATOR  NOME
-----
A      BLOCO
B      TRAT
-----
```

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
BLOCO	3	215604.1782936	71868.0594312	8.7608	0.00112
TRAT	6	179799.9913271	29966.6652212	3.6530	0.01502
RESIDUO	18	147660.5734492	8203.3651916		
TOTAL	27	543064.7430698			

MEDIA GERAL = 1842.822270

COEFICIENTE DE VARIACAO = 4.915%

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE TRAT

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	HE	4	1893.865082	1893.865082	a	A
2	5	DDHE	4	1893.865082	1893.865082	a	A
3	6	DDHCHE	4	1893.865082	1893.865082	a	A
4	7	HCHE	4	1893.865082	1893.865082	a	A
5	4	DDHC	4	1833.407104	1833.407104	ab	A
6	2	HC	4	1833.407104	1833.407104	ab	A
7	1	DD	4	1657.481415	1657.481415	b	A

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 211.48663 - D.M.S. 1% = 262.20719

ANEXO 9. Resultados da análise de variância e teste de Tukey para Índice de Força.

```

*****
*      SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA      *
*      Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado      *
*      Departamento de Matem. e Estat. ESALQ - USP      *
*      ANALISE DA VARIÁVEL IF - ARQUIVO: ENSA1      *
*****

```

CODIGO DO PROJETO:

RESPONSÁVEL: DENISE

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: DBC

OBSERVAÇÕES NÃO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

FATOR	NOME
A	BLOCO
B	TRAT

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
BLOCO	3	0.0007775	0.0002592	1.6895	0.20411
TRAT	6	0.0191106	0.0031851	20.7629	0.00001
RESIDUO	18	0.0027613	0.0001534		
TOTAL	27	0.0226493			

MÉDIA GERAL = 0.037007

COEFICIENTE DE VARIACAO = 33.469%

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE TRAT

NUM.Ordem	NUM.Trat.	NOME	NUM.Repet.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	6	DDHCHC	4	0.288250	0.288250	a	A
1	1	DD	4	0.099408	0.099408	b	B
2	4	DDHC	4	0.035829	0.035829	b	B
3	7	HCHE	4	0.033872	0.033872	b	B
4	6	DDHCHC	4	0.025994	0.025994	b	B
5	3	HE	4	0.023433	0.023433	b	B
6	5	DDHE	4	0.021959	0.021959	b	B
7	2	HC	4	0.018552	0.018552	b	B

MÉDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0.02892 - D.M.S. 1% = 0.03586