**EFEITO DA MOBILIZAÇÃO DO SOLO, COM ENXA-
DA ROTATIVA, SOBRE ALGUMAS DE SUAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

CARLOS ANTONIO GAMERO

Orientador : PAULO LEONEL LIBARDI

**Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura «Luiz de
Queiroz» da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título
de Mestre em Solos e Nutrição
de Plantas**

**PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Julho, 1982**

Aos meus pais, exemplos de
amor, dedicação e trabalho

Dedico

A minha esposa Marcia Maria
e a nossa filha Alessandra,

Ofereço este trabalho

A G R A D E C I M E N T O S

- A Faculdade de Ciências Agronômicas, Campus de Botucatu, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" , que possibilitou a realização do Curso de Pós-Graduação.
- Ao Dr. Paulo Leonel Libardi, pela orientação.
- Ao Dr. Sérgio Hugo Benez, pela amizade e preciosa colaboração
- Aos Profs. Drs. Antônio de Pádua Sousa, Wesley Jorge Freire, Sheila Zambello de Pinho e Edmar José Scaloppi pelas colaborações prestadas.
- Ao Prof. Dr. Cezar Piedade Júnior pelo constante incentivo.
- Aos técnicos Maury Torres da Silva, Vicente José de Vasconcelos, Maria de Lourdes Conte e Mário de Oliveira Munhoz pelo auxílio nos trabalhos de campo e de laboratório.
- A senhorita Jeannette Garcia Honório Pires pelos trabalhos de datilografia.
- A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior do M.E.C. (CAPES), pela bolsa concedida.
- A todos que, de uma maneira ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho.

Í N D I C E

	página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
3. MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1. Materiais	21
3.1.1. Campo experimental	21
3.1.2. Solo	21
3.1.3. Trator e enxada rotativa	22
3.1.4. Penetrômetro de anel	25
3.1.5. Penetrômetro de bolso	25
3.1.6. "Eley Volumeter"	26
3.1.7. Outros materiais	26
3.2. Métodos	28
3.2.1. Delineamento experimental	28

3.2.2. Determinação do peso específico aparente seco do solo	30
3.2.3. Determinação do peso específico dos sólidos do solo	31
3.2.4. Determinação do peso específico natural do solo	31
3.2.5. Determinação da umidade do solo	32
3.2.6. Determinação do índice de vazios, porosidade total e grau de satu- ração do solo	32
3.2.7. Determinação da resistência do solo a penetração	33
3.2.8. Determinação da resistência do solo a compressão simples não con- finada	33
3.2.9. Peneiramento a seco do solo	33
3.2.10. Análise granulométrica do solo	35
3.2.11. Ensaio de compactação do solo	35
3.2.12. Determinação dos limites de con- sistência do solo	35

3.2.13. Análise estatística	36
4. RESULTADOS	37
5. DISCUSSÃO	46
6. CONCLUSÕES	55
7. LITERATURA CITADA	56
APÊNDICE	66

LISTA DE TABELAS

página

TABELA 1 - Características e propriedades físicas do solo classe textural argila à profundidade de 0-20 cm	23
TABELA 2 - Valores do peso específico aparente seco do solo da "soleira", calculados pelo método do torrão impermeabilizado	39
TABELA 3 - Valores do peso específico aparente seco e do peso específico natural do solo da "soleira", calculados a partir dos dados obtidos com o aparelho "Eley Volumeter"	40
TABELA 4 - Valores do teor de água da camada do solo mobilizada, determinados pelo método gravimétrico padrão e do grau de saturação do solo da "soleira", calculados a partir dos dados obtidos com o aparelho "Eley Volumeter"	41

TABELA 5 - Valores da porosidade total e do índice de vazios do solo da "soleira", calculados a partir dos dados obtidos com o aparelho "Eley Volumeter"	42
TABELA 6 - Valores da resistência a penetração e da resistência a compressão simples não confinada do solo da "soleira", obtidos, respectivamente, com penetrômetro de anel e penetrômetro de bolso	43
TABELA 7 - Valores de porcentagem acumulada de agregados em peneira número 60 (0,25 mm), da camada do solo mobilizada, obtidos através do peneiramento a seco	44
TABELA 8 - Valores do módulo de finura dos agregados da camada do solo mobilizada, obtidos através do peneiramento a seco	45
TABELA 9 - Resumo da análise de variância dos dados referentes ao $\gamma_o(T)$, $\gamma_o(EV)$, γ_n , W, S, n, e, R_p e R_c	47

TABELA 10 - Comparação das médias dos tratamentos e da testemunha, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para $\gamma_o(T)$, $\gamma_o(EV)$, γ_n , W, S, n, e, R_p e R_c	48
---	----

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Enxada rotativa, utilizada para a mobilização do solo, mostrando detalhes do rotor e do anteparo traseiro	24
FIGURA 2 - Penetrômetro de anel (1); penetrômetro de bolso (2) e "Eley Volumeter" (3)	27
FIGURA 3 - Instalação do ensaio de campo, segundo o delineamento experimental	29
FIGURA 4 - Ângulos formados pelo anteparo traseiro com a normal a superfície do terreno ($P1 = 108^\circ$; $P2 = 69^\circ$ e $P3 = 40^\circ$)	30

EFEITO DA MOBILIZAÇÃO DO SOLO, COM ENXADA ROTATIVA, SOBRE ALGUMAS DE SUAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

CARLOS ANTONIO GAMERO

Paulo Leonel Libardi

- Orientador -

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo estudar o efeito da mobilização de uma Terra Roxa Estruturada, com enxada rotativa, sobre algumas de suas características físicas, em condições de campo.

O ensaio foi constituído por 9 tratamentos mais a testemunha, delineados em blocos casualizados, com 4 repetições. As parcelas mobilizadas foram designadas por R1 P1; R1 P2; R1 P3; R2 P1; R2 P2; R2 P3; R3 P1; R3 P2 e R3 P3, onde R1, R2 e R3 representaram diferentes velocidades de rotação do rotor do equipamento (122,36; 172,74 e 217,52 rpm respectivamente) e, P1, P2 e P3 representaram as alturas do anteparo traseiro da enxada rotativa, cujos ângulos forma-

dos com a normal a superfície do terreno foram na ordem anteriormente citada 108° , 69° e 40° .

Os parâmetros analisados na camada do solo imediatamente abaixo do raio de ação das lâminas da enxada rotativa, ou "soleira", foram: peso específico aparente seco; peso específico natural; grau de saturação; porosidade total; índice de vazios; resistência à penetração e resistência à compressão simples não confinada. Na camada superficial do solo mobilizada (0 a 15 cm de profundidade), foi analisada a estabilidade dos agregados e determinado o teor de água para todas as parcelas.

Os resultados obtidos permitiram constatar que entre os tratamentos não ocorreram diferenças significativas, mas quando estes foram comparados com a testemunha, a análise estatística detectou no solo da "soleira" um aumento do peso específico aparente seco, do peso específico natural, da resistência à penetração, e uma diminuição da porosidade total e do índice de vazios. Também foi verificado que quando utilizou-se alta rotação do rotor e menor altura do anteparo tra-seiro do equipamento, ocorreu uma diminuição da estabilidade dos agregados.

EFFECTS OF ROTARY TILLAGE ON SOME PHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE SOIL

CARLOS ANTONIO GAMERO

Paulo Leonel Libardi

- Adviser -

SUMMARY

The main objective of this work was to study the effect of soil preparation, employing a rotary tiller, on some physical characteristics of a clay textured soil.

A randomized block design experiment was conducted with 9 treatments plus an untilled plot, as a check, and four replications. The treatments consisted of all possible combinations of three rotary speeds ($R_1 = 122.36$ rpm; $R_2 = 172.74$ rpm, and $R_3 = 217.52$ rpm) and three heights of the impact plate corresponding to 108, 69, and 40 degrees angles, formed with the normal direction of the soil surface.

The following parameters were determined from

the soil layer just below the radius of action of the tines: dry unit weight, total unit weight, degree of saturation, porosity, void ratio, penetration resistance, and unconfined compressive strength. Also determined were the aggregate stability and the soil water content for the 0-15 cm surface layer.

The results showed no significant differences among the preparation treatments. However, when compared with the untilled plot it was detected a significant increase in the dry unit weight, total unit weight, penetration resistance, and a reduction on porosity and void ratio. Higher rotation speeds and small height of the impact plate reduced the aggregate stability.

1. INTRODUÇÃO

O início da agricultura marca o término do nomadismo e o advento das operações de preparo do solo. Durante os últimos 4.000 anos os povos vêm cultivando suas terras e desenvolvendo ferramentas para a sua manipulação, sempre com o objetivo de produzir, econômica e eficientemente, alimentos e outros produtos necessários à subsistência da humanidade.

Diversos métodos de preparo do solo permaneceram invariáveis por longos períodos, normalmente devido a limitações relacionadas com os equipamentos, hábitos, conhecimentos e custos. Hoje, entretanto, devido à escassez de combustíveis fósseis, torna-se necessário o desenvolvimento de novas técnicas de preparo que proporcionem ao agricultor maiores vantagens econômicas, preservando-se, contudo, o solo como um recurso natural sujeito a degradações de ordem física, química e biológica.

As operações de preparo do solo são consideradas, dentro de um sistema de produção, como técnicas de grande importância na agricultura mecanizada. No entanto, essas

operações devem ser adaptadas para uma determinada cultura, visando uma distinta sequência de produção, podendo atuar como reguladoras do desenvolvimento das plantas, uma vez que, decisivamente, alteram algumas características físicas do solo, tais como: estrutura, porosidade, peso específico aparente e outras.

Um equipamento de preparo do solo utilizado em vários países e que vem sendo gradativamente introduzido no Brasil é a enxada rotativa, cuja grande vantagem está em preparar o solo para a sementeira em uma única operação. O seu uso, todavia, tem sido criticado em consequência do grande distúrbio que provoca na camada cultivada, devido à sua ação extremamente enérgica.

O emprego da enxada rotativa nas operações de preparo do solo, assim como as demais técnicas com o mesmo objetivo, apresenta vantagens e desvantagens, podendo ocasionar condições físicas adversas ao desenvolvimento das culturas, que podem ser atenuadas através de melhor utilização e regulagem do equipamento. Cumpre salientar, ainda, que cada solo ou grupo de solos similares apresentam diferentes respostas a um mesmo sistema de preparo.

Acreditando na grande aplicabilidade das enxa-das rotativas como um eficiente equipamento de preparo do solo, face à importância do problema e em virtude da pequena disponibilidade de informações sobre o assunto, conduziu-se o presente trabalho, no qual se procurou observar os efeitos de diferentes velocidades de rotação do rotor e alturas do ante-paro traseiro sobre algumas características físicas de um solo, classificado como Terra Roxa Estruturada, dando enfoque

principalmente à "soleira" formada pela ação das lâminas do equipamento e à estabilidade mecânica dos agregados do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

As operações de preparo do solo são técnicas que frequentemente permitem eficientes produções das culturas, mas que devem ser adaptadas a condições específicas, para um distinto sistema de produção.

Um grande número de máquinas e implementos agrícolas, destinados às operações de preparo do solo, foram e continuam sendo desenvolvidos. A utilização destes equipamentos tem aumentado, de forma significativa, a possibilidade de se criar condições físicas adversas no solo, as quais poderiam afetar o desenvolvimento das culturas.

Dentre estas máquinas e implementos, encontram-se as enxadas rotativas, sendo que a literatura referente ao seu emprego nas operações de preparo do solo, para várias culturas, mostra até o momento resultados conflitantes.

Segundo ADAMS e FURLONG (1959), a patente da enxada rotativa foi requerida por volta de 1850, e apenas em 1910 um modelo de sucesso foi desenvolvido na Suíça. Em 1930 esse equipamento foi introduzido nos Estados Unidos, atengin-

do grande desenvolvimento depois da II Guerra Mundial.

COOK e PEIKERT (1950) observaram que o preparo do solo com enxada rotativa atraiu grande atenção, principalmente devido à possibilidade de se preparar o terreno para a sementeira em uma única operação, ocasionando uma redução de custo e de tempo. Antes da introdução deste novo método de preparo, as operações de aração e gradagem eram de uso geral na agricultura mecanizada (KELSEY, 1946).

GREENE (1946) relatou que os aspectos mecânicos das enxadas rotativas foram constantemente melhorados, obtendo-se assim, uma ampla aplicabilidade em diferentes condições de solos. Os danos causados por obstáculos existentes sobre o terreno foram minimizados pela construção de rotores resistentes, e pelo desenvolvimento de um tipo de fricção ou embreagem de segurança, que permitia ao rotor parar quando encontrasse algum tipo de resistência ao seu movimento de rotação.

ADAMS e FURLONG (1959) afirmaram que, embora existissem vários tipos de enxadas rotativas no mercado, o desenvolvimento desses equipamentos evoluiu mais a partir de métodos de tentativa e erro, do que por análises técnicas ou experimentação quantitativa. Como consequência, poucas informações sobre as características de desempenho eram disponíveis nessa época.

COOPER (1971) considerou a existência de dois tipos de enxadas rotativas no tocante à orientação das lâminas: horizontais e verticais, sendo as primeiras de uso mais generalizado. Ainda segundo o autor, uma das grandes vantagens desse tipo de equipamento, é a de possibilitar a variação da velocidade periférica do rotor, onde se encontram as lâminas, controlando, assim, o grau de desagregação do solo.

Outra vantagem é o acionamento mecânico do rotor, não necessitando, portanto, de adição de lastros ao trator para a produção de maior força de tração. Consequentemente, o trator pode ser mais leve, implicando em menor esforço de compactação sobre o solo, redução do desgaste e do consumo de combustível.

Complementando esses estudos, COOPER (1971) observou que uma das grandes desvantagens das enxadas rotativas era a sua maior exigência em termos de potência por unidade de área trabalhada, quando comparadas com outros equipamentos de preparo. O mesmo autor, citando Soehne (1966), relatou que a enxada rotativa requer para solos arenosos e argilosos, respectivamente, 2,5 e 3,5 vezes a potência requerida pelo arado de aiveca, para uma mesma largura e profundidade de trabalho. Salientou ainda serem necessárias outras operações secundárias após a aração, o que não ocorre quando se utiliza a enxada rotativa.

Estudos relativos à potência consumida pelas enxadas rotativas foram também efetuados por ADAMS e FURLONG (1959), os quais relataram que, contrariamente à teoria, a potência no rotor não aumentava proporcionalmente com o incremento da profundidade de corte, pois dobrando-se esta profundidade, para uma dada velocidade periférica do rotor, duplicava-se o volume de terra cultivada, mas podia-se observar que a potência no rotor era aumentada cerca de 50% em relação à inicial.

Outra restrição feita às enxadas rotativas está relacionada com sua ação extremamente enérgica, quando comparadas com outros equipamentos de preparo, devido ao grande distúrbio e maior grau de desagregação provocado no solo. Este fato também foi observado por BROWNING (1950), COOPER

(1971), HENIN et alii (1976). Todavia, BROWNING (1950) observou que isto pode ser vantajoso em solos de textura argilosa, mas em solos barro-siltosos, de estrutura fraca, a tendência é formar-se uma crosta superficial após a primeira chuva, podendo a erosão tornar-se um problema bastante sério, principalmente se o terreno for inclinado. Este efeito também foi verificado por ADAMS e FURLONG (1959).

Devido a essa ação enérgica das enxadas rotativas sobre o solo, este torna-se bastante susceptível à formação de camadas adensadas logo abaixo do raio de ação das lâminas. Estas camadas foram denominadas por HENIN et alii (1976) de "soleira", e recomendaram, por esta razão, a utilização do equipamento quando o solo estivesse com um baixo teor de água. Os autores afirmaram ainda que este inconveniente induziu os fabricantes a criarem modelos possuindo menor número de peças atuantes e com menor velocidade periférica do rotor.

Toda operação de preparo do solo induz a modificações em suas características físicas e, segundo DONAHUE et alii (1977), existem três que são consideradas extremamente prejudiciais: compactação, destruição da estrutura natural e susceptibilidade do solo a erosão.

A compactação dos solos agrícolas é um problema bastante sério, que vem aumentando progressivamente devido ao uso contínuo dos mesmos. O aumento do peso específico aparente, decorrente desta compactação, pode resultar em um impedimento ao crescimento das raízes, redução da aeração e da infiltração de água e, frequentemente, como consequência, redução da produção das culturas (BRAUNACK e DEXTER, 1978). Segundo POESSE e PERDOK (1970), a compactação causada pelas operações de preparo varia com o tipo de mecanização utilizada.

BAVER (1966) considera que a compactação do solo corresponde ao aumento de seu peso específico aparente, resultante da aplicação de cargas e de pressões, implicando que o solo apresenta outro peso específico aparente antes da aplicação das forças.

A compactação do solo, segundo MARSHALL e RANEY (1960), pode levá-lo a comportar-se de uma forma completamente diferente de um solo em condições adequadas. Os autores observam que o aumento do peso específico aparente provoca uma redução da infiltração de água, obstrução das raízes e redução do conteúdo de oxigênio quando máquinas e implementos exercem grandes pressões sobre o solo, seja devido a suas cargas excessivas, ou à pequena área de contato entre estes e o solo.

BRUCE (1955) estabeleceu diferenças entre os conceitos de compactação e compactibilidade. O autor afirma que o termo compactação denota um aumento artificial do peso específico aparente do solo por meios mecânicos, e compactibilidade é utilizado para descrever a susceptibilidade do solo à compactação.

NICHOLS e REAVES (1955) e BATEMAN (1963) afirmam que a avaliação da resposta de uma cultura afetada por operações mecanizadas deve considerar quatro fatores físicos do solo, a saber: umidade, temperatura, aeração e impedância mecânica. Os autores consideram ainda que a compactação do solo pode influenciar todos estes fatores, e estes podem afetar processos químicos e biológicos relacionados ao desenvolvimento das plantas. KIEHL (1979) relatou que, de maneira geral, quanto mais elevado for o peso específico aparente do solo, maior será seu estado de compactação, menor sua estrutura.

ção e porosidade total e, conseqüentemente, maiores serão as restrições para o crescimento das plantas.

Segundo CHANCELLOR (1971), o solo possui resistência à compressão volumétrica e à deformação linear de sua estrutura, sendo que ambas aumentam, com a compactação, para um mesmo teor de água. O autor afirma ser a umidade o fator mais importante a influenciar as relações entre resistência e peso específico aparente do solo, e os solos que apresentam um mesmo valor de peso específico aparente, possuem menor resistência a um teor de água mais elevado.

Pelos relatos anteriores, torna-se evidente que as operações de preparo mecanizadas afetam algumas características físicas do solo. Dados apresentados por BRADY (1979), mostram que o cultivo intensivo de um solo de textura argilosa aumentou o peso específico aparente de suas camadas superficiais, reduzindo, de maneira apreciável, o espaço poroso total. Este fato permitiu uma elevação proporcional do volume de microporos e redução da metade do volume de macroporos , tão necessários à livre movimentação do ar. A indução destes efeitos pelo cultivo contínuo do solo também é preconizada por MEREDITH e PATRICK (1961), RUSSEL (1978) e VIEIRA (1981).

Segundo FOTH (1978), a redução da porcentagem de macroporos e o aumento da porcentagem de microporos pelo processo de compactação, durante as operações de preparo, podem ser desejáveis para um solo de textura arenosa, uma vez que este poderia reter maior quantidade de água. Relata, todavia, que em solos de textura mais fina isto não seria desejável porque reduziria a aeração e a movimentação da água.

MARSHALL e RANEY (1960), BOURGET et alii (1961) e BAVER (1966) afirmaram que a máxima compactação do solo

ocorre quando este contém um teor de água que representa uma condição ótima para a maioria das operações de preparo. BAVER (1966) acrescenta, ainda, encontrar-se esse teor de água próximo do limite de plasticidade do solo.

HENIN et alii (1976) observaram que muitas vezes as enxadas rotativas criam condições desfavoráveis para o desenvolvimento das raízes das plantas, devido à formação de "soleira". RANEY e ZINGG (1957) afirmaram que a "soleira", quando presente, é similar em textura e propriedades químicas ao material imediatamente abaixo e acima da mesma, e que a sua ocorrência no solo é frequente sob condições de mecanização excessiva. Esses autores acrescentam ainda que este tipo de camada reduz a movimentação e o armazenamento de água, afeta o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e acarreta problemas de aeração do solo.

DONAHUE et alii (1977) preconizaram que o solo preparado sempre à mesma profundidade, durante vários anos, está sujeito a desenvolver este tipo de camada adensada, sendo portanto necessário o uso de outros equipamentos para rompê-la, proporcionando melhores condições para o desenvolvimento das plantas.

É obvio que qualquer equipamento de preparo do solo pode induzir à formação de "soleiras". FOTH (1978) verificou que frequentemente ocorre compactação no fundo de sulco do arado, produzindo uma camada de elevado peso específico aparente, cujo termo apropriado é "soleira do arado". O autor relata a ocorrência de valores de peso específico aparente maiores que $1,9 \text{ g/cm}^3$, em solos planos no sudeste dos Estados Unidos da América, onde observou uma inibição ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas de algodão quando o peso

específico aparente do solo excedeu a $1,6 \text{ g/cm}^3$.

NEGOVELOV e UNGURYAN (1977), pesquisando as variações do peso específico aparente de um solo arado, de textura argilosa, relataram a existência de uma barreira à penetração da água à profundidade de 30 a 40 cm, apresentando um peso específico aparente de $1,6 \text{ g/cm}^3$.

MCKYES et alii (1979) afirmaram que o uso de subsoladores revela-se o método mais adequado para romper camadas adensadas, proporcionando condições para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas em sub-solos densos.

Atualmente, prevendo problemas com camadas adensadas, algumas firmas estão adaptando às enxadas rotativas pequenos subsoladores em sua parte posterior.

Revisando as relações existentes entre o espaço poroso do solo ocupado pelo ar e pela água, VOMOCIL e FLOCKER (1961) relataram que um pequeno movimento de ar ocorre quando a porosidade de aeração é reduzida para 10%. Esta porcentagem foi considerada por BATEMAN (1963) como o nível de restrição ao normal desenvolvimento do sistema radicular da cultura de milho. Resultados estes corroborados por GRABLE (1971), o qual ainda afirmou que a difusividade do ar no solo aumenta proporcionalmente com a porosidade de aeração, conforme a expressão: $D = P^{10/3}$, no intervalo entre 10 e 40% de porosidade.

Durante 7 anos, BAKERMANS e WIT (1970) verificaram a possibilidade de agricultura em solos de textura argilo-arenosa, cujos tratamentos variaram desde cultivo convencional até semeadura direta, utilizando diferentes culturas. Os autores observam que a camada arada de 20 cm de profundidade era distintamente caracterizada pela alta densidade de raízes presentes, visto que no tratamento com semeadura direta a

maior densidade de raízes restringia-se aos primeiros 8 cm de solo.

BENEZ et alii (1979) pesquisaram o efeito do tipo de preparo do solo no desenvolvimento do sistema radicular da soja em dois tipos de solos distintos, verificando que os tratamentos que propiciaram maiores pesos secos de raízes no Latossolo Vermelho Escuro fase arenosa foram, em ordem decrescente: enxada rotativa, 1 aração e 2 gradagens, 2 gradagens e semeadura direta. Na Terra Roxa Estruturada foram : 1 aração e 2 gradagens, enxada rotativa, semeadura direta e 2 gradagens.

KOLESNIKOV (1971) afirma que a compactação do solo é prejudicial ao desenvolvimento do sistema radicular de culturas perenes, efeito este também confirmado para culturas anuais por STIBBE e ARIEL (1970) e CANNELL (1977).

BACCHI (1976), utilizando 6 tratamentos, onde 5 foram representados por modificações artificiais do peso específico aparente de um Latossolo Roxo, procurou simular diferentes condições que poderiam ocorrer em um perfil compactado pela ação de máquinas agrícolas. O autor concluiu serem as camadas compactadas de sub-superfície mais prejudiciais ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas de cana-de-açúcar do que perfis homogêneos, com elevado peso específico aparente.

Comparando o cultivo convencional, semeadura direta e outros sistemas de manejo, em um Podzólico Vermelho Amarelo, na cultura de soja, VEIGA (1975) concluiu que havia uma estreita relação entre o peso específico aparente do solo

e produção de raízes com o peso da parte aérea das plantas.

Trabalhando durante 5 anos em solo de classe textural barro-siltosa, KUZNETSOVA (1978) observou que o peso específico aparente da camada de 25 a 30 cm de profundidade variava de 1,31 a 1,69 g/cm³ após a aração, e em alguns locais constatou valores de 1,74 g/cm³. O autor afirmou que a penetração do sistema radicular das plantas de trigo estavam sendo seriamente afetado por estas camadas compactadas.

WILLIAMS (1977) pesquisando em solo de classe textural argilo-arenosa, com culturas anuais e pastagens por mais de 100 anos, verificou a ocorrência de camadas compactadas ou "soleiras" produzidas pelos equipamentos de preparo que apresentavam peso específico aparente maiores que 1,8 g/cm³, impedindo a penetração das raízes das plantas.

O preparo do solo com enxada rotativa tem sido frequentemente investigado na União Soviética. No período 1969 a 1973, ZABASHTANSKIY e BRASILEVSKIY (1975), compararam os efeitos desse tipo de preparo com aquele realizado pelo arado de aiveca, após o que concluíram que a considerável pulverização do solo de textura barro-siltosa, pelo equipamento, resultou em uma elevada compactação.

Pesquisando em solo de classe textural barro-argilosa, ECK e DAVIS (1971) observaram que no tratamento de preparo com enxada rotativa a penetração das raízes de soja, beterraba açucareira e outras culturas, foi bloqueada, sugerindo que este efeito poderia estar relacionado com o aumento do peso específico aparente do solo.

Conduzindo experimento comparativo em solo de textura argilosa, MCKYES et alii (1979) utilizaram diferentes tratamentos de preparo, inclusive enxada rotativa, concluindo

que uma variação de $0,1 \text{ g/cm}^3$ no peso específico aparente do solo, acima ou abaixo do valor ótimo de $1,2 \text{ g/cm}^3$, reduziu a produção da cultura de milho para silagens em até 30%.

Tentando averiguar o efeito do tipo de preparo do solo na produção da cultura de soja, GAMERO et alii (1979) observaram que não houve diferenças significativas dos tratamentos com enxada rotativa, 2 gradagens, semeadura direta, e 1 aração e 2 gradagens nos dois tipos de solos estudados: Latossolo Vermelho Escuro fase arenosa e Terra Roxa Estruturada. Este fato também foi observado por MARQUES e BERTONI (1961).

Verificando o efeito de sistemas de cultivo reduzido e convencional na alteração de algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Roxo, MACHADO (1976) obteve uma variação significativa, ao nível de 1% de probabilidade, nos valores de peso específico aparente da camada de 0-15 cm de profundidade, indicando um alto grau de compactação do solo submetido ao sistema de cultivo convencional.

BENEZ (1980) pesquisou diferentes tipos de preparo do solo que constaram de: 1 aração e 2 gradagens, 1 aração, e semeadura direta, para a cultura de milho em Terra Roxa Estruturada, tendo verificado que os mesmos induziram a uma diminuição significativa do peso específico aparente do solo na camada arável. Todavia, não mostraram diferenças significativas entre si por ocasião da colheita. Resultados semelhantes foram obtidos por ORTOLANI (1977).

A resistência do solo à penetração de um instrumento é um índice integrado pelo grau de compactação, teor de água, textura e tipo de mineral de argila, isto é, um índice de resistência do solo nas condições da medida, (BAVER,

1966). O autor afirma que o penetrômetro é um instrumento bastante útil para a obtenção de informações sobre a resistência e compactação do solo, devendo-se levar em conta a natureza mista dos efeitos medidos.

CHANCELLOR (1971) afirma que os penetrômetros são frequentemente utilizados para a obtenção de avaliações paramétricas do grau de compactação e densidade do solo e, segundo ~~OUWERKERK~~ e BOONE (1970) e WHITELEY e DEXTER (1981), são instrumentos usuais na identificação de horizontes de restrição à penetração das raízes das plantas.

Considerando que o teste de penetração pode ser conduzido rapidamente, numerosas leituras devem ser efetuadas, obtendo-se vários pontos dentro da área de interesse, de maneira que um valor médio possa ser especificado para uma profundidade ou camada particular dentro da massa do solo (FREITAG, 1971). VOMOCIL (1957) afirma que os valores de peso específico aparente, quando comparados com as medidas do penetrômetro, são mais rapidamente interpretáveis como uma característica física do solo que pode afetar o desenvolvimento ~~das~~ plantas.

BOONE e KUIPERS (1970) sugerem algumas perguntas importantes a serem respondidas: que resistência poderá ser encontrada pelas raízes das plantas? Esta resistência é sempre maior em um solo de elevado peso específico aparente? Que forças devem ser exercidas pelas raízes das plantas para penetrar neste solo? TAYLOR et alii (1966) mediram a resistência da camada superior do solo com penetrômetro e consideraram que o valor crítico para o desenvolvimento de uma cultura está entre 20 e 31 kg/cm², apesar de existirem diferenças consideráveis entre espécies e variedades de plantas.

Os penetrômetros têm sido freqüentemente utilizados pelos pesquisadores para a identificação no solo de camadas de restrição ao crescimento das plantas. GOODERHAN (1976), pesquisando em solo de classe textural argilo-siltosa, verificou a ocorrência de camadas compactadas nos tratamentos onde foi efetuada aração e preparo com enxada rotativa do solo úmido, restritas principalmente à camada superficial de 0 a 8 cm, embora as leituras do penetrômetro indicassem um aumento de resistência mecânica no solo até a profundidade de 30 cm.

WARNAARS e EAVIS (1972) observaram que a resistência oferecida pelo solo aos penetrômetros, e, portanto, à impedância mecânica, aumentava com a diminuição do teor de água do solo.

Pesquisando o sistema radicular de mudas de ervilha em solo de classe textural barro-arenosa, cujo peso específico aparente variou de 1,10 a 1,61 g/cm³, EAVIS (1972) observou existir uma relação inversa entre impedância mecânica e comprimento das raízes e, contrariamente, o diâmetro das raízes era diretamente proporcional à impedância mecânica.

Um dos principais objetivos das operações de preparo do solo é o de levá-lo a uma condição física favorável ao desenvolvimento das plantas, sendo a estrutura do solo o objetivo central da pesquisa de preparo em um grande número de trabalhos da literatura (KUIPERS, 1970). Segundo PAGE et alii (1946), a operação de preparo deve fragmentar o solo de maneira que os agregados naturais sejam separados sem serem destruídos, e acrescentam que os cultivos subsequentes podem tornar-se prejudiciais, devido à destruição dos agregados naturais. Os autores recomendam, para solos de baixa estabili-

lidade estrutural, um mínimo de mobilização mecânica possível.

BAVER (1966) relata que a estabilidade estrutural significa a resistência dos agregados do solo às forças de desintegração da água e manipulação mecânica, e que a estabilidade dos agregados é de máxima importância na formação e conservação de boas condições estruturais no solo.

Segundo MARSHALL e RANEY (1960), a modificação da estrutura do solo na zona cultivada pode resultar na formação de uma crosta superficial e no desenvolvimento de camadas compactadas logo abaixo dos órgãos ativos dos equipamentos utilizados nas operações de preparo.

As operações de preparo promovem temporariamente uma maior aeração do solo e controle de ervas daninhas, mas sob cultivo contínuo leva a uma destruição de sua estrutura natural, o que eventualmente concorre para uma redução da porosidade de aeração (DONAHUE et alii, 1977).

NICHOLS e REAVES (1955) afirmam existir uma estreita relação entre o peso específico aparente do solo oriundo da aplicação de várias pressões, e tamanho de agregados. Segundo estes autores, o peso específico aparente aumenta com a diminuição do tamanho dos agregados.

Analisando amostras obtidas nos horizontes Ap de solos das séries Bairrinho e Iracema do Município de Piraicaba, MARCOS (1968) concluiu que o aumento do grau de agregação elevou a porosidade de aeração destes solos. Efeito semelhante foi obtido por MACHADO (1976), pesquisando vários sistemas de manejo em um Latossolo Roxo.

WEAVER (1950) relatou que o longo uso e manipulação de um solo franco-argilo-arenoso, com cultura de algodo inteiramente mecanizada, resultou em uma completa modifi-

cação de sua estrutura natural. Também BEZERRA (1978), procurando fazer uma avaliação comparativa dos efeitos de quatro sistemas de manejo do solo, sobre algumas propriedades físicas e químicas de um Podzólico Vermelho Amarelo câmbico, observou um efeito desagregante dos sistemas de manejo sobre a estrutura do solo, sendo que os empregos de arado de discos e de grade pesada induziram maior redução do tamanho dos agregados que os sistemas com arado de aiveca e semeadura direta.

Estudando o efeito da umidade, inclinação do disco e velocidade de aração sobre algumas características físicas de um Latossolo Roxo, SOUSA (1980) observou que a combinação do maior ângulo de inclinação com menor velocidade de deslocamento e maior ângulo de inclinação com maior teor de água, além da associação do menor ângulo com maior velocidade, exercia um efeito negativo sobre a estabilidade dos agregados do solo.

Pesquisando o sistema de preparo com enxada rotativa em solo de textura barro-siltosa, PAGE et alii (1946) observaram que a fragmentação do solo por este equipamento produziu uma pseudo-estrutura, com aspecto de ser a melhor para a cultura de milho. Estes fragmentos apresentaram, porém, uma baixa estabilidade estrutural e os agregados naturais eram pouco resistentes a uma ação mecânica vigorosa.

ADAMS e FURLONG (1959) observaram que a elevada velocidade periférica do rotor das enxadas rotativas é uma das causas para a marcante fragmentação da massa do solo. Outra possível explicação para este fato, segundo os autores, é que, devido à alta velocidade de rotação, maior quantidade de solo é recirculada dentro do volume de ação do rotor, resultando em elevado número de ciclos cortantes para uma dada fatia de solo.

As enxadas rotativas também apresentam um anteparo traseiro de altura regulável que, além da função de proteção, faz variar o tamanho dos fragmentos de solo quando está abaixada. Devido à elevada rotação do rotor, o solo cortado pelas lâminas é arremessado contra o anteparo, havendo choque e fragmentação adicional (GALETI, 1981). Segundo FROST (1966), o anteparo traseiro também promove o nivelamento do solo preparado pelo equipamento.

COOPER (1971) considera que o grau de fragmentação do solo, pela enxada rotativa, depende da velocidade periférica do rotor, da velocidade do trator, da forma e arranjo das lâminas e da regulagem do anteparo traseiro.

Pesquisando ferramentas rotativas em condições de laboratório, utilizando tanque de solo, HENDRICK (1980) concluiu que o aumento da velocidade periférica proporcionava uma maior desintegração, provocando considerável distúrbio na superfície do solo.

Segundo MIALHE (1969), muitos fracassos têm ocorrido em virtude da falta de melhor conhecimento das características operacionais das enxadas rotativas, e que por serem, do ponto de vista de sua constituição mecânica, extremamente simples, têm sido analisadas superficialmente. O autor acrescenta ainda que, isso serve para explicar a maioria dos casos de insucesso ocorridos entre nós.

HENIN et alii (1976) sugerem que as enxadas rotativas, assim como todos os equipamentos de preparo do solo, devem ser utilizadas dentro de um programa de produção. Acrescenta ainda que a sua considerável eficácia torna o seu emprego tentador para o agricultor, que acredita ser necessário um solo extremamente pulverizado. Salientam, entretanto, que

essa facilidade faz-se acompanhar de inconvenientes contra os quais é necessário tomar precauções, a fim de se evitar um efeito negativo para o desenvolvimento das plantas e/ou uma degradação progressiva da estrutura do solo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

3.1.1. Campo experimental

O presente trabalho foi conduzido na Estação Experimental "Presidente Médici", da Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Botucatu, Estado de São Paulo.

O campo experimental foi definido pelas seguintes coordenadas geográficas: $48^{\circ}25'30''$ Longitude Oeste e $22^{\circ}50'21''$ Latitude Sul; apresentando altitude média de 790 metros.

3.1.2. Solo

O solo do local foi classificado por SOUZA (1973), como Terra Roxa Estruturada Unidade Lageado, apresen-

tando boa drenagem e relevo suavemente ondulado.

A descrição morfológica dos horizontes superficiais do perfil é apresentada a seguir:

Ap 0 - 8 cm; vermelho (2,5 YR 4/6) seco, vermelho escuro (2,5 YR 3/6) úmido; argila; granular, pequena, média; ligeiramente duro, friável, plástico, pegajoso; raízes finas e médias, abundantes; limite suave, gradual.

B₂₁ 8 - 30 cm; vermelho (2,5 YR 3/6) seco, vermelho escuro (2,5 YR 3/4) úmido; argila; blocos subangulares, médio, fraco; ligeiramente duro, friável, plástico, pegajoso; raízes finas e médias, abundantes; limite suave, gradual; cerosidade pouca.

A classificação dos separados do solo, segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA), assim como outras características e propriedades físicas são apresentadas na Tabela 1.

3.1.3. Trator e enxada rotativa

O trator utilizado para acoplamento e acionamento da enxada rotativa, foi da marca CBT, modelo 2070, com motor de marca Perkins, de potência ao freio disponível no volante do motor de 61 cv a 2.000 rpm e torque máximo de 23,4 mkgf a 1.300 rpm, com 6 velocidades à frente e 2 à ré, e peso máximo sem lastro de 2.925 quilogramas.

A mobilização do solo foi efetuada com enxada

TABELA 1 - Características e propriedades físicas do solo
classe textural argila à profundidade de 0-20 cm.

Separados do solo	Escala (USDA)	%
Areia muito grossa	(2 - 1 mm)	-
Areia grossa	(1 - 0,5 mm)	1,10
Areia média	(0,5 - 0,25 mm)	7,20
Areia fina	(0,25 - 0,10 mm)	15,60
Areia muito fina	(0,10 - 0,05 mm)	6,80
Areia total		30,70
Silte	(0,05 - 0,002 mm)	26,30
Argila	(< 0,002 mm)	43,00
Ensaio de Proctor		
Umidade ótima (%)		23,49
Peso específico aparente seco máximo (g/cm ³)		1,68
Índice de vazios		0,69
Grau de saturação (%)		96,68
Limites de consistência		
		%
Limite de liquidez (LL)		39,09
Limite de plasticidade (LP)		28,90
Índice de plasticidade (IP)		10,19
Peso específico		
		g/cm ³
Peso específico dos sólidos		2,84
Peso específico aparente seco		1,38

rotativa tipo rotavator, marca FNI, modelo E 50, com 127 cm de largura útil de trabalho, 157 cm de largura total e 445 quilogramas de peso, acoplada ao engate três pontos e acionada pela tomada de potência do trator já descrito. O rotor constituído por 6 flanges, apresentava em cada uma 3 lâminas di-reitas e 3 esquerdas, exceto nas extremidades, onde cada flange continha apenas 3 lâminas, como é mostrado na Figura 1.

FIGURA 1 - Enxada rotativa utilizada para a mobilização do solo, mostrando detalhes do rotor e do anteparo tra-seiro.

3.1.4. Penetrômetro de anel

Para medir a resistência do solo à penetração foi utilizado um penetrômetro de anel, modelo CN-970, fabricado pela Soiltest.

Este instrumento é constituído de uma haste de penetração de 45,72 cm, um anel com capacidade de suporte de 113,4 quilogramas, um indicador da força aplicada e uma ponta removível, cuja área da base e do cone medem respectivamente 6,342 e 24,685 cm² (Figura 2).

3.1.5. Penetrômetro de bolso

Este aparelho é bastante útil para a avaliação da resistência à compressão simples não confinada de solos coesivos, sendo bastante simples e de fácil manejo. O modelo utilizado foi o CL-700, fabricado pela Soiltest, o qual fornece leituras diretamente em quilograma por centímetro quadrado, através de uma escala impressa no próprio aparelho, quando o mesmo é pressionado sobre o solo até a marca de referência localizada a 0,635 cm de sua extremidade. Um anel indicador aponta automaticamente a leitura da máxima carga aplicada relativa à penetração, até a marca de calibração (Figura 2).

As leituras obtidas estão altamente correlacionadas com a consistência dos solos.

3.1.6. "Eley Volumeter"

Para a obtenção de amostras de solo com estrutura natural indeformada, em condições de campo, foi utilizado o aparelho "Eley Volumeter", fabricado pela Soiltest. A partir dessas amostras calculou-se os valores de peso específico aparente do solo.

Este aparelho, mostrado na Figura 2, é constituído de um cilindro de aço inoxidável, com bordos cortantes, cuja secção transversal apresenta uma área de $6,15 \text{ cm}^2$, e em seu interior, um pistão preso a uma haste graduada provida de rosca, que permite leituras precisas de volumes de $0-30 \text{ cm}^3$.

3.1.7. Outros materiais

No decorrer dos trabalhos de campo e de laboratório, foram utilizados, além dos já citados, os seguintes materiais: molde cilíndrico, soquete e extrator de corpos de prova para realização do ensaio normal de compactação (ensaio de Proctor); aparelho de Casagrande para a obtenção do limite de liquidez; peneirador automático e jogo de peneiras empregado na análise granulométrica e para a determinação do módulo de finura e porcentagem de agregados acumulada em peneira nº 60; bomba de vácuo; densímetros; picnômetros; termômetros; estufas; balanças; aquecedor de banho maria elétrico com termotato; recipiente para amostras; vidraria; cronômetro e tacômetro.

FIGURA 2 - Penetrômetro de anel (1); penetrômetro de bolso (2) e "Eley Volumeter" (3).

3.2. Métodos

3.2.1. Delineamento experimental

O experimento foi constituído por 9 tratamentos, mais a testemunha, delineados em blocos casualizados, com 4 repetições, proporcionando um total de 40 parcelas, conforme pode ser observado na Figura 3.

As parcelas preparadas foram designadas por R1 P1; R1 P2; R1 P3; R2 P1; R2 P2; R2 P3; R3 P1; R3 P2 e R3 P3, onde R1, R2 e R3 representaram as velocidades em rotações por minuto (rpm) do rotor, e foram respectivamente: 122,36; 172,74 e 217,52 rpm e, P1, P2 e P3 as alturas do anteparo tra-seiro, cujos ângulos formados com a normal à superfície do terreno foram na ordem anteriormente mencionada 108° , 69° e 40° , os quais são mostrados na Figura 4.

A rotação do rotor foi determinada através da seguinte fórmula:

$$V_r = V_t \cdot \frac{E_1}{E_2} \cdot 0,3$$

onde: V_r = rotação do rotor (rpm)

V_t = rotação da tomada de potência do trator (rpm)

E_1 = número de dentes da engrenagem motora

E_2 = número de dentes da engrenagem movida

0,3 = fator de correção (relação de transmissão)

Determinou-se a rotação da tomada de potência do trator (V_t) com tacômetro, fixando-se no motor 1.800 rpm.

Em todas as parcelas foi utilizada a mesma velocidade de operação de 4,26 km/h em 1ª marcha reduzida, e mesma profundidade de mobilização do solo de 15 cm.

1	R3	P3
2	R2	P1
3	R2	P3
4	R1	P1
5	R1	P2
6	R3	P2
7	T	
8	R2	P2
9	R1	P3
10	R3	P1
11	R3	P3
12	R2	P2
13	R3	P1
14	R1	P1
15	T	
16	R1	P3
17	R1	P2
18	R2	P1
19	R3	P2
20	R2	P3
21	R1	P1
22	R1	P3
23	R1	P2
24	R2	P3
25	R3	P2
26	R3	P1
27	R2	P1
28	R3	P3
29	R2	P2
30	T	
31	R1	P2
32	R2	P1
33	R1	P1
34	T	
35	R3	P3
36	R3	P2
37	R3	P1
38	R2	P3
39	R2	P2
40	R1	P3

20 m.

2m

- R1 - Rotação mínima do rotor (122,36 rpm)
 R2 - Rotação média do rotor (172,74 rpm)
 R3 - Rotação máxima do rotor (217,52 rpm)
 P1 - Anteparo traseiro totalmente levantado (108°)
 P2 - Anteparo traseiro à média altura (69°)
 P3 - Anteparo traseiro totalmente abaixado (40°)
 T - Testemunha

FIGURA 3 - Instalação do ensaio no campo, segundo o delineamento experimental

FIGURA 4 - Ângulos formados pelo anteparo traseiro com a normal a superfície do terreno ($P_1 = 108^\circ$; $P_2 = 69^\circ$ e $P_3 = 40^\circ$).

3.2.2. Determinação do peso específico aparente seco do solo

Foram utilizados dois métodos para a determinação do peso específico aparente seco da camada do solo imediatamente abaixo do raio de ação das lâminas da enxada rotativa,

a qual doravante será designada de "soleira".

O primeiro método foi o do torrão impermeabilizado com parafina, sendo que, as amostras utilizadas foram coletadas na "soleira" a profundidade de 2 a 3 cm.

No segundo método utilizou-se amostras com 20 cm³ de volume coletadas também na "soleira" a profundidade de 3 a 3,5 cm com o aparelho "Eley Volumeter" as quais foram secas em laboratório utilizando-se estufa à temperatura de 110°C. Em ambos os métodos, de posse dos valores de peso seco e volume das amostras de solo, calculou-se o peso específico aparente seco, com 4 repetições para cada parcela. No tratamento testemunha todas determinações foram realizadas a 15 cm de profundidade.

3.2.3. Determinação do peso específico dos sólidos do solo

Para a determinação desta característica do solo, o procedimento do ensaio utilizado foi aquele descrito por NOGUEIRA (1973) para solos coesivos, onde primeiramente calibraram-se os picnômetros com água destilada à diferentes temperaturas e posteriormente determinou-se o volume de sólidos de uma amostra que passou em peneira nº 10 (2,0 mm).

3.2.4. Determinação do peso específico natural do solo

Os valores do peso específico natural do solo foram obtidos, dividindo-se o peso do solo nas condições de umidade no campo pelo volume da amostra coletada com o aparelho "Eley Volumeter".

3.2.5. Determinação da umidade do solo

Em cada parcela do experimento foram coletadas 3 amostras a profundidade de 0-15 cm para a determinação do teor de água do solo, imediatamente após a passagem da enxada rotativa. Estas amostras foram coletadas na lateral do solo não mobilizado, optando-se pelo método de determinação gravimétrico padrão, com base no peso do solo seco em estufa à temperatura de 105-110°C até peso constante.

3.2.6. Determinação do índice de vazios, porosidade total e grau de saturação do solo

Uma vez obtidos os valores do peso específico aparente seco (γ_o), utilizando o aparelho "Eley Volumeter", do peso específico dos sólidos (γ_s) e da umidade natural (W), foram calculados os valores do índice de vazios (e), da porosidade total (n) e do grau de saturação (S) através de fórmulas desenvolvidas na teoria de mecânica dos solos, como segue:

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_o} - 1 \qquad n = \frac{\gamma_s - \gamma_o}{\gamma_s} \cdot 100 \qquad S = \frac{W \cdot \gamma_s}{e \cdot \gamma_a} \cdot 100$$

No cálculo do grau de saturação do solo, o peso específico da água (γ_a) foi adotado como constante e igual a 1 g/cm³.

3.2.7. Determinação da resistência do solo a penetração

Para a determinação da resistência do solo a penetração foi utilizado um penetrômetro de anel, sendo efetuadas de 5 a 10 leituras de resistência para cada parcela. Estas leituras foram realizadas após aplicação de força manual, até que toda a ponta cônica do aparelho penetrasse na "soleira". Os valores assim obtidos foram levados ao gráfico de calibração do aparelho obtendo-se a resistência do solo a penetração em libras por polegada quadrada, unidade esta que foi convertida para quilograma por centímetro quadrado.

3.2.8. Determinação da resistência do solo a compressão simples não confinada

Determinou-se a resistência do solo a compressão simples não confinada com penetrômetro de bolso, tendo sido efetuadas de 5 a 10 leituras por parcela. Estas leituras foram realizadas diretamente em quilograma por centímetro quadrado, quando se pressionava o corpo do penetrômetro contra a "soleira", até atingir a marca de referência localizada a 0,635 cm de sua extremidade.

3.2.9. Peneiramento a seco do solo

O peneiramento a seco foi realizado para determinar a distribuição em tamanho e a estabilidade mecânica dos agregados do solo, segundo o método preconizado por CHEPIL

(1962). A resistência dos agregados do solo à demolição mecânica pode ser verificada através dos valores da porcentagem acumulada de agregados em peneira número 60 (0,25 mm), que segundo Tiulin, citado por BAVER (1966), é a fração responsável pela estabilidade estrutural do solo e, pelo módulo de finura o qual possibilita uma avaliação e comparação do efeito dos tratamentos sobre a agregação.

Em cada parcela do ensaio, foi coletada uma amostra de solo de aproximadamente 1,5 quilograma, a qual em laboratório foi seca ao ar e passada em peneira número 4 (4,76 mm). Deste solo, assim preparado, foram tomadas 3 sub-amostras para a determinação do teor de água pelo método gravimétrico padrão e, uma sub-amostra de 200 gramas que foi passada num jogo de peneiras, cujas malhas variaram na seguinte ordem decrescente: 2,00 mm; 1,00 mm; 0,50 mm; 0,25 mm; 0,105 mm e 0,053 mm; respectivamente, peneira número 10; 18; 35; 60; 140 e 270. Durante 10 minutos foi efetuado o peneiramento em peneirador automático, regulado para 50 vibrações por minuto. Findo este tempo, o solo retido em cada peneira foi pesado acumulativamente, eliminando-se a fração que passou através da peneira número 270 (0,053 mm).

Após a recomposição da amostra, efetuou-se o segundo peneiramento, seguindo-se a mesma metodologia anteriormente descrita. Mais uma vez recompos-se a amostra realizando-se o terceiro peneiramento.

O módulo de finura foi obtido somando-se todas as porcentagens acumuladas de agregados nas peneiras e dividindo-se por 100, enquanto que a porcentagem acumulada de agregados em peneira número 60 (0,25 mm) foi obtida diretamente das fichas de laboratório.

3.2.10. Análise granulométrica do solo

A análise granulométrica do solo foi realizada pelo método de sedimentação e peneiramento, conforme o Método Brasileiro MB-32, padronizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

3.2.11. Ensaio de compactação do solo

A curva de compactação do solo foi determinada através do ensaio de Proctor normal, padronizado pela ABNT, como Método Brasileiro MB-33. Da curva obtida tirou-se o valor do peso específico aparente seco máximo e da umidade correspondente, denominada umidade ótima, calculando-se a seguir os valores do índice de vazios e do grau de saturação.

3.2.12. Determinação dos limites de consistência do solo

Para a determinação do limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (IP) do solo foram usados respectivamente os métodos MB-30 e MB-31, padronizados pela ABNT.

O valor do índice de plasticidade (IP) foi obtido através da seguinte equação:

$$IP = LL - LP$$

3.2.13. Análise estatística

Foi realizada análise de variância para todos os dados obtidos, exceto para a porcentagem acumulada de agregados em peneira número 60 (0,25 mm) e módulo de finura, aplicando-se o teste de Tukey para comparar os resultados entre tratamentos, e entre os tratamentos e a testemunha, segundo GOMES (1966).

Em virtude da natureza dos dados de porcentagem acumulada de agregados em peneira número 60 e do módulo de finura, aplicou-se aos mesmos uma análise estatística não paramétrica (teste de Friedman) que, segundo CAMPOS (1976), pode ser considerada um teste F, substituto das análises paramétricas de delineamentos de blocos ao acaso. No apêndice encontra-se a tabela que contém os níveis mínimos de significância estatística aplicados a estes dois parâmetros.

4. RESULTADOS

Os valores do peso específico aparente seco , da camada do solo imediatamente abaixo do raio de ação das lâminas da enxada rotativa ou "soleira", são apresentados na Tabela 2, sendo cada valor correspondente a média de 4 repetições por parcela.

Na Tabela 3 encontram-se os valores do peso específico aparente seco e do peso específico natural do solo , da mesma camada anteriormente mencionada, calculados a partir dos dados obtidos com o aparelho "Eley Volumeter", sendo que também foram realizados 4 amostragens por parcela.

Os valores dos teores de água do solo, calculados pelo método gravimétrico padrão, sendo cada valor correspondente a média de 3 repetições, encontram-se na Tabela 4. Nesta mesma tabela foram inseridos os valores do grau de saturação do solo da "soleira", calculados a partir dos dados obtidos com o aparelho "Eley Volumeter".

A Tabela 5 mostra os valores da porosidade total e do índice de vazios do solo da "soleira", calculados

também a partir dos dados obtidos com o aparelho "Eley Volumeter".

Os valores da resistência a penetração e da resistência a compressão simples não confinada do solo, obtidos, respectivamente, com penetrômetro de anel e penetrômetro de bolso, são apresentados na Tabela 6.

Nas Tabelas 7 e 8 são apresentados, respectivamente, os valores de porcentagem acumulada de agregados em peneira número 60 (0,25 mm) e do módulo de finura dos agregados, obtidos através do peneiramento a seco.

TABELA 2 - Valores do peso específico aparente seco do solo da "soleira", calculados pelo método do torrão impermeabilizado.

Trata- mentos	Peso específico aparente seco (g/cm^3)			
	r e p e t i ç õ e s			
	1	2	3	4
R1 P1	1,46	1,42	1,42	1,46
R1 P2	1,49	1,53	1,54	1,48
R1 P3	1,44	1,46	1,44	1,46
R2 P1	1,47	1,47	1,55	1,45
R2 P2	1,42	1,42	1,50	1,53
R2 P3	1,44	1,50	1,52	1,44
R3 P1	1,48	1,50	1,55	1,49
R3 P2	1,46	1,48	1,56	1,46
R3 P3	1,45	1,43	1,48	1,45
T	1,39	1,37	1,40	1,44

TABELA 3 - Valores do peso específico aparente seco e do peso específico natural do solo da "soleira", calculados a partir dos dados obtidos com o aparelho "Eley Volumeter".

Tratamentos	Peso específico aparente seco (g/cm^3)				Peso específico natural (g/cm^3)			
	r e p e t i ç õ e s				r e p e t i ç õ e s			
	1	2	3	4	1	2	3	4
R1 P1	1,56	1,60	1,56	1,55	1,93	1,90	1,87	1,87
R1 P2	1,62	1,58	1,53	1,64	1,95	1,91	1,83	1,93
R1 P3	1,58	1,53	1,60	1,51	1,88	1,80	1,91	1,88
R2 P1	1,55	1,51	1,62	1,52	1,82	1,79	1,93	1,82
R2 P2	1,54	1,62	1,58	1,55	1,82	1,97	1,87	1,90
R2 P3	1,58	1,60	1,65	1,55	1,91	1,88	1,97	1,90
R3 P1	1,55	1,60	1,64	1,61	1,85	1,87	1,96	1,96
R3 P2	1,57	1,61	1,64	1,53	1,87	1,91	1,97	1,87
R3 P3	1,56	1,58	1,57	1,53	1,89	1,89	1,87	1,86
T	1,53	1,47	1,46	1,51	1,82	1,76	1,70	1,79

TABELA 4 - Valores do teor de água da camada do solo mobilizada, determinados pelo método gravimétrico padrão e do grau de saturação do solo da "soleira", calculados a partir dos dados obtidos com o aparelho "Eley Volumeter".

Tratamentos	Umidade (%)				Grau de saturação (%)			
	r e p e t i ç õ e s				r e p e t i ç õ e s			
	1	2	3	4	1	2	3	4
R1 P1	19,37	17,35	18,55	19,18	67,09	63,17	64,25	65,63
R1 P2	17,82	18,40	16,32	22,10	67,48	65,32	53,89	85,98
R1 P3	18,95	16,27	18,58	22,15	67,27	53,73	67,65	71,48
R2 P1	23,17	21,51	19,71	20,41	79,28	69,42	74,64	66,63
R2 P2	16,57	20,44	18,02	22,92	56,02	77,40	63,97	78,43
R2 P3	20,48	17,17	16,37	23,90	72,70	62,52	64,57	81,78
R3 P1	17,78	19,91	20,24	21,98	60,84	72,49	78,74	82,14
R3 P2	20,38	18,75	21,48	24,23	71,46	70,07	83,57	80,02
R3 P3	22,75	18,67	18,81	21,16	78,79	66,28	65,95	69,88
T	18,43	16,99	21,15	22,28	60,86	51,88	63,23	71,90

TABELA 5 - Valores da porosidade total e do índice de vazios do solo da "soleira", calculados a partir dos dados obtidos com o aparelho "Eley Volumeter".

Tratamentos	Porosidade total (%)				Índice de vazios			
	r e p e t i ç õ e s				r e p e t i ç õ e s			
	1	2	3	4	1	2	3	4
R1 P1	45,07	43,66	45,07	45,42	0,82	0,78	0,82	0,83
R1 P2	42,96	44,37	46,13	42,25	0,75	0,80	0,86	0,73
R1 P3	44,37	46,13	43,66	46,83	0,80	0,86	0,78	0,88
R2 P1	45,42	46,83	42,96	46,48	0,83	0,88	0,75	0,87
R2 P2	45,77	42,96	44,37	45,42	0,84	0,75	0,80	0,83
R2 P3	44,37	43,66	41,90	45,42	0,80	0,78	0,72	0,83
R3 P1	45,42	43,66	42,25	43,31	0,83	0,78	0,73	0,76
R3 P2	44,72	43,31	42,25	46,13	0,81	0,76	0,73	0,82
R3 P3	45,07	44,37	44,72	46,13	0,82	0,80	0,81	0,86
T	46,13	48,24	48,59	46,83	0,86	0,93	0,95	0,88

TABELA 6 - Valores da resistência a penetração e da resistência a compressão simples não confinada do solo da "soleira", obtidos, respectivamente, com penetômetro de anel e penetômetro de bolso.

Tratamentos	Resistência a penetração (kg/cm ²)				Resistência a compressão simples não confinada (kg/cm ²)			
	r e p e t i ç õ e s				r e p e t i ç õ e s			
	1	2	3	4	1	2	3	4
R1 P1	12,23	10,40	9,56	10,33	3,62	3,22	3,25	3,37
R1 P2	13,92	11,81	9,42	10,33	3,59	3,69	2,80	3,40
R1 P3	9,98	9,84	8,93	10,12	3,71	3,50	3,18	2,86
R2 P1	9,28	9,63	11,60	10,40	3,03	3,22	3,61	3,33
R2 P2	9,35	11,04	9,77	10,05	3,06	3,60	3,28	3,24
R2 P3	12,79	10,40	11,67	11,39	3,22	3,13	3,16	3,52
R3 P1	12,44	12,23	9,28	12,23	3,48	3,51	3,03	3,00
R3 P2	11,18	11,60	9,79	12,79	3,19	3,21	2,96	3,50
R3 P3	11,25	10,62	10,12	11,18	3,18	3,21	3,48	3,18
T	8,86	8,51	8,23	9,49	2,94	2,73	2,64	2,75

TABELA 7 - Valores de porcentagem acumulada de agregados em peneira número 60 (0,25 mm), da camada do solo mobilizada, obtidos através do peneiramento a seco.

Trata- mentos		r e p e t i ç õ e s			
		1	2	3	4
R1 P1	A	67,02	73,64	83,49	81,65
	B	65,69	72,55	82,27	80,46
	C	65,23	71,41	81,30	79,78
R1 P2	A	79,79	68,80	81,90	79,10
	B	76,74	68,78	80,25	77,88
	C	75,42	68,04	79,10	76,35
R1 P3	A	69,50	72,00	79,64	76,86
	B	68,80	70,21	78,56	75,39
	C	68,50	69,16	78,02	75,18
R2 P1	A	70,35	76,84	77,15	76,70
	B	70,31	75,49	76,13	75,59
	C	68,74	74,37	75,70	74,43
R2 P2	A	72,80	78,25	72,55	73,90
	B	72,78	76,44	72,02	73,40
	C	70,35	75,73	71,12	72,82
R2 P3	A	81,25	70,52	77,90	74,31
	B	80,79	69,04	76,37	73,32
	C	80,48	67,94	74,92	72,55
R3 P1	A	79,26	67,59	77,35	77,56
	B	78,81	67,52	76,16	76,49
	C	77,93	65,86	76,03	75,56
R3 P2	A	71,90	68,82	71,45	69,59
	B	71,77	67,04	71,17	68,34
	C	70,99	66,01	69,65	67,91
R3 P3	A	72,20	69,90	71,34	71,75
	B	72,27	68,71	71,07	70,22
	C	70,68	65,82	70,11	69,48
T	A	78,40	70,24	72,85	80,50
	B	76,52	69,49	71,96	79,17
	C	74,82	68,21	71,28	78,89

A - Primeiro peneiramento da amostra

B - Segundo peneiramento após recomposição da amostra

C - Terceiro peneiramento após nova recomposição da amostra

TABELA 8 - Valores do módulo de finura dos agregados da camada do solo mobilizada, obtidos através do peneiramento a seco.

Trata- mentos		r e p e t i ç õ e s			
		1	2	3	4
R1 P1	A	4,00	3,43	3,68	3,62
	B	3,96	3,35	3,60	3,57
	C	3,93	3,30	3,54	3,52
R1 P2	A	3,32	3,53	3,95	3,82
	B	3,26	3,47	3,88	3,77
	C	3,24	3,41	3,84	3,74
R1 P3	A	3,76	3,30	3,94	3,70
	B	3,67	3,27	3,86	3,65
	C	3,62	3,22	3,79	3,60
R2 P1	A	3,36	3,66	3,65	3,68
	B	3,34	3,59	3,60	3,62
	C	3,30	3,53	3,57	3,56
R2 P2	A	3,48	3,78	3,51	3,34
	B	3,47	3,70	3,47	3,32
	C	3,39	3,65	3,44	3,30
R2 P3	A	3,45	3,43	3,53	3,56
	B	3,44	3,36	3,48	3,51
	C	3,40	3,31	3,44	3,48
R3 P1	A	3,85	3,32	3,60	3,77
	B	3,81	3,30	3,55	3,73
	C	3,78	3,25	3,53	3,68
R3 P2	A	3,46	3,36	3,47	3,42
	B	3,46	3,29	3,42	3,36
	C	3,42	3,24	3,37	3,33
R3 P3	A	3,42	3,38	3,38	3,52
	B	3,40	3,31	3,35	3,46
	C	3,35	3,28	3,31	3,42
T	A	3,85	3,40	3,48	3,87
	B	3,78	3,34	3,43	3,80
	C	3,72	3,29	3,40	3,76

A - Primeiro peneiramento da amostra

B - Segundo peneiramento após recomposição da amostra

C - Terceiro peneiramento após nova recomposição da amostra

5. DISCUSSÃO

Nas tabelas 9 e 10 encontram-se, respectivamente, o resumo da análise de variância dos valores referentes a $\gamma_o(T)$, $\gamma_o(EV)$, γ_n , W , S , n , e , R_p e R_c , e a comparação, pelo teste de Tukey, das médias dos tratamentos e da testemunha, onde:

$\gamma_o(T)$ = Peso específico aparente seco do solo da "soleira", calculado pelo método do torrão impermeabilizado.

$\gamma_o(EV)$ = Peso específico aparente seco do solo da "soleira", calculado a partir dos dados obtidos com o aparelho "Eley Volumeter".

γ_n = Peso específico natural do solo da "soleira", calculado a partir dos dados obtidos com o aparelho "Eley Volumeter".

W = Teor de água do solo da camada de 0 a 15 cm de profundidade.

S, n, e = Grau de saturação (S), porosidade total (n) e índice de vazios (e) do solo da "soleira", calculada

TABELA 9 - Resumo da análise de variância dos dados referentes ao $\gamma_o(T)$, $\gamma_o(EV)$, γ_n , W, S, n, e, R_p e R_c .

Parâmetros	Causa da variação	G.L.	Quadrado médio	Coefficiente de variação (%)
$\gamma_o(T)$	Blocos	3	0,0040**	2,14
	Tratamentos	9	0,0044**	
	Resíduo	27	0,0010	
$\gamma_o(EV)$	Blocos	3	0,0021	2,45
	Tratamentos	9	0,0040*	
	Resíduo	27	0,0015	
γ_n	Blocos	3	0,0007*	2,68
	Tratamentos	9	0,0080**	
	Resíduo	27	0,0025	
W	Blocos	3	24,5590**	8,94
	Tratamentos	9	3,4873	
	Resíduo	27	3,1239	
S	Blocos	3	188,0990**	10,90
	Tratamentos	9	75,7928	
	Resíduo	27	56,9169	
n	Blocos	3	2,6053	3,02
	Tratamentos	9	4,9653*	
	Resíduo	27	1,8314	
e	Blocos	3	0,0024	5,56
	Tratamentos	9	0,0058*	
	Resíduo	27	0,0021	
R_p	Blocos	3	3,0479*	9,60
	Tratamentos	9	3,3578**	
	Resíduo	27	1,0356	
R_c	Blocos	3	0,0617**	7,79
	Tratamentos	9	0,1206	
	Resíduo	27	0,0637	

TABELA 10 - Comparação das médias dos tratamentos e da testemunha, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para $\gamma_o(T)$, $\gamma_o(EV)$, γ_n , W , S , n , e , R_p e R_c .

Trata- mentos	M é d i a s d o s p a r â m e t r o s							
	$\gamma_o(T)$	$\gamma_o(EV)$	γ_n	W	S	n	e	R_c
R1 P1	1,44ab	1,57ab	1,89a	18,61ab	65,03ab	44,81ab	0,81ab	10,63ab
R1 P2	1,51a	1,59a	1,91a	18,66ab	68,17ab	43,93a	0,79a	11,37a
R1 P3	1,45ab	1,55ab	1,87ab	18,99ab	65,03ab	45,25ab	0,83ab	9,72ab
R2 P1	1,49a	1,55ab	1,84ab	21,20ab	72,49ab	45,42ab	0,83ab	10,23ab
R2 P2	1,47ab	1,57ab	1,89a	19,49ab	68,95ab	44,63ab	0,81ab	10,05ab
R2 P3	1,47ab	1,59a	1,91a	19,48ab	70,39ab	43,84a	0,78a	11,56a
R3 P1	1,51a	1,60a	1,91a	19,98ab	73,55ab	43,66a	0,77a	11,55a
R3 P2	1,49a	1,59a	1,91a	21,21ab	76,28ab	44,10a	0,78a	11,34a
R3 P3	1,45ab	1,56ab	1,88ab	20,35ab	70,23ab	45,07ab	0,82ab	10,79ab
T	1,40b	1,49b	1,77b	19,71b	61,97b	47,45b	0,91b	8,77b
$\Delta(5\%)$	0,08	0,09	0,12	4,30	18,37	3,29	0,11	2,48

dos através de fórmulas desenvolvidas na teoria de mecânica dos solos.

R_p = Resistência à penetração do solo da "soleira", determinada com o penetrômetro de anel.

R_c = Resistência à compressão simples não confinada do solo da "soleira", determinada com o penetrômetro de bolso.

A Tabela 1 do Apêndice contém os níveis de significância estatística, calculados pelo teste de Friedman, utilizados para comparar os resultados de porcentagem acumulada de agregados em peneira número 60 (0,25 mm) e para o módulo de finura.

A análise de variância dos valores obtidos para o peso específico aparente seco do solo da "soleira" e da testemunha, calculados pelo método do torrão impermeabilizado, mostrou a existência de uma variação estatisticamente significativa entre os mesmos. Comparando-se, pelo teste de Tukey, constatou-se que os tratamentos R1 P2, R2 P1, R3 P1 e R3 P2 diferiram significativamente da testemunha, embora todos os outros valores obtidos para os tratamentos sempre fossem superiores ao valor da testemunha. Aplicando-se o mesmo teste para se comparar os valores obtidos entre tratamentos, verificou-se que não ocorreram diferenças significativas.

Efeito semelhante foi constatado quando se aplicou a análise de variância e o teste de Tukey aos valores de peso específico aparente seco e de peso específico natural do solo da "soleira" e da testemunha, calculados a partir dos dados obtidos com o aparelho "Eley Volumeter". Os tratamentos cujos valores de peso específico aparente seco diferiram significativamente da testemunha, neste caso, foram R1 P2 ,

R2 P3, R3 P1 e R3 P2, e de peso específico natural foram -
R1 P1, R1 P2, R2 P2, R2 P3, R3 P1 e R3 P2.

A análise de variância dos valores dos teores de água do solo, da camada de 0 a 15 cm de profundidade, quando da instalação do ensaio, não revelou contrastes significativos entre os tratamentos e entre estes e a testemunha.

Os resultados calculados para o grau de saturação do solo da "soleira" e da testemunha, também não mostraram diferenças significativas entre si, apesar de todos os valores correspondentes aos tratamentos terem sido superiores ao valor da testemunha. Contrariamente, os valores de porosidade total e de índice de vazios do solo da "soleira", acusaram diferenças significativas entre as médias dos tratamentos e da testemunha. Os tratamentos cujas médias dos valores de porosidade total e de índice de vazios que diferiram da testemunha foram: R1 P2; R2 P3; R3 P1 e R3 P2. Os demais tratamentos apresentaram valores médios sempre superiores aos da testemunha, todavia não atingiram os níveis de significância.

A análise estatística, aplicada a todos os parâmetros até aqui estudados, não mostrou nenhuma diferença significativa quando se confrontaram os valores obtidos para os tratamentos. Quando estes foram comparados com a testemunha, detectaram-se diferenças significativas entre os pares de valores, podendo-se observar na Tabela 10, que os valores dos tratamentos que não foram significativos, sempre foram superiores ao valor obtido para a testemunha. Este fato sugere que, independentemente da velocidade de rotação do rotor e da altura do anteparo traseiro da enxada rotativa, ocorreu um processo de compactação da camada do solo imediatamente abaixo do raio de ação das lâminas do equipamento, o que é preco-

nizado por HENIN et alii (1976).

Analisando-se os valores obtidos para a resistência à penetração do solo da "soleira" e da testemunha, determinados com o penetrômetro de anel, verificou-se que não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos, detectando-se diferenças apenas entre os valores de tratamentos e da testemunha. Os tratamentos que diferiram foram R1 P2, R2 P3, R3 P1 e R3 P2. A Tabela 10 evidencia que, os valores obtidos para os outros tratamentos sempre foram superiores ao valor determinado para a testemunha.

Os valores de resistência à compressão simples não confinada do solo da "soleira" e da testemunha, determinados com o penetrômetro de bolso, não mostraram diferenças estatisticamente significativas quando aplicou-se aos mesmos a análise de variância. Uma possível explicação para este fato pode ser a margem de erro de 15% nas medidas efetuadas com o aparelho, admitida pelo próprio fabricante.

Os resultados obtidos, com o penetrômetro de anel, para a resistência à penetração do solo da "soleira", refletiram a ocorrência de um processo de compactação nesta camada, após a mobilização efetuada com a enxada rotativa. Cumpre salientar, entretanto, que é muito difícil predizer se esta resistência à penetração do solo da "soleira" poderá afetar o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, embora TAYLOR et alii (1966) considerem como nível crítico para o desenvolvimento da maioria das plantas os valores de resistência entre 20 e 31 kg/cm², níveis estes não atingidos no presente trabalho. ECK e DAVIS (1971), ZABASHTANSKIY e - BRASILEVSKIY (1975) e GOODERHAN (1976) também preconizam a formação de camadas compactadas quando se utiliza a enxada ro

tativa nas operações de preparo do solo. Esta camada do solo compactada também pode afetar a capacidade de infiltração de água e o conteúdo de oxigênio do solo, efeitos estes corroborados por NICHOLS e REAVES (1955), RANEY e ZINGG (1957), MARSHALL e RANEY (1960) e BATEMAN (1963).

Aplicando-se o teste de Friedman aos valores de porcentagem acumulada de agregados em peneira número 60 - (0,25 mm), verificou-se a ocorrência de significância estatística entre os mesmos, sendo que, em relação a testemunha, os tratamentos R3 P2 e R3 P3 mostraram-se diferentes, acusando uma diminuição no valor de porcentagem acumulada de agregados e indicando, conseqüentemente, uma perda de resistência dos agregados à demolição mecânica.

Comparados entre si, os tratamentos que incluíram rotação máxima do rotor (R3), associada às posições média (P2) e totalmente abaixada (P3) do anteparo traseiro, foram evidenciados decréscimos de porcentagem acumulada de agregados, a níveis estatisticamente diferentes daqueles verificados para os tratamentos que incluíram rotação mínima do rotor (R1), combinada com as alturas média (P2) e totalmente levantada (P1) do anteparo traseiro. Os mesmos efeitos ocorreram quando se procedeu à comparação entre as médias dos tratamentos.

Os agregados naturais do solo, por sua vez, não resistiram à demolição mecânica provocada pelo peneiramento sucessivo da mesma amostra, uma vez que, dentro de cada tratamento, o terceiro peneiramento sempre conduziu a resultados estatisticamente inferiores ao primeiro, traduzindo que houve perda de estabilidade mecânica dos agregados do solo.

O teste de Friedman aplicado aos valores de mó-

dulo de finura dos agregados, permitiu observar que os mesmos se comportaram de maneira semelhante aos de porcentagem acumulada de agregados, quando: analisou-se os tratamentos individualmente; confrontou-se os 9 tratamentos com a testemunha (teste bilateral); e efetuou-se as comparações múltiplas entre todos os tratamentos. A única diferença entre as duas análises ocorreu quando se comparou as médias dos tratamentos R3 P2 e R3 P3 com R1 P2, uma vez que os valores obtidos para o módulo de finura tangenciaram os níveis mínimos de significância.

O teste de Friedman aplicado aos valores contidos nas Tabelas 7 e 8, referentes, respectivamente, à porcentagem acumulada de agregados em peneira número 60 (0,25 mm) e módulo de finura dos agregados mostrou que, em ambos os casos, quando se utilizou a máxima rotação do rotor (R3) da enxada rotativa, associada com as alturas média (P2) e mínima (P3) do anteparo traseiro, os agregados naturais do solo que passaram em peneira número 4 (4,76 mm), apresentaram uma menor estabilidade mecânica aos sucessivos peneiramentos do que a testemunha e os tratamentos que incluíram rotação mínima do rotor (R1), associada com as alturas média (P2) e máxima (P1) do anteparo traseiro. Isto torna evidente o efeito dos tratamentos que realizaram um trabalho mais enérgico na camada do solo mobilizada, assim como a influência da posição do anteparo traseiro que, segundo GALETI (1981), provoca uma fragmentação adicional do solo quando o mesmo é arremessado pelas lâminas à uma velocidade periférica elevada. Os resultados obtidos estão de acordo com PAGE et alii (1946), e são preconizados por ADAMS e FURLONG (1959), podendo ocasionar, segundo NICHOLS e REAVES (1955) e DONAHUE et alii (1977), uma maior

compactação do solo. Portanto, torna-se necessário utilizar a enxada rotativa, nas operações de preparo periódico deste tipo de solo, de uma forma mais técnica e racional, evitando-se que ocorra uma diminuição da estabilidade dos agregados que, segundo BAYER (1966), é de máxima importância na formação e conservação de boas condições estruturais no solo.

6. CONCLUSÕES

Nas condições do ensaio, os resultados obtidos levaram às seguintes conclusões:

1. Entre tratamentos, independentemente das diferentes velocidades de rotação do rotor e das alturas do anteparo traseiro da enxada rotativa, não foram detectadas diferenças de compactação do solo da "soleira".

2. As alterações dos parâmetros peso específico aparente seco, peso específico natural, porosidade total, índice de vazios e resistência a penetração, indicaram que ocorreu um processo de compactação do solo da "soleira", quando foram comparados os tratamentos e a testemunha.

3. Os tratamentos que incluíram rotação máxima do rotor, associada às alturas média e mínima do anteparo traseiro, provocaram uma diminuição estatisticamente significativa da estabilidade dos agregados do solo da camada mobilizada, quando comparados com a testemunha e os tratamentos com rotação mínima do rotor associada às alturas máxima e média do anteparo traseiro.

BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, Jr. W.J. e D.B. FURLONG, 1959. Rotary tiller in soil preparation. Transactions of the ASAE. St. Joseph, 40:600-603, 607.
- BACCHI, O.O.S., 1976. Efeitos da Compactação sobre o Sistema Solo-Planta em Cultura de Cana-de-Açúcar (Saccharum spp.). Piracicaba, ESALQ/USP, 67p. (Dissertação de Mestrado).
- BAKERMANS, W.A.P. e C.T. de WIT, 1970. Crop husbandry on naturally compacted soils. Netherlands Journal of Agriculture Science. Wageningen, 18:225-246.-
- BATEMAN, H.P., 1963. Effect of field machine compaction on soil physical properties and crop response. Transactions of the ASAE. St. Joseph, 6:19-25.
- BAVER, L.D., 1966. Soil Physics. 3ª ed. New York, John Wiley and Sons Inc. 489p.

- BENEZ, S.H., C.A. GAMERO e C. PIEDADE Jr., 1979. Influência do preparo do solo no desenvolvimento do sistema radicular da soja (Glycine max (L) Merrill). In: 9º Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Campina Grande, p. 334-341.
- BENEZ, S.H., 1980. Efeitos dos Tipos de Preparo do Solo, Cultivo e Calagem na Cultura de Milho (Zea mays L.). Botucatu, FCA/UNESP, 124p. (Tese de Livre Docência).
- BEZERRA, J.E.S., 1978. Influência de Sistemas de Manejo do Solo sobre Algumas Propriedades Físicas e Químicas de um Podzólico Vermelho Amarelo Câmbico Distrófico, Fase Terraço, e sobre a Produção de Milho (Zea mays L.). Viçosa, U.F.V., 59p. (Dissertação de Mestrado).
- BOONE, F.R. e H. KUIPERS, 1970. Remarks on soil structure in relation to zero-tillage. Netherlands Journal of Agriculture Science. Wageningen, 18:262-269.
- BOURGET, S.J., J.G. KEMP e B.K. DOW, 1961. Effect of tractor traffic on crop yields and soil density. Agricultural Engineering. St. Joseph, 42:554.
- BRADY, N.C., 1979. Natureza e Propriedades dos Solos. 5ª ed. Rio de Janeiro, Biblioteca Universitária Freitas Bastos. 647p.
- BRAUNACK, M.V. e A.R. DEXTER, 1978. Compaction of aggregate beds. In: EMERSON, W.W., R.D. BOND e A.R. DEXTER, Ed. Modification of Soil Structure. New York, John Wiley & Sons, p. 119-126.

- BROWNING, G.M., 1950. Principles of soil physics in relation to tillage. Agricultural Engineering. St. Joseph, 34:341-344.
- BRUCE, R.R., 1955. An instrument for the determination of soil compactibility. Proceedings of the Soil Science Society of America. Detroit, 19:253-257.
- CAMPOS, H., 1976. Estatística Experimental Não Paramétrica. 2ª ed. Piracicaba, ESALQ/USP, 332p.
- CANNELL, R.Q., 1977. Soil aeration and compaction in relation to root growth and soil management. In: COAKER, T.H., Ed. Applied Biology. Londres, Academic Press, p. 1-86.
- CHANCELLOR, W.J., 1971. Effects of compaction on soil strength. In: BARNES, K.K., W.M. CARLETON, H.M. TAYLOR, R.I. THROCKMORTON e G.E. VANDEN BERG, Org. Compaction of Agricultural Soils. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, p. 190-212.
- CHEPIL, W.S., 1962. A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis. Proceedings of the Soil Science Society of America. Detroit, 26:4-6.
- COOK, R.L. e F.W. PEIKERT, 1950. A comparison of tillage implements. Agricultural Engineering. St. Joseph, 31:211-214.

- COOPER, A.W., 1971. Effects of tillage on soil compaction. In: BARNES, K.K., W.M. CARLETON, H.M. TAYLOR, R.I. THROCKMORTON e G.E. VANDEN BERG, Org. Compaction of Agricultural Soils. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, p. 315-364.
- DONAHUE, R.L., R.W. MILLER e J.C. SHICKLUNA, 1977. Soils: An Introduction to Soil and Plant Growth. 4ª ed. Englewood Cliffs, Prentice-Hall Inc. 626p.
- EAVIS, B.W., 1972. Soil physical conditions affecting seedling root growth I: mechanical impedance, aeration and moisture availability as influenced by bulk density and moisture levels in a sandy loam soils. Plant and Soil. The Hague, 36:613-622.
- ECK, H.V. e R.G. DAVIS, 1971. Profile modification and root yield, distribution, and activity. Agronomy Journal. Madison, 63:934-937.
- FOTH, H.D., 1978. Fundamentals of Soil Science. 6ª ed. New York, John Wiley & Sons. 436p.
- FREITAG, D.R., 1971. Methods of measuring soil compaction. In: BARNES, K.K., W.M. CARLETON, H.M. TAYLOR, R.I. THROCKMORTON e G.E. VANDEN BERG, Org. Compaction of Agricultural Soils. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, p. 47-103.

- FROST, K.R., 1966. Shallow strip tillage in seedbed preparation. Transactions of the ASAE. St. Joseph, 9:456-457.
- GALETTI, P.A., 1981. Mecanização Agrícola: Preparo do Solo. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. 220p.
- GAMERO, C.A., S.H. BENEZ e P.C. MATTOS, 1979. Influência do preparo do solo na produção de soja (Glycine max (L) Merrill). In: 9º Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Campina Grande, p. 328-333.
- GLABLE, A.R., 1971. Effects of compaction on content and transmission of air in soils. In: BARNES, K.K., W.M. CARLETON, H.M. TAYLOR, R.I. THROCKMORTON e G.E. VANDEN BERG, Org. Compaction of Agricultural Soils. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, p. 154-164.
- GOMES, F.P., 1966. Curso de Estatística Experimental. 4ª ed. São Paulo, Livraria Nobel. 430p.
- GOODERHAN, P.T., 1976. The effect on soil conditons of mechanized cultivation at high moisture content and of loosening by hand digging. Journal of Agriculture Science, Cambridge, 86:567-571.
- GREENE, J.M., 1946. Some rotary tillage aplications. Agri-cultural Engineering. St. Joseph, 27:175-176.
- HENDRICK, J.G., 1980. A powered rotary chisel. Transactions of the ASAE. St. Joseph, 23:1349-1352.

- HENIN, S., R. GRAS e G. MONNIER, 1976. Os Solos Agrícolas. Rio de Janeiro, Editora Forense-Universitária. 327p.
- KELSEY, C.W., 1946. Rotary soil tillage. Agricultural Engineering. St. Joseph, 27:171-174.
- KIEHL, E.J., 1979. Manual de Edafologia: Relações Solo-Planta. São Paulo, Editora Agronômica Ceres. 264p.
- KOLESNIKOV, V., 1971. The Root System of Fruit Plants. Moscou, Mir Publishers. 27lp.
- KUIPERS, H., 1970. Historical notes on the zero-tillage concept. Netherlands Journal of Agriculture Science. Wageningen, 18:219-224.
- KUZNETSOVA, V., 1978. Physical properties of plowed Sod-Podzolic Loam soils. Soviet Soil Science. Silver Spring, 10:86-95.
- MACHADO, J.A., 1976. Efeitos dos Sistemas de Cultivo Reduzido e Convencional na Alteração de Algumas Propriedades Físicas e Químicas do Solo. Santa Maria, UFSM, 129p. (Tese de Livre Docência).
- MARCOS, Z.Z., 1968. Estrutura, Agregação e Água do Solo. Piracicaba, ESALQ/USP, 55p. (Tese de Doutorado).
- MARQUES, J.Q.A. e J. BERTONI, 1961. Sistemas de preparo do solo em relação a produção e erosão. Bragantia. Campinas, 20:403-459.

- MARSHALL, R.M. e W.A. RANEY, 1960. Modifying soil profiles. Yearbook of Agriculture. Washington, p. 123-128.
- MCKYES, E., S. NEGI, E. DOUGLAS, F. TAYLOR e V. RAGHAVAN, -
1979. The effect of machinery traffic and tillage operations on the physical properties of a clay and on yield of silage corn. Journal of Agriculture Engineering Research. Londres, 24:143-148.
- MEREDITH, H.L. e W.H. PATRICK Jr., 1961. Effects of soil compaction on subsoil root penetration and physical properties of three soils in Louisiana. Agronomy Journal. Madison , 53:163-167.
- MIALHE, L.G., 1969. A b c das enxadas rotativas. O Dirigente Rural. São Paulo, 8:29-44.
- NEGOVELOV, S.F. e V.G. UNGURYAN, 1977. Determination of -
changes in soil density after deep plowing. Soviet Soil Science. Silver Spring, 9:109-113.
- NICHOLS, M.L. e C.A. REAVES, 1955. Soil structure and consistency in tillage implement design. Agricultural Engineering. St. Joseph, 36:517-520, 522.
- NOGUEIRA, J.B., 1973. Mecânica dos Solos: ensaios de laboratório. São Carlos, EESC/USP, 150p.

- ORTOLANI, A.F., 1977. Efeitos de Diferentes Tipos de Preparo do Solo sobre o Comportamento do Sistema Solo-Cultura de Milho (Zea mays L.). Jaboticabal, FCAV/UNESP, 127p. (Tese de Livre Docência).
- OUWERKERK, C. van e F.R. BOONE, 1970. Soil-physical aspects of zero-tillage experiments. Netherlands Journal of Agriculture Science. Wageningen, 18:247-261.
- PAGE, J.B., C.J. WILLARD e G.W. McCUEN, 1946. Progress report on tillage methods in preparing land for corn. Proceedings of the Soil Science Society of America. Detroit, 11:77-80.
- POESSE, G.J. e U.D. PERDOK, 1970. Possibilities for the - applications of implements in soil tillage. Netherlands Journal of Agriculture Science. Wageningen, 18:277-282.
- RANEY, W.A. e A.W. ZINGG, 1957. Principles of tillage. The Yearbook of Agriculture. Washington, p. 277-281.
- RUSSEL, E.W., 1978. Soil Conditions and Plant Growth. 10ª ed. Londres, Editora Longman. 849p.
- SOUSA, A.P., 1980. Efeito da Umidade, Inclinação do Disco e Velocidade de Aração sobre algumas Características Físicas de um Latossolo Roxo. Piracicaba, ESALQ/USP, 51p. (Tese de Doutorado).
- SOUZA, J.L.G., 1973. Estudo da Fração Argila da Terra Roxa Estruturada do Município de Botucatu (S.P.) para fins de Gênese e Classificação de Solos. Botucatu, FCMBB/UNESP, 73p. (Tese de Doutorado).

- STIBBE, E. e D. ARIEL, 1970. No tillage as compared to tillage practices in dry-land farming of a Semi-Arid Climate. Netherlands Journal of Agriculture Science. Wageningen , 18:293-307.
- TAYLOR, H.M., G.M. ROBERSON e J.J. PARKER, 1966. Soil strength-root penetration relations for medium to coarse-textured soil materials. Soil Science. Baltimore, 102:18-22.
- VEIGA, C.L., 1975. Influência de Diversos Tipos de Manejo do Solo no Desenvolvimento e Distribuição de Raízes e na Produtividade da Soja (Glycine max Merrill) em Solo da Unidade São Pedro-RS. Podzólico Vermelho-Amarelo. Santa Maria , UFSM, 78p. (Dissertação de Mestrado).
- VIEIRA, M.J., 1981. Propriedades físicas do solo. In: Instituto Agrônômico do Paraná, Ed. Plantio Direto no Estado do Paraná. Londrina, p. 19-32. (Circular IAPAR, 23).
- VOMOCIL, J.A., 1957. Measurement of soil bulk density and penetrability: A review of methods. Advances in Agronomy. New York, 9:159-176.
- VOMOCIL, J.A. e W.J. FLOCKER, 1961. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. Transactions of the ASAE. St. Joseph, 4:242-246.

- WARNAARS, B.C. e B.W. EAVIS, 1972. Soil physical conditions affecting seedling root growth II: mechanical impedance, aeration and moisture availability as influenced by grain-size distribution and moisture content in silica sands. - Plant and Soil. The Hague, 36:623-634.
- WEAVER, H.A., 1950. Tractor use effects on volume weight of Davidson Loam. Agricultural Engineering. St. Joseph, 31: 182-183.
- WHITELEY, G.M. e A.R. DEXTER, 1981. The dependence of soil penetrometer pressure on penetrometer size. Journal of Agriculture Engineering Research. Londres, 26:467-476.
- WILLIAMS, R.J.B., 1977. Effects of management and manuring on physical properties of some Rothamsted and Woburn soils. Report Rothamsted Experimental Station. Dorking, 2:37-52.
- ZABASHTANSKIY, S.A. e V. YU. BRAZILEVSKIY, 1975. Effect of rotary tillage on the agrochemical properties of the soil and crop yield. Soviet Soil Science. Silver Spring, 7:605-612.

A P Ê N D I C E

A P Ê N D I C E

TABELA 1 - Níveis mínimos de significância estatística, do teste de Friedman, aplicados aos dados referentes à porcentagem acumulada de agregados em peneira número 60 (0,25 mm) e ao módulo de finura.

a - Teste de Friedman para cada tratamento

$$k = 3 \quad n = 4$$

$$\alpha = 0,042 \text{ (4,2\%)}$$

$$x_0^2 = 6,50$$

$$\alpha = 0,005 \text{ (0,5\%)}$$

$$x_0^2 = 8,00$$

a_1 - Comparações múltiplas

$$k = 3 \quad n = 4$$

$$\alpha = 0,042 \text{ (4,2\%)}$$

$$\Delta 1 = 7$$

$$\alpha = 0,005 \text{ (0,5\%)}$$

$$\Delta 1 = 8$$

b - Teste de Friedman para confronto de todos os tratamentos

$$k = 10 \quad n = 12$$

$$\alpha = 0,05 \text{ (5,0\%)}$$

$$x_0^2 = 16,92$$

$$\alpha = 0,01 \text{ (1,0\%)}$$

$$x_0^2 = 21,67$$

b_1 - Comparações múltiplas

$$k = 10 \quad n = 12$$

$$\alpha = 0,040 \quad (4,0\%) \quad \Delta 1 = 48$$

$$\alpha = 0,027 \quad (2,7\%) \quad \Delta 1 = 50$$

$$\alpha = 0,009 \quad (0,9\%) \quad \Delta 1 = 54$$

b_2 - Bilateral: "tratamentos x testemunha"

$$k = 10 \quad n = 12$$

$$\alpha = 0,05 \quad (5,0\%) \quad dms = 39,90$$

$$\alpha = 0,01 \quad (1,0\%) \quad dms = 47,76$$

c - Teste de Friedman para tratamentos

$$k = 10 \quad n = 3$$

$$\alpha = 0,05 \quad (5,0\%) \quad x_0^2 = 16,92$$

$$\alpha = 0,01 \quad (1,0\%) \quad x_0^2 = 21,67$$

c_1 - Comparações entre as médias dos tratamentos

$$k = 10 \quad n = 3$$

$$\alpha = 0,057 \quad (5,7\%) \quad \Delta 1 = 22$$

$$\alpha = 0,026 \quad (2,6\%) \quad \Delta 1 = 23$$

$$\alpha = 0,010 \quad (1,0\%) \quad \Delta 1 = 24$$

c_2 - Bilateral: "tratamentos x testemunha"

$$k = 10 \quad n = 3$$

$$\alpha = 0,05 \text{ (5,0\%)} \quad dms = 19,95$$

$$\alpha = 0,01 \text{ (1,0\%)} \quad dms = 23,88$$

d - Teste de Friedman para peneiramentos

$$k = 3 \quad n = 10$$

$$\alpha = 0,05 \text{ (5,0\%)} \quad x_0^2 = 5,99$$

$$\alpha = 0,01 \text{ (1,0\%)} \quad x_0^2 = 9,21$$

d_1 - Comparações múltiplas

$$\alpha = 0,037 \text{ (3,7\%)} \quad \Delta 1 = 11$$

$$\alpha = 0,019 \text{ (1,9\%)} \quad \Delta 1 = 12$$

$$\alpha = 0,010 \text{ (1,0\%)} \quad \Delta 1 = 13$$