

EFEITO DA SEMEADURA DO MILHO EM QUATRO NIVEIS DE UMIDADE  
NA COMPACTAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO

SERAFIM DANIEL BALLESTERO  
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. JÚLIO VASQUES FILHO

Tese apresentada à Escola Superior de  
Agricultura "Luiz de Queiroz", da Uni-  
versidade de São Paulo, para a obten-  
ção do título de Doutor em Agronomia.  
Área de Concentração: Solos e Nutrição  
de Plantas.

P I R A C I C A B A  
Estado de São Paulo - Brasil  
Fevereiro - 1992

B154e BALLESTERO, Serafim Daniel  
Efeito da sementeira do milho em quatro níveis de umidade na compactação de um latossolo vermelho-amarelo. Piracicaba, 1992.  
90p.

Tese - ESALQ  
Bibliografia

1. Latossolo vermelho-amarelo 2. Milho - Produtividade - Efeito da compactação 3. Milho - Sementeira 4. Solo - Compactação 5. Solo - Umidade. I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CDD 633.15  
631-43

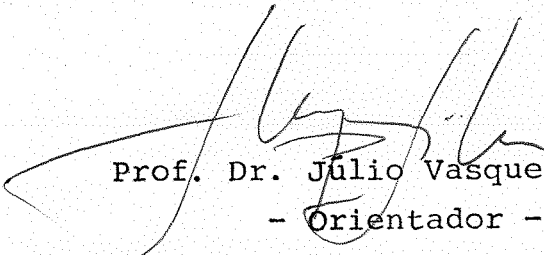
EFEITO DA SEMEADURA DO MILHO EM QUATRO NÍVEIS DE UMIDADE  
NA COMPACTAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO

Autor: SERAFIM DANIEL BALLESTERO

Aprovado em: 27.04.92

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Júlio Vasques Filho	ESALQ/USP
Prof. Dr. Zilmar Ziller Marcos	ESALQ/USP
Prof. Dr. Klaus Reichardt	ESALQ/USP
Prof. Dr. Reinaldo Lorandi	EMBRAPA/UEPAR
Dr. Odo Primavesi	C.C.T. São Carlos



Prof. Dr. Júlio Vasques Filho  
- Orientador -

Aos meus pais e à minha  
filha, com carinho,

DEDICO

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

- Ao Professor Dr. Júlio Vasques Filho, pela orientação e amizade que proporcionaram o desenvolvimento do presente trabalho;
- Ao Professor Dr. Zilmar Ziller Marcos pelas sugestões e boa vontade de nos atender sempre que solicitado;
- À Universidade de Taubaté, em nome da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação e ao Departamento de Ciências Agrárias, que apoiaram e colaboraram para a realização do projeto;
- Aos Funcionários da fazenda piloto, Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup> Paulo Marcos Paolichi, Administrador Geraldo Alexandre Casagrande Filho, e em especial, ao amigo José Augusto do Carmo, que muito contribuíram para a execução deste trabalho;
- Às colegas Adriana e Izabel, pela amizade e dedicação;
- À CAPES, pela bolsa concedida, sem a qual seria impossível a realização do Curso de Pós-Graduação;
- Ao amigo Skelton pela amizade e colaboração.

## Í N D I C E

Página

LISTA DE TABELAS .....	<i>ix</i>
LISTA DE FIGURAS .....	<i>xv</i>
RESUMO .....	<i>xvii</i>
SUMMARY .....	<i>xix</i>
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. Conceito de compactação e adensamento .....	3
2.2. Efeitos da compactação do solo .....	4
2.2.1. Sobre a densidade do solo .....	4
2.2.2. Sobre a porosidade dos solos .....	6
2.2.3. Sobre o desenvolvimento radicular .....	8
2.2.4. Sobre a resistência do solo avaliada com o penetrômetro .....	10
2.2.5. Sobre a infiltração e retenção de água ..	12
2.3. Influência dos sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas do solo .....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	19
3.1. Características gerais da área .....	19
3.2. Delineamento experimental .....	21
3.3. Características da semente utilizada .....	22
3.4. Níveis de umidade do solo .....	25
3.5. Monitoramento da umidade .....	26
3.6. Preparo do solo .....	26

3.7.	Instalação dos tratamentos .....	26
3.8.	Calagem e adubação .....	27
3.9.	Semeadura .....	27
3.10.	Determinações físicas .....	28
3.10.1.	Densidade das partículas do solo .....	28
3.10.2.	Densidade do solo .....	29
3.10.3.	Porcentagem da porosidade total calculada .....	29
3.10.4.	Porcentagem da porosidade total determinada, de macroporos, de microporos e poros bloqueados .....	29
3.10.5.	Capacidade de campo .....	30
3.10.6.	Limite de plasticidade .....	30
3.10.7.	Capacidade de infiltração .....	31
3.10.8.	Resistência à penetração .....	31
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	33
4.1.	Estudo do comportamento de parâmetros físicos do solo no sistema de semeadura sem compactação e com compactação em quatro níveis de umidade do solo .....	33
4.1.1.	Efeito na variação da densidade do solo .	33
4.1.2.	Efeito na variação da porosidade total calculada .....	37
4.1.3.	Efeito na variação da porosidade total determinada .....	40

	Página
4.1.4. Efeito na variação da macroporosidade ..	43
4.1.5. Efeito na relação percentual da porcenta gem de macroporos em função da porosida- de total determinada .....	46
4.1.6. Efeito na variação da microporosidade ..	48
4.1.7. Efeito na relação percentual da porcenta gem de microporos em função da porosida- de total determinada em quatro níveis de umidade do solo .....	51
4.1.8. Efeito na quantidade de poros bloqueados	53
4.1.9. Efeito na resistência do solo .....	56
4.1.10. Efeito na retenção de água .....	59
4.1.11. Efeito na taxa de infiltração da água ..	62
4.2. Estudo do comportamento da cultura do milho nas condições de semeadura sem compactação e com com pactação em quatro níveis de umidade do solo ...	66
4.2.1. Efeito na variação da porcentagem de ger- nação .....	66
4.2.2. Efeito na variação da produtividade .....	69
4.2.3. Efeito da relação entre porcentagem de germinação e produtividade .....	72
4.2.3.1. Relação entre porcentagem de ger- minação e produtividade entre os níveis de umidade nos tratamen- tos sem compactação e com compac- tação .....	72



5. CONCLUSÕES .....	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77
APÊNDICE .....	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela nº	Página
1. Resultados da caracterização granulométrica e química do solo (média de três repetições) .....	20
2. Dados físicos apresentados pelo solo antes e após o preparo (média de três repetições) .....	20
3. Distribuição dos tratamentos em relação aos sistemas de semeadura e níveis de umidade .....	22
4. Valores dos níveis de umidade calculados para a camada 0-30 cm e utilizados para o fornecimento de água nas duas condições de semeadura (média de três repetições) .....	25
5. Valores dos níveis de umidade determinados nas condições de campo, após fornecimento de água, utilizados nas duas condições de semeadura (média de três repetições) .....	25
6. Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de densidade do solo, nos tratamentos com e sem compactação, nos quatro níveis de umidade do solo ..	34
7. Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de densidade do solo entre os níveis de umidade, dentro do tratamento sem compactação .....	35
8. Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de densidade do solo entre os níveis de umidade, dentro do tratamento com compactação .....	36

Tabela nº

Página

9.	Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias da porcentagem da porosidade total calculada nos tratamentos com e sem compactação, nos quatro níveis de umidade .....	37
10.	Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias da porcentagem da porosidade total calculada entre os níveis de umidade, dentro do tratamento sem compactação .....	38
11.	Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias da porcentagem da porosidade total calculada entre os níveis de umidade, dentro do tratamento com compactação .....	39
12.	Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de porcentagem de porosidade total determinada nos tratamentos com e sem compactação, nos quatro níveis de umidade .....	40
13.	Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de porcentagem de porosidade total determinada entre os níveis de umidade dentro do tratamento sem compactação .....	41
14.	Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias da porcentagem de porosidade total determinada entre os níveis de umidade dentro do tratamento com compactação .....	42
15.	Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias da porcentagem de macroporos nos tratamentos com e sem compactação, nos quatro níveis de umidade do solo .....	43

Tabela nº	Página
16. Resultados da aplicação do teste de Tukey para as <u>m</u> édias da porcentagem de macroporos entre os níveis de umidade dentro do tratamento sem compactação .....	44
17. Resultados da aplicação do teste de Tukey para as <u>m</u> édias da porcentagem de macroporos entre os níveis de umidade dentro do tratamento com compactação .....	45
18. Dados da relação percentual da porcentagem de macroporos em função da porosidade total determinada em quatro níveis de umidade para os tratamentos com e sem compactação .....	46
19. Resultados da aplicação do teste de Tukey para as <u>m</u> édias da porcentagem de microporos nos tratamentos com e sem compactação nos quatro níveis de umidade do <u>s</u> olo .....	48
20. Resultados da aplicação do teste de Tukey para as <u>m</u> édias da porcentagem de microporos entre os níveis de umidade dentro do tratamento sem compactação .....	49
21. Resultados da aplicação do teste de Tukey para as <u>m</u> édias da porcentagem de microporos entre os níveis de umidade dentro do tratamento com compactação .....	50
22. Dados da relação percentual da porcentagem de microporos em função da porosidade total determinada em quatro níveis de umidade para os três tratamentos sem e com compactação .....	51

Tabela nº

Página

23.	Resultados da aplicação do teste de Tukey para as <u>médias</u> da porcentagem de poros bloqueados nos tratamentos com e sem compactação, nos quatro níveis de umidade do solo .....	53
24.	Resultados da aplicação do teste de Tukey para as <u>médias</u> da porcentagem de poros bloqueados entre os níveis de umidade dentro do tratamento sem compactação .....	54
25.	Resultados da aplicação do teste de Tukey para as <u>médias</u> da porcentagem de poros bloqueados entre os níveis de umidade dentro do tratamento com compactação .....	55
26.	Resultados da aplicação do teste de Tukey para as <u>médias</u> de resistência do solo nos tratamentos com e sem compactação, nos quatro níveis de umidade do solo .....	56
27.	Resultados da aplicação do teste de Tukey para as <u>médias</u> da resistência do solo entre os níveis de umidade dentro do tratamento sem compactação .....	57
28.	Resultados da aplicação do teste de Tukey para as <u>médias</u> de resistência do solo entre os níveis de umidade dentro do tratamento com compactação .....	58
29.	Resultados da aplicação do teste de Tukey para as <u>médias</u> da umidade do solo, nos tratamentos com e sem compactação, nos quatro níveis de umidade .....	59
30.	Resultados da aplicação do teste de Tukey para as <u>médias</u> de umidade do solo entre os níveis de umidade, dentro do tratamento sem compactação .....	60

Tabela nº	Página
31. Resultados da aplicação do teste de Tukey para as <u>m</u> édias de umidade do solo entre os níveis de umidade, dentro do tratamento com compactação .....	61
32. Dados da velocidade de infiltração da água (cm/h) no tratamento sem compactação a quatro níveis de umidade do solo (média de três repetições) .....	62
33. Dados da velocidade de infiltração da água (cm/h) no tratamento com compactação a quatro níveis de umidade do solo (média de três repetições) .....	62
34. Resultados da aplicação do teste de Tukey para as <u>m</u> édias da porcentagem de germinação nos tratamentos com e sem compactação nos quatro níveis de umidade do solo .....	66
35. Resultados da aplicação do teste de Tukey para as <u>m</u> édias da porcentagem de germinação entre os níveis de umidade, dentro do tratamento sem compactação .....	67
36. Resultados da aplicação do teste de Tukey para as <u>m</u> édias da porcentagem de germinação entre os níveis de umidade, dentro do tratamento com compactação .....	68
37. Resultados da aplicação do teste de Tukey para as <u>m</u> édias de produtividade nos tratamentos com e sem compactação nos quatro níveis de umidade .....	69
38. Resultados da aplicação do teste de Tukey para as <u>m</u> édias de produtividade entre os níveis de umidade, dentro do tratamento sem compactação .....	70

Tabela nº

Página

39. Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de produtividade entre os níveis de umidade, dentro do tratamento com compactação .....	71
40. Dados físicos dos tratamentos com compactação e sem compactação do sulco de semeadura em quatro níveis de umidade do solo .....	88
41. Dados de resistência à penetração e umidade atual nos tratamentos com compactação do sulco de semeadura em quatro níveis de umidade do solo .....	89
42. Dados de porcentagem de germinação e produtividade nos tratamentos com compactação e sem compactação do sulco de semeadura, em quatro níveis de umidade do solo .....	90

## LISTA DE FIGURAS

Figura nº	Página
1. Esquema da distribuição dos tratamentos no delineamento em blocos casualizados para os níveis de umidade de .....	23
2. Esquema do penetrômetro de impacto: a) cabo; b,d) limites do curso de peso; c) peso; e) haste graduada; f) cone .....	32
3. Gráfico ilustrativo da relação percentual da porcentagem de macroporos da porosidade total determinada, em quatro níveis de umidade do solo para os tratamentos sem compactação e com compactação .....	47
4. Gráfico ilustrativo da relação percentual da porcentagem de microporos em função da porosidade total determinada, em quatro níveis de umidade do solo, para os tratamentos sem compactação e com compactação.	52
5. Gráfico ilustrativo da velocidade de infiltração (cm/h) no tratamento sem compactação, a quatro níveis de umidade do solo .....	63
6. Gráfico ilustrativo da velocidade de infiltração (cm/h) no tratamento com compactação, a quatro níveis de umidade do solo .....	64
7. Gráfico ilustrativo da relação entre porcentagem de germinação e produtividade, em quatro níveis de umidade do solo, no tratamento sem compactação .....	73



Figura nº	Página
8. Gráfico ilustrativo da relação entre porcentagem de germinação e produtividade, em quatro níveis de umidade do solo, no tratamento sem compactação .....	74

EFEITO DA SEMEADURA DO MILHO EM QUATRO NÍVEIS DE UMIDADE  
NA COMPACTAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO

Autor: SERAFIM DANIEL BALLESTERO

Orientador: Prof. Dr. JÚLIO VASQUES FILHO

RESUMO

A fim de se estudar a compactação provocada por máquina no momento da sementeira e na linha de plantio, foi desenvolvido um experimento de campo com a cultura do milho (*Zea mays* L.), sendo semeada em um solo classificado como L.V.A., série Ipiranga, em quatro níveis de umidade.

Foram determinados, após a sementeira, os dados referentes à densidade do solo, porosidade total determinada, porcentagem de macroporos, microporos e poros bloqueados, resistência do solo à penetração, velocidade de infiltração de água e porcentagem de germinação. No final do ciclo da cultura, foram determinados os dados de produtividade.

Após análise e interpretação dos resultados, constatou-se que a pressão exercida no sulco de sementeira pelos órgãos ativos da semeadeira e pelas rodas do trator, provocaram modificações na densidade e porosidade do solo, velocidade de

infiltração e armazenamento de água, resistência à penetração, porcentagem de germinação e produtividade, que variaram com os níveis de umidade do solo.

EFFECT OF CORN SOWING AT FOUR MOISTURE LEVELS IN THE  
COMPACTATION OF A RED YELLOW LATOSOL

Author: SERAFIM DANIEL BALLESTERO

Adviser: Prof. Dr. JÚLIO VASQUES FILHO

## SUMMARY

A field test using corn as the test plant was conducted in a Red Yellow Latosol, to evaluate machine induced soil compactation at the moment of seed sowing a row crop. The test was run at four different soil moisture levels.

Data was collected after seed-sowing as follows: bulk density, total soil porosity, pore size distribution, blocked pores, soil penetration resistance, water infiltration velocity and germination percentage. Productivity was determined at the end of the crop cycle.

After the analysis and interpretation of the results it was verified that the pressure on the seed bed furrow caused by the seed-sowing machine and tractor wheels modified soil bulk density, total porosity, infiltration velocity, germination percentage and productivity. All of those soil attributes modifications varied with soil moisture level.

## 1. INTRODUÇÃO

A compactação do solo tem sido apontada como fator limitante da produtividade agrícola. Vários pesquisadores investigaram a ação compactadora das rodas das máquinas agrícolas e dos órgãos ativos de implementos de preparo e cultivo do solo, relacionando tal ação com alterações das propriedades e características físicas do solo, que levariam à situações desfavoráveis ao desenvolvimento das plantas cultivadas. Tal processo, em geral, tem sido identificado abaixo da superfície do solo.

A partir desta constatação, surgiram sugestões de técnicas alternativas de preparo de solo e/ou composição de diferentes procedimentos e técnicas, com o objetivo de minimizar ou reverter o processo de compactação.

Entretanto, ocorre que já na operação de semeadura, realizada muitas vezes após operações de preparo tidas como descompactadoras do solo, a própria semeadeira ou as rodas do trator executam uma ação compactadora que, no caso, é localizada na linha de semeadura.

Os objetivos deste trabalho são: 1) identificar o significado de tal compactação sobre a produtividade agrícola-

la; 2) dimensionar as alterações, dessa forma determinadas, de algumas características e propriedades físicas do solo; 3) estabelecer relações entre tais alterações e alguns agentes ou fatores do processo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. CONCEITO DE COMPACTAÇÃO E ADENSAMENTO

Os fatores de produção do solo, físicos e químicos, são influenciados pelas características e propriedades do solo, destacando-se o volume poroso, lugar comum a todos os fenômenos físicos, químicos e biológicos, vitais para o bom desenvolvimento vegetal. Esse volume é uma função da estrutura do solo, considerada por BREWER (1964) como a própria constituição física do solo, expressa pelo tamanho, forma, distribuição ou arranjo dos espaços vazios e das partículas sólidas do solo, sejam elas primárias ou secundárias.

A modificação da estrutura original do solo pode provocar um aumento ou diminuição do volume poroso do solo, sendo essa alteração considerada, algumas vezes, como um dano físico ao solo, levando alguns estudiosos a recomendarem a manutenção de seu estado natural.

Nesse sentido, SPOOR (1982) define o dano físico ao solo como sendo alguma variação do volume poroso prejudicial ao desenvolvimento e produção das culturas, mas salienta que "dano" é um termo discutível, afirmando que uma alteração no vo

lume poroso da camada agricultável do solo é necessária para todos os solos a fim de prover um número suficiente de grandes poros que possibilite as condições físicas ideais para se atingir a máxima produção.

A diminuição do volume poroso, causada pela alteração da estrutura original do solo, está relacionada, segundo WATSON JR. et alii (1951) com adensamento e compactação, sendo consideradas como camadas adensadas por MONIZ (1981), aquelas em que sua compactação é devida aos processos pedogenéticos e camadas compactadas aquelas em que sua compactação é decorrente do manejo do solo.

## 2.2. EFEITOS DA COMPACTAÇÃO DO SOLO

### 2.2.1. Sobre a densidade do solo

A literatura sobre compactação do solo, segundo CAMARGO (1983), registra que o rearranjo das partículas primárias e agregados, pode ser considerado como decorrente do efeito mecânico proveniente da movimentação intensa do solo nas práticas de aração, gradagem e tratamentos culturais e do tráfego de máquinas pesadas. Dessa forma, segundo WATSON JR. et alii (1951), FLOCKER et alii (1960), GAVANDE (1973) e MUZILLI (1978), além da desagregação intensa, ocorre o surgimento de camadas compactadas no solo. O aparecimento destas camadas compactadas é mais rápido quando as operações de preparo do solo para o plantio se



repetem à mesma profundidade e são efetuadas com o grau inadequado de umidade do solo.

Segundo BAVER et alii (1972), o aumento da compactação depende principalmente do grau de umidade do solo e da energia aplicada. Com a aplicação de energia de compactação constante, PROCTOR (1933), determinou em laboratório a correlação de densidade do solo com umidade e verificou que, até um determinado limite, a densidade aumentava com o aumento da umidade, para em seguida decrescer. Verificou, ainda, que os valores máximos de densidade e os graus de umidade correspondentes são variáveis com as características do solo, destacando-se entre elas, a composição granulométrica e o teor de matéria orgânica. Dessa forma, a densidade do solo, por ser um parâmetro sensível à variação do volume do solo, é utilizada para indicar a ocorrência de compactação, devendo ser consideradas a textura, densidade de partículas e o teor de matéria orgânica para sua correta interpretação; podendo-se assim, estabelecer correlações entre densidade e outros atributos do solo.

Nesse sentido, BRADY (1974), relacionando a densidade do solo com atributos do perfil, menciona que em solos de textura mais fina, a densidade do solo normalmente varia de 1,00 a 1,60 g/cm<sup>3</sup> e em solos mais arenosos, de 1,20 a 1,80 g/cm<sup>3</sup>. No entanto, pela compactação, a densidade pode atingir valores mais elevados, de até 2,00 g/cm<sup>3</sup> nos solos argilosos, comprovando a maior facilidade de compactação desses solos.

O aumento da densidade dos solos, de acordo com

SHEAR & MOSCHLER (1969), BOUMA & HOLE (1971), SOUZA & COGO (1978), CINTRA et alii (1979) e KEMPER & DERPSCH (1979), acontecem principalmente na base da camada arável de áreas cultivadas, caracterizando a ocorrência de uma camada compactada.

A determinação da densidade do solo dos horizontes de um perfil, permite avaliar propriedades do solo tais como: drenagem, porosidade, condutividade hidráulica, permeabilidade ao ar e à água, capacidade de saturação, taxa de infiltração etc. KIEHL (1979) e SOANE (1968), consideram a densidade do solo como um importante parâmetro, o qual apresenta uma grande variação nos solos cultivados, sendo capaz de fornecer informações sobre processos de compactação e desagregação que ocorrem durante as práticas de manejo dos solos.

### 2.2.2. Sobre a porosidade dos solos

A compactação do solo, causada pela alteração da estrutura se reflete diretamente no volume poroso e na distribuição por tamanho dos poros do solo. LAWS & EVANS (1949) e MACHADO & BRUM (1978), constataram uma redução da porosidade total e aumento da microporosidade em solos cultivados continuamente. O mesmo efeito também foi encontrado por BRADY (1974) em solo argiloso, acompanhado de uma acentuada redução do teor de matéria orgânica, com o cultivo.

Essa tendência, no entanto, não impede que logo

após o preparo, ocorra um aumento da porosidade e da proporção de macroporos, na camada arável, devido aos espaços existentes entre os torrões (HENIN et alii, 1976).

A porosidade, que é uma consequência da estrutura, também está relacionada com a textura. Segundo BRADY (1974), a faixa de variação da porosidade total em solos arenosos é de 35 a 50% e de 40 a 60% em solos argilosos, podendo os limites superiores ser maiores quando os teores de matéria orgânica do solo forem elevados. Quanto à distribuição dos tamanhos de poros, de acordo com esse autor, nos solos argilosos, apesar de maior porosidade, tendem a predominar os microporos. Isto determina um maior conteúdo de água e uma menor aeração desses solos.

A compactação do solo resulta num aumento de sua densidade com consequente diminuição da porosidade não capilar e permeabilidade à água (MEREDITH & PATRICK JR., 1961), sendo essas variações, segundo RAGHAVEN et alii (1977), mais frequentes em solos de textura argilosa.

A compactação do solo pode ocorrer em diferentes profundidades e afetar de várias maneiras o desenvolvimento das plantas, pois em um solo compactado, o diâmetro dos poros é reduzido, prejudicando a aeração. DAY & HOLMGREN (1952), citam que por causa das modificações da estrutura do solo, ocorrem influências na difusão do oxigênio, afetando o desenvolvimento radicular.

Essas considerações foram confirmadas por TAYLOR et alii (1967) ao observarem que as raízes em fase de crescimento necessitam de um suprimento constante de ar e que seu crescimento depende da taxa de difusão de ar no solo. Segundo esses autores, a concentração de oxigênio no ar do solo tem um limite mínimo de 10 a 15%.

A difusão de oxigênio através da solução do solo é 10.000 vezes menor que através do próprio ar. Assim sendo, quando o solo estiver na capacidade de campo, a difusão de  $O_2$  dependerá do espaço poroso livre de água. Essa conclusão também é apresentada por CAMARGO (1983).

Quanto à proporção entre porosidade de aeração e porosidade para a água, diversos valores têm sido propostos. BAVER et alii (1972) citam que quando a porosidade de aeração está abaixo de 10% é insuficiente para a expansão radicular e HENIN et alii (1972) apresentam valores mínimos de macroporos entre 6 e 20% como necessários para assegurar um crescimento normal para algumas culturas. KIEHL (1979), afirma que o equilíbrio ideal entre poros é de 1/3 para macroporos e 2/3 para microporos com uma porosidade do solo em torno de 50%.

### 2.2.3. Sobre o desenvolvimento radicular

A compactação do solo, com conseqüente diminuição do volume poroso, também provoca o aumento da resistência à penetração das raízes.

Segundo LARSON & ALLMARAS (1971) muitas evidências mostram que o desenvolvimento das raízes das plantas é restringido pela elevada resistência do solo associada com a compactação. Esse fato já havia sido comprovado por VEIHMEYER & HENDRICKSON (1948), os quais verificaram que a densidade do solo acima da qual as raízes das plantas de girassol eram incapazes de penetrar no solo variava de 1,46 a 1,63 g/cm<sup>3</sup> em solos de textura argilosa, enquanto que BERTRAND & HONKE (1957) observaram que as raízes de plantas de milho não penetraram num subsolo com densidade de 1,5 g/cm<sup>3</sup>, mas desenvolveram muito bem num subsolo com densidade de 1,2 g/cm<sup>3</sup>.

PHILLIPS & KIRKHAM (1962), estudando o desenvolvimento do sistema radicular em plântulas de milho em condições de laboratório, verificaram que a taxa de alongação das raízes diminui linearmente quando a densidade do solo aumentou de 0,94 para 1,30 g/cm<sup>3</sup>. Para o arroz, GROMANN & QUEIROZ NETO (1966), observaram que a densidade do solo restritiva ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas era superior a 1,42 g/cm<sup>3</sup> em Latossolo Roxo e 1,38 g/cm<sup>3</sup> em Podzólico Vermelho Amarelo Orto.

Ainda com relação a esse aspecto, BARLEY (1963) verificou o cessamento da alongação das raízes de milho quando os valores da resistência à penetração excederam a 19 kgf/cm<sup>2</sup>, estando o solo com umidade na capacidade de campo.

#### 2.2.4. Sobre a resistência do solo avaliada com o penetrômetro

Em áreas cultivadas, o surgimento das camadas compactadas, caracterizada pela diminuição da macroporosidade e porosidade total e identificadas pela maior densidade do solo, tende a limitar o crescimento radicular das plantas por causa da maior resistência à penetração e menor aeração que apresentam.

LARSON (1962), considera a densidade do solo, por seu relacionamento com a compactação, como uma medida do impedimento mecânico, desde que sejam consideradas a textura e umidade do solo. Segundo VOORHEES et alii (1978), a resistência à penetração é um indicador mais sensível de compactação do que a densidade do solo. Esse autor constatou que para o mesmo tráfego de veículos sobre o solo, a densidade aumentou 20%, ao passo que a resistência à penetração aumentou 400%.

Os dados da resistência à penetração variam com a textura e com a umidade do solo. Segundo BAVER et alii (1973), solos arenosos apresentam menor resistência à penetração do que solos argilosos, o que é explicado pela força de coesão menos intensa que os grãos de areia apresentam. Quanto ao efeito da umidade, TAYLOR & RATLIFF (1969), EAVIS (1972), BAVER et alii (1973), TOWNER (1974), NELSON et alii (1975) e SWAIN & SPOOR (1977), relacionam a diminuição da resistência à penetração a aumentos na umidade do solo.

Em condições de campo, a utilização do penetrômetro fornece facilmente os valores de resistência do solo (GILL, 1980; BRADFORD, 1980; SOANE & STAFFORD, 1983).

Além deste aspecto, VOORHEES (1983) considera que a resistência ao penetrômetro é provavelmente um indicador mais sensível das condições do solo do que a densidade, por ser esta última dependente, principalmente, do valor de poros e relativamente independente dos planos de fratura ou de ruptura do solo.

Essas afirmações são reforçadas por MULQUEEN et alii (1977) ao relatarem que o índice de cone determinado pelo penetrômetro, é um parâmetro composto que envolve componentes de cisalhamento, resistência à compressão e ao atrito solo-metal.

O índice de cone é uma medida extremamente dependente da umidade do solo (HENRY & McKIBBEN, 1967; FREITAG, 1968; CHANCELLOR, 1971; BYRD & CASSEL, 1980; AYRES & PERUMPRAL, 1982).

Por esta razão, os resultados dos testes com o penetrômetro devem ser acompanhados do teor de água no solo, no momento do teste, sendo que OUWERKERK & BOONE (1970), relatam que a resistência ao penetrômetro, aumenta proporcionalmente com a diminuição do teor de água e é visivelmente maior em áreas onde o solo não foi mobilizado.

AYRES & PERUMPRAL (1982) estudaram a correlação entre densidade e teor de água de cinco diferentes tipos de solos, sobre o índice de cone. Os autores concluíram que o teor

de água específico para o máximo índice de cone depende do tipo de solo e aumenta quanto a porcentagem de argila do solo aumenta.

Os penetrômetros são instrumentos utilizados frequentemente para medir a resistência do solo à penetração das raízes das plantas (WHITELEY & DEXTER, 1981).

#### 2.2.5. Sobre a infiltração e retenção de água

O aumento da microporosidade decorrente do processo de compactação, resulta no aumento da capacidade e da força da retenção da água nos solos. Isto é explicado por HILLEL (1970), segundo o qual, à medida que se aplica uma determinada sucção ao solo, em primeiro lugar há o esvaziamento dos macroporos que apresentam maior condutividade, ficando a água retida nos poros menores, onde a tortuosidade e a resistência hidráulica são maiores.

Esse processo também é afetado pela textura e pelo teor de matéria orgânica no solo; assim, quanto maior o teor de argila, maior será o conteúdo de água correspondente a dada tensão. Isso acontece por causa do maior volume de microporos, responsáveis pela maior força de retenção de água em relação aos macroporos (HILLEL, 1970).

O cultivo inadequado dos solos pode originar camadas compactadas que, conforme BAEUMER & BAKERMANS (1973) e



SOANE & PIDGEON (1975), além de diminuir a infiltração da água nos solos, são responsáveis pela retenção da água a maiores tensões, dificultando sua absorção pelas plantas.

A velocidade de infiltração da água no solo é uma propriedade muito influenciada pela estrutura do solo e outras propriedades físicas. A textura, a estrutura, a densidade do solo, o grau de compactação, a distribuição por tamanho dos poros, o tipo de argila, a condutividade hidráulica e o gradiente de umidade, influem na velocidade com que a água penetra no solo (PARR & BERTRAND, 1960; KOHNKE, 1968; GONZALVES & GAVANDE, 1969; MILLER, 1969; HILLEL, 1970).

O surgimento de camadas compactadas em solos cultivados reduz a infiltração da água (HILLEL, 1970), o que concorre para um maior escoamento superficial, menor armazenamento de água em profundidade e aumento da erosão.

O impacto das gotas de chuva, provoca com a destruição dos agregados na superfície do solo, o aparecimento de uma crosta superficial, que segundo NORTON (1940), tende a diminuir a velocidade de infiltração, tendo MANNERING et alii (1966), informado que a destruição de tal crosta aumenta a taxa de infiltração em 80%.

## 2.3. INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

A operação de preparo do solo é tida como uma técnica indispensável à eficiente produção agrícola. Para tal, esta tem que ser adaptada para cada condição específica de solo e espécie cultivada. O preparo do solo pode influenciar o desenvolvimento das plantas, uma vez que ele altera decisivamente as condições físicas do solo, as quais indicam se para uma certa cultura, o solo deve ser preparado, em que intensidade e a que profundidade.

O preparo do solo objetiva estabelecer condições favoráveis ao desenvolvimento das plantas; neste sentido, BAEUMER (1970), cita a aração, por meio da qual o solo é desagregado e a camada arada é invertida, como a principal operação, facilitando o controle de ervas, o enterrio de restos de cultura e o estabelecimento de condições físicas de solo propícias para a semeadura. Mas, segundo o autor, torna-se necessário uma alternativa para este tradicional sistema de preparo, devido ao tempo consumido nas operações, o baixo desempenho do equipamento e o alto consumo de energia, responsáveis pelo encarecimento do sistema.

O tipo e a intensidade do preparo, podem afetar as condições físicas do solo e, segundo BATEMAN (1963), numa avaliação das respostas das culturas quando afetadas pelas operações mecanizadas, os quatro principais fatores físicos do solo

que necessitam ser considerados são: a) teor de água; b) temperatura; c) aeração; e d) impedância mecânica. A compactação do solo pode influenciar todos esses fatores, afetando as plantas durante alguma parte do seu ciclo de desenvolvimento. SCHUMACHER & SMUCKER (1981) afirmam que baixas concentrações de oxigênio e alta impedância mecânica, são duas conseqüências da compactação do solo, freqüentemente implicadas na redução das produções das culturas.

Sempre que o solo é desagregado durante o preparo para a semeadura, ocorre uma redução de sua densidade, devido ao aumento de seu volume poroso, porém, de forma transitória. Após a primeira chuva, a densidade do solo pode retornar a valores próximos dos que apresentava antes das operações de preparo (RANEY & EDMINSTER, 1961).

SHEAR & MOSCHLER (1969), estudando durante seis anos a cultura do milho, conduzida sob tratamentos de preparo convencional e de semeadura direta, em solo de textura média, não encontraram variações significativas da densidade do solo entre o mobilizado e o não mobilizado. Efeito semelhante foi verificado por BENEZ (1980), quando detectou em Terra Roxa Estruturada, nos tratamentos com solo mobilizado, uma redução na densidade do solo após a operação de preparo, a qual aumentou a seguir, até a época da colheita do milho, atingindo valores próximos aos existentes antes do preparo. Resultados semelhantes foram obtidos por THREADGILL (1982) estudando diferentes sistemas de preparo do solo, todos realizados após a operação de sub

solagem, em um solo de textura barro-arenosa. O autor verificou através de valores de índice de cone, que o retorno às condições físicas originais do solo ocorreu tanto nas parcelas com semeadura direta, como no solo mobilizado com arado de aiveca, dois anos após a instalação do experimento.

Estudando as operações de preparo do solo, WEAVER (1950) e BOUGERT et alii (1961) pesquisaram a compactação produzida pelo tráfego de maquinaria agrícola e verificaram que a máxima compactação ocorria, para um teor de água no solo considerado ótimo para a operação de aração, sendo que NICHOLS & REAVES (1955) mostraram que esse teor de água encontrava-se próximo ao limite de plasticidade do solo.

Segundo STIT et alii (1982), muitas variáveis desempenham um complexo papel no desenvolvimento de camadas compactadas induzidas pelos equipamentos de preparo, assim como na susceptibilidade dos solos em formá-las. BAVER et alii (1973) afirmam que essa ação de compactação é nitidamente aumentada quando a profundidade de preparo do solo é mantida constante por muitos anos.

As camadas compactadas formadas pelo manejo inadequado dos solos impedem o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, e com um sistema radicular superficial, as plantas tornam-se mais susceptíveis aos veranicos e exploram muito pouco a fertilidade dos solos (SEGUY et alii, 1984). Estudando os efeitos da severa deficiência de água no solo sobre o desenvol-

vimento e a produção da cultura do milho, ROBINS & DOMINGO (1953) verificaram que a diminuição do teor de água em certos estádios do desenvolvimento fisiológico do milho, reduziu marcadamente a produção de grãos. Tal déficit, para um período de um a dois dias durante a época de florescimento, resultou em 22% de redução na produção e, em período de seis a oito dias, ocasionou redução de cerca de 50%.

BAUDER et alii (1981), pesquisaram durante dez anos os efeitos de quatro sistemas de preparo de um solo de textura barro-argilosa, sobre algumas de suas características físicas e na cultura do milho. Os autores verificaram que a máxima penetração de raízes ocorreu para os tratamentos que utilizaram arado de aiveca e arado escarificador, enquanto que a mínima pénetração de raízes ocorreu nos tratamentos com gradagem superficial e com semeadura direta.

Com base neste estudo, os autores assumem que as operações contínuas de preparo reduzido, tais como a semeadura direta ou a gradagem superficial, podem ser responsáveis pelo desenvolvimento de camadas no solo potencialmente restritivas ao desenvolvimento das raízes. Segundo SOANE & PIDGEON (1975), no sistema de semeadura direta, estas zonas compactadas freqüentemente ocorrem próximas à superfície do solo, apresentando elevada densidade do solo, baixa porosidade de aeração e alto índice de cone.

Os latossolos, de um modo geral, segundo o Soil

Survey Staff (USDA, 1975) apresentam características peculiares e únicas de limitações, possibilidades de uso e de exigências de manejo. Estas são: a baixa fertilidade e a baixa reserva natural de nutrientes relacionadas ao intenso intemperismo que sofreram. Além disso, apresentam elevada permeabilidade, devida à boa agregação proveniente de altos teores de óxidos e hidróxidos de Fe, Al e Mn e, por conseguinte, baixa erodibilidade.

A erosão desses latossolos nos Estados do Paraná e Rio Grande do Sul, conforme cita MUZILLI (1978), tem assumido proporções assustadoras nos últimos anos. Esta erosão deve estar associada à diminuição da permeabilidade e taxa de infiltração de água devidas ao intenso preparo a que esses solos estão submetidos com o desenvolvimento de culturas anuais de inverno e verão. A diminuição da taxa de infiltração de água, por sua vez, deve estar associada à alteração das propriedades físicas, como a porosidade, densidade do solo e resistência à penetração. Essas alterações das propriedades físicas pelo cultivo intenso em Latossolos não têm sido devidamente pesquisadas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA

O experimento foi conduzido em um solo classificado por VERDADE et alii (1957), como Latossolo Vermelho-Amarelo, série Ipiranga, fase Terraço, de textura média, localizado no Departamento de Agronomia da Universidade de Taubaté, Estado de São Paulo. As coordenadas geográficas do Departamento de Agronomia são as seguintes: latitude  $23^{\circ}02'$  S, longitude  $45^{\circ}31'$  W e altitude de 577 m.

Os dados referentes à composição granulométrica e química do solo utilizado no estudo são mostrados na Tabela 1.

Os dados físicos apresentados pelo solo antes e após o preparo são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 1.** Resultados da caracterização granulométrica e química do solo, na camada 0-30 cm (média de três repetições).

a.g.	a.m.	Granulometria (% TFSE)			
		a.f.	areia	site	argila
10,41	16,36	25,63	52,40	9,42	38,14

---

pH	M.O. (%)	V%	Atributos químicos emg/100 ml (TFSA)				
			PO <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	H+Al
4,5	2,5	52,4	11	0,35	2,30	1,20	3,50

**Tabela 2.** Dados Físicos apresentados pelo solo antes e após o preparo, na camada 0-30 cm (média de três repetições).

Antes								
Prof. (cm)	Ds (g/cm <sup>3</sup> )	Dp (g/cm <sup>3</sup> )	Mac. (%)	Mic. (%)	Ptc (%)	Ptd (%)	U (%)	Resist. (Kgf/cm <sup>2</sup> )
0 -15	1,28	2,58	13,80	34,02	50,39	47,82	14,30	4,58
15-30	1,31	2,61	11,77	35,45	49,81	47,22	14,62	4,93

---

Após								
Prof. (cm)	Ds (g/cm <sup>3</sup> )	Dp (g/cm <sup>3</sup> )	Mac. (%)	Mic. (%)	Ptc (%)	Ptd (%)	U (%)	Resist. (Kgf/cm <sup>2</sup> )
0 -15	1,0	2,60	23,80	31,33	57,69	55,13	12,73	1,28
15-30	1,18	2,61	22,00	32,09	56,33	54,09	13,15	1,43

Sendo:

- Ds : densidade do solo em g/cm<sup>3</sup>
- Dp : densidade das partículas do solo em g/cm<sup>3</sup>
- Mac: porcentagem de macroporos
- Mic: porcentagem de microporos
- Ptc: porosidade total calculada em porcentagem
- Ptd: porosidade total determinada em porcentagem
- U : umidade gravimétrica em porcentagem, nas condições de campo.
- Resist : resistência à penetração do solo, determinada pelo penetrômetro em Kgf/cm<sup>2</sup>.



O clima da região, classificado por STETZER (1946), com base na classificação de Köppen, como Cwa, correspondente a um clima quente com invernos secos. De acordo com Thornthwite, o clima é da classe C2rB'4, correspondente a um clima úmido, com pequeno déficit hídrico, mesotérmico e com vegetação o ano todo.

O balanço hídrico do local, com base em 5 anos de observação, evidencia que a média anual de precipitação pluvial é de 1.380 mm, com excedentes nos meses de janeiro, fevereiro e março, déficit em julho e agosto e com temperatura média anual ao redor de 21,4°C.

O relêvo do local é ondulado com patamares planos e grandes áreas de várzea. O experimento foi instalado em um patamar com uma declividade média de 2%.

### 3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento constou da semeadura do milho (*Zea mays* L.) em sulcos e em quatro níveis diferentes de umidade do solo, sob duas condições, a saber:

- a) Com compactação do sulco após a semeadura;
- b) Sem compactação do sulco após a semeadura.

Desta combinação resultaram 8 tratamentos que foram dispostos em um delineamento de blocos ao acaso em rela-

ção aos níveis de umidade e com três repetições (Tabela 3 e Figura 1).

Tabela 3. Distribuição dos tratamentos em relação aos sistemas de semeadura e níveis de umidade.

Tratamentos	Sistema de semeadura	Níveis de umidade
1	sem compactação	primeiro
2	sem compactação	segundo
3	sem compactação	terceiro
4	sem compactação	quarto
5	com compactação	primeiro
6	com compactação	segundo
7	com compactação	terceiro
8	com compactação	quarto

### 3.3. CARACTERÍSTICAS DA SEMENTE UTILIZADA

Cultivar	: HMD 8214
Porcentagem de germinação	: 98%
Pureza	: 100%
Germinação mínima	: 80%
Peneira	: 24

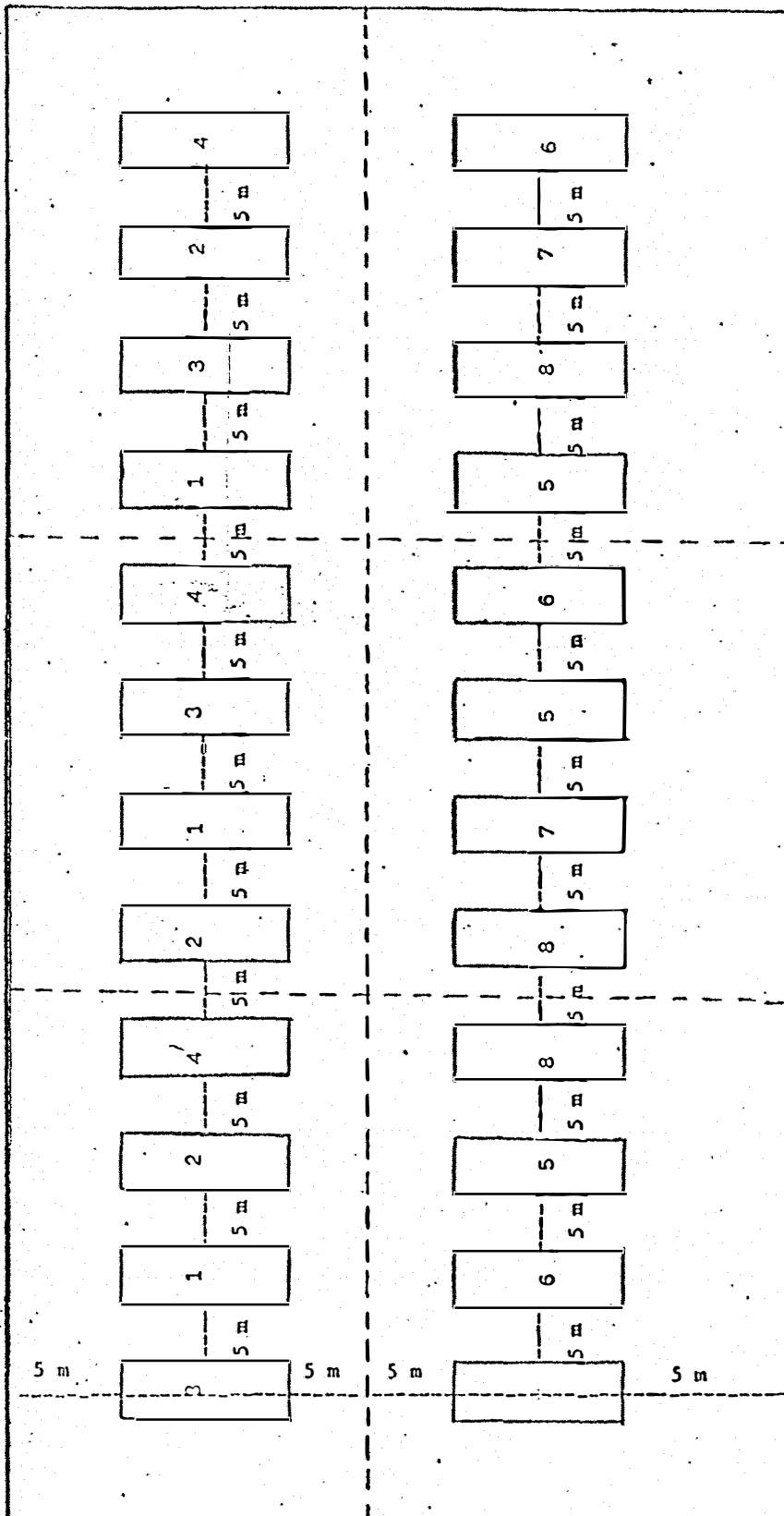


Fig. 2. Esquema da Distribuição dos Tratamentos no Delineamento em blocos casualizados para os níveis de unidade.

Figura 1. Esquema da distribuição dos tratamentos no delineamento em blocos casualizados para os níveis de unidade.

### 3.4. NÍVEIS DE UMIDADE DO SOLO

Os níveis de umidade do solo, nos quais foram realizadas as semeaduras, foram escolhidos com base nos valores de umidade correspondentes à Capacidade de Campo e Limite de Plasticidade. Com os dados obtidos estabeleceu-se a seguinte relação:

LP: Umidade correspondente ao Limite de Plasticidade

CC: Umidade correspondente à Capacidade de Campo

$$LP - CC = x$$

Primeiro nível de umidade:  $LP + x$

Segundo nível de umidade : LP

Terceiro nível de umidade: CC

Quarto nível de umidade :  $CC - x$

O cálculo da necessidade de água em função da umidade atual nas condições de campo, para se atingir os valores pretendidos, foi determinado pela equação:

$$H = \frac{(U\%'' - U\%''') - Ds - p}{100}$$

sendo:

H : altura da lâmina de água em cm

U%' : nível de umidade pretendido

U%'' : nível de umidade nas condições de campo

Ds : densidade do solo

p : profundidade a se irrigar

Os dados dos níveis de umidade pretendidos, calculados pela equação acima, e os níveis de umidade obtidos nas condições de campo, estão nas Tabelas 4 e 5.

**Tabela 4.** Valores dos níveis de umidade calculados para a camada 0-30 cm e utilizados para o fornecimento de água nas duas condições de semeadura (média de três repetições).

Nível	U%	Condição
1	24,55	teor acima do limite de plasticidade
2	20,85	teor no limite de plasticidade
3	17,15	teor na capacidade de campo
4	13,45	teor abaixo da capacidade de campo

**Tabela 5.** Valores dos níveis de umidade determinados nas condições de campo, após fornecimento de água, utilizados nas duas condições de semeadura (média de três repetições).

Nível	U%	Condição
1	23,87	teor acima do limite de plasticidade
2	19,15	teor no limite de plasticidade
3	17,10	teor na capacidade de campo
4	13,30	teor abaixo da capacidade de campo

A variação entre os níveis de umidade propostos e os níveis de umidade determinados nas condições de campo, para as duas condições de semeadura, pode ser explicada, devido a movimentação da água, tanto no sentido descendente, como lateral, além da camada 0-30 cm, provocando desse modo, uma perda no volume de água fornecido.

### 3.5. MONITORAMENTO DA UMIDADE

Os níveis de umidade propostos foram obtidos, nas condições de campo, através do fornecimento de água por aspersão, com baixa intensidade, em volumes previamente calculados e testados de acordo com a equação citada no item anterior. Seu monitoramento foi feito nas profundidades 0-15 e 15-30 cm através de determinações gravimétricas.

### 3.6. PREPARO DO SOLO

A área escolhida para a instalação do experimento foi preparada, após ter sido feito calagem, com uma aração e duas gradagens.

A seguir, foram demarcadas as parcelas e blocos, correspondentes aos diferentes teores de umidade e condições de semeadura, conforme apresentado na Figura 1.

### 3.7. INSTALAÇÃO DOS TRATAMENTOS

As parcelas foram demarcadas em nível, seguindo o croqui de campo, com as seguintes dimensões:

comprimento:	5,00 m
largura :	5,00 m
área :	25,00 m <sup>2</sup>
área útil :	4,00 m <sup>2</sup>

Tanto as parcelas correspondentes ao tratamento sem compactação no sulco de semeadura, como aquelas com compactação, foram distribuídas no sentido longitudinal da área (Figura 1).

### 3.8. CALAGEM E ADUBAÇÃO

A calagem foi feita a lanço, um mês antes da semeadura, com calcário dolomítico e sua quantidade foi calculada em função da análise de solo, para elevar a saturação de bases a 70%.

A adubação também foi feita com base na análise de solo e de acordo com a recomendação do Boletim Técnico número 100, do Instituto Agrônomo de Campinas.

### 3.9. SEMEADURA

Antes do umedecimento das parcelas, foi feita a semeadura na razão de 8 sementes/m linear, utilizando-se de uma plantadeira de duas linhas, com um espaçamento na entre-linha de 1,00 m e tracionada por um micro-trator, a uma velocidade média de 2,50 km/h.

A compactação dos tratamentos com compactação foi feita com duas passadas da roda do trator no sulco de semeadura, o qual apresentava as seguintes características:

Marca : MF - 265  
Peso : 3,5 toneladas  
Bitola dianteira : 1,32 a 1,93 m  
Bitola traseira : 1,42 a 2,23 m  
Distância entre eixos: 2,13 m

A semeadura foi realizada em 01/11/90, os dados da porcentagem de germinação foram coletados em 19/11/90 e, a colheita foi realizada no dia 09/05/91.

### 3.10. DETERMINAÇÕES FÍSICAS

Uma semana após a semeadura foram coletadas, nas linhas de semeadura, na profundidade de 0-15 cm, amostras de solo para as determinações de: densidade do solo, densidade de partículas do solo, porosidade total calculada, porosidade total determinada, macro e microporosidade, poros bloqueados e umidade gravimétrica. Foram também coletados dados da capacidade de infiltração e resistência do solo à penetração.

#### 3.10.1. Densidade de partículas do solo

Foi determinada pelo método do balão volumétrico utilizando-se álcool anidro para determinar o volume dos sólidos. Os valores da densidade de partículas foram obtidos pela divisão do peso de uma amostra de 20 g de Terra Fina Seca em Estufa pelo respectivo volume ocupado pelas partículas, conforme proposto pelo S.N.L.C.S.-EMBRAPA (1979).



### 3.10.2. Densidade do solo

Esse parâmetro foi determinado utilizando-se amostras indeformadas, obtidas através de um anel volumétrico de 10 cm de diâmetro e 7 cm de altura. Os valores da densidade do solo foram calculados pela divisão do peso de Terra Seca em Estufa pelo volume do anel, conforme recomendação do S.N.L.C.S.- EMBRAPA (1979).

### 3.10.3. Porcentagem da porosidade total calculada

A porosidade total calculada foi estimada por meio da densidade do solo e densidade de partículas do solo, mediante a relação:

$$Ptc\% = 100 (1 - Ds/Dp)$$

### 3.10.4. Porcentagem da porosidade total determinada, de macroporos, de microporos e poros bloqueados

Essas determinações foram feitas utilizando-se do método da mesa de tensão, recomendado pelo S.N.L.C.S.- EMBRAPA (1979), que consiste em se aplicar, em amostras indeformadas e saturadas, uma tensão correspondente a 50 cm de coluna de água ou 0,05 atm. A quantidade de água retirada por essa força corresponde ao volume de água presente nos macroporos, que é igual ao volume de macroporos. Após a secagem em estufa, determinou-se o volume de água evaporado, que é igual ao volume de

microporos. A Porosidade Total Determinada é a soma dos volumes de macroporos e microporos.

A determinação do volume de poros bloqueados foi feita pela diferença entre os valores da porcentagem da Porosidade Total Calculada e a porcentagem da Porosidade Total Determinada.

### 3.10.5. Capacidade de campo

Esse valor foi obtido utilizando-se da metodologia recomendada pelo S.N.L.C.S.-EMBRAPA (1979), que consiste em se determinar a umidade de uma secção de solo de 100 x 100 cm, nas condições de campo e à profundidade de 25 cm, após ter sido esta saturada. O valor da capacidade de campo foi aquele que apresentou umidade igual entre dois intervalos de amostragem. Os intervalos considerados para as determinações das amostragens foram: 24, 48, 72 e 96 horas.

### 3.10.6. Limite de plasticidade

Esse parâmetro foi determinado seguindo-se a recomendação de KIEHL (1979), que consiste em se utilizar de uma quantidade de 10 a 15 g de TFSA que passou por uma peneira de 0,40 mm de malha. A terra foi molhada e com os dedos homogeneizou-se a massa. Em seguida, a amostra foi rolada sobre uma placa de vidro até obter um bastonete de 3 mm de diâmetro. Devolveu-se a terra do bastonete à massa inicial, trabalhando-a com os dedos para perder umidade e formar novo bastonete com

igual diâmetro. Essas operações foram repetidas até que o cilindro a ser formado apresentasse sinais de ruptura ao atingir 3 mm de diâmetro. Em seguida, pesou-se o bastonete, secou-se em estufa e calculou-se a porcentagem de água.

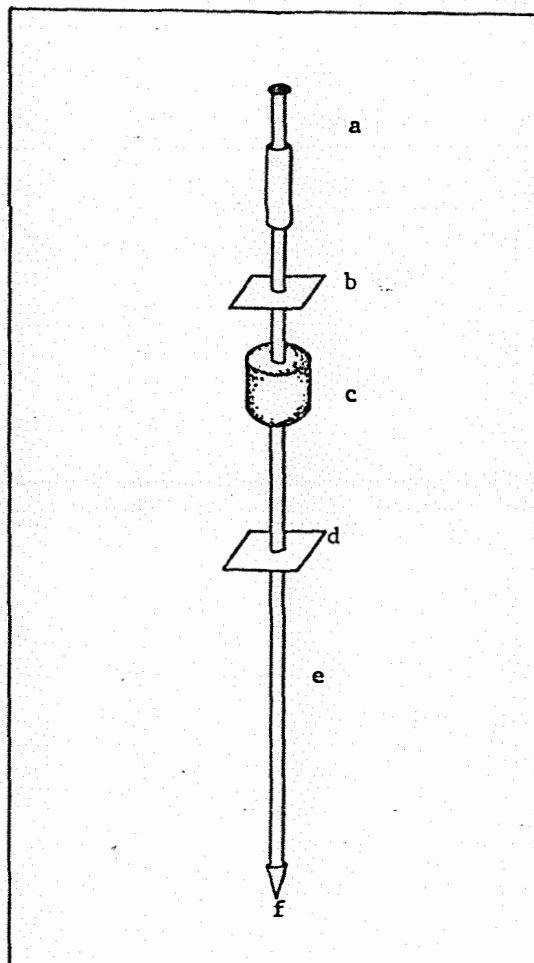
O limite de plasticidade foi considerado como sendo a média da porcentagem de água obtida com três determinações realizadas independentemente.

### 3.10.7. Capacidade de infiltração.

Os dados da capacidade de infiltração foram obtidos utilizando-se do método recomendado pelo S.N.L.C.S. da EMBRAPA (1979), que consiste em se determinar o volume de água infiltrado em relação ao tempo em um sistema de dois anéis concêntricos.

### 3.10.8. Resistência à penetração

Esse valor foi obtido com a utilização de um penetrômetro de impacto, determinando-se através do índice de cone a resistência do solo em  $\text{Kgf/cm}^2$  (Figura 2).



**Figura 2.** Esquema do penetrômetro de impacto: a) cabo; b, d) limites do curso de peso; c) peso; e) haste graduada; f) cone.

Fonte: JORGE (1980).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE PARÂMETROS FÍSICOS DO SOLO NAS CONDIÇÕES DE SEMEADURA SEM COMPACTAÇÃO E COM COMPACTAÇÃO EM QUATRO NÍVEIS DE UMIDADE DO SOLO

A seguir serão apresentados e discutidos os dados de alguns parâmetros físicos nas condições de semeadura sem e com compactação em quatro níveis de umidade do solo.

#### 4.1.1. Efeito na variação da densidade do solo

A apresentação e análise estatística dos dados da densidade do solo nos tratamentos com e sem compactação em quatro níveis de umidade do solo, na camada 0-15 cm das linhas de plantio do milho, estão nas Tabelas 6, 7 e 8.

**Tabela 6.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de densidade do solo, nos tratamentos com e sem compactação, nos quatro níveis de umidade do solo.

Tratamentos	Repetições	Médias (g/cm <sup>3</sup> )	5%	1%
com compactação	12	1,32	a	A
sem compactação	12	1,22	b	B

D.M.S. 5% = 0,0124

D.M.S. 1% = 0,017

CV% = 1,124

As médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

Observa-se pela análise da Tabela 6, que houve uma diferença significativa, tanto a nível de 5% como 1% de probabilidade, para os valores de densidade do solo entre os tratamentos sem e com compactação, sendo maior para o tratamento com compactação. Tal fato se explica porque, segundo BAVER (1972), CAMARGO (1983), MEREDITH & PATRICK (1961) e RAGHAVAN et alii (1977) no tratamento com compactação, a aplicação de uma força conduz a uma maior aproximação de agregados e partículas, diminuição do volume poroso e conseqüente aumento no valor da densidade do solo.

**Tabela 7.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de densidade do solo entre os níveis de umidade, dentro do tratamento sem compactação.

Níveis de umidade (%)	Repetições	Médias (g/cm <sup>2</sup> )	5%	1%
23,87	3	1,24	a	A
19,15	3	1,23	ab	A
17,10	3	1,22	ab	A
13,30	3	1,21	ab	A

D.M.S. 5% = 0,033

D.M.S. 1% = 0,043

CV% = 1,124

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

Considerando a variação da densidade do solo entre os níveis de umidade dentro do tratamento sem compactação, observa-se uma pequena variação, com os valores aumentando com o aumento do teor de água, porém sem serem significativos a 5% e 1% de probabilidade. Esses pequenos aumentos dos valores da densidade do solo com o aumento da umidade pode ser, decorrente da pressão exercida pelas partes ativas da plantadeira durante a semeadura, o que pode ser explicado, segundo BAVER et alii (1972) e STIT et alii (1982).

Tabela 8. Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de densidade do solo entre os níveis de umidade dentro do tratamento com compactação.

Níveis de umidade (%)	Repetições	Médias (g/cm <sup>2</sup> )	5%	1%	$\Delta$ ds
23,87	3	1,46	a	A	0,22
19,15	3	1,30	b	B	0,07
17,10	3	1,28	b	B	0,06
13,30	3	1,24	c	C	0,03

D.M.S. 5% = 0,33

D.M.S. 1% = 0,043

CV% = 1,124

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

$\Delta$ ds - diferença entre valores de densidade do solo entre os tratamentos com e sem compactação nos quatro níveis de umidade.

Dentro do tratamento com compactação, verifica-se que os valores de densidade do solo aumentam com o aumento nos teores de umidade do solo, apresentando uma diferença significativa a nível de 5% e 1% de probabilidade, principalmente, entre os teores de baixa e alta umidade. Entre os teores intermediários de umidade, não houve diferença significativa, diferindo, no entanto, dos níveis de alta e baixa umidade do solo.

Este comportamento, segundo PROCTOR (1933), BOURGET (1961), NICHOLS & REAVES (1955), WEAVER (1961) e BAVER (1972) demonstra os efeitos dos teores elevados de umidade na diminuição dos espaços porosos em solos submetidos à aplicação de uma força de compactação, atuando a água como lubrificante e facilitando a aproximação das partículas.



#### 4.1.2. Efeito na variação da Porosidade Total Calculada

A apresentação e análise estatística dos dados da porcentagem da porosidade total calculada nos tratamentos com compactação e sem compactação a quatro níveis de umidade, na camada de 0-15 cm, nas linhas de plantio da cultura de milho, estão nas Tabelas 9, 10 e 11.

**Tabela 9.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias da porcentagem da Porosidade Total Calculada nos tratamentos com e sem compactação nos quatro níveis de umidade.

Tratamentos	Repetições	Médias(%)	5%	1%
sem compactação	12	53,54	a	A
com compactação	12	49,51	b	B

D.M.S. 5% = 0,437

D.M.S. 1% = 0,602

CV% = 0,985

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

A análise dos dados da **Tabela 9** demonstra que houve uma diferença significativa entre as médias da porcentagem da Porosidade Total Calculada, ao nível de 5% e 1% de probabilidade, nos tratamentos sem e com compactação, sendo superior no tratamento sem compactação. Tal comportamento evidencia, segundo WATSON JR. et alii (1951), LAWS & EVANS (1949), MONIZ (1981) e MACHADO & BRUM (1978), o efeito da compactação na redução do volume poroso do solo.

Como esse parâmetro é calculado em função da den

cidade do solo e densidade das partículas do solo, sendo a última praticamente constante, o valor da Porosidade Total Calculada é, portanto, causa da variação da densidade do solo.

Tabela 10. Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias da porcentagem da Porosidade Total Calculada entre os níveis de umidade, dentro do tratamento sem compactação.

Níveis de umidade (%)	Repetições	Médias (%)	5%	1%
23,87	3	52,79	a	A
19,15	3	53,24	a	A
17,10	3	53,43	a	A
13,30	3	53,51	a	A

D.M.S. 5% = 1,181

D.M.S. 1% = 1,513

CV % = 0,985

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

Pela análise dos dados da Tabela 10, verifica-se que, apesar dos valores da porcentagem da Porosidade Total Calculada terem tido um acréscimo com a diminuição nos valores dos níveis de umidade do solo, tal variação não é significativa na análise estatística, embora possa ser explicada conforme já discutido no item 4.1.1, com dados da Tabela 7.

**Tabela 11.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de porcentagem da Porosidade Total Calculada entre os níveis de umidade, dentro do tratamento com compactação.

Níveis de umidade (%)	Repetições	Médias (%)	5%	1%	$\Delta$ Ptc%
23,87	3	44,77	c	C	8,02
19,15	3	50,00	b	B	3,24
17,10	3	50,76	b	B	2,67
13,30	3	52,41	a	A	1,50

D.M.S. 5% = 1,181

D.M.S. 1% = 1,513

CV% = 0,983

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

$\Delta$  Ptc% - diferença entre os valores de Porosidade Total Calculada entre os tratamentos com e sem compactação nos quatro níveis de umidade.

A análise dos dados da **Tabela 11**, permite observar que houve uma variação significativa ao nível de 5% e 1% de probabilidade entre as médias da porcentagem da Porosidade Total Calculada entre os níveis de umidade no tratamento com compactação, com os valores aumentando para um decréscimo na umidade do solo. Tal resultado concorda com as conclusões de PROCTOR (1933) e BAVER (1972), de que o aumento no teor de umidade do solo facilita, até um determinado valor, o processo de compactação, com conseqüente redução no volume poroso do solo. Não houve diferença significativa tanto ao nível de 5% como 1% de probabilidade entre teores intermediários de umidade, devido possivelmente à pequena variação existente entre eles.

### 4.1.3. Efeito na variação da Porosidade Total

#### Determinada

A apresentação e análise estatística dos dados da porcentagem da Porosidade Total Determinada nos tratamentos sem e com compactação em quatro níveis de umidade do solo, na camada 0-15 cm das linhas de plantio do milho estão nas Tabelas 12, 13 e 14.

**Tabela 12.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de porcentagem de Porosidade Total Determinada nos tratamentos com e sem compactação nos quatro níveis de umidade.

Tratamentos	Repetições	Médias(%)	5%	1%
sem compactação	12	48,13	a	A
com compactação	12	43,55	b	B

D.M.S. 5% = 0,850

D.M.S. 1% = 1,089

CV% = 1,121

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

Os dados e análise estatística da porcentagem da Porosidade Total Determinada nos tratamentos com e sem compactação estão na Tabela 12.

A comparação entre as médias da Porosidade Total Determinada nos quatro níveis de umidade mostrou que há uma diferença significativa ao nível de 5% e 1% de probabilidade entre as condições com e sem compactação, sendo maior para o tratamento sem compactação.

Observou-se nessa análise um comportamento seme

lhante ao da porcentagem de Porosidade Total Calculada apresentando, no entanto, valores menores, que se explica, segundo BALLESTERO (1985), pela presença de poros bloqueados maior no tratamento com compactação devido ao efeito da aplicação de forças.

Tabela 13. Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de porcentagem de Porosidade Total Determinada entre os níveis de umidade dentro do tratamento sem compactação.

Níveis de umidade (%)	Repetições	Médias (%)	5%	1%
23,87	3	46,76	c	B
19,15	3	47,85	bc	AB
17,10	3	48,28	b	AB
13,30	3	49,92	a	A

D.M.S. 5% = 1,202

D.M.S. 1% = 1,540

CV% = 1,121

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

A comparação entre as médias da porcentagem da Porosidade Total Determinada mostrou que há uma diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% e 1% de probabilidade, principalmente entre os dois valores extremos de umidade do solo. Como o tratamento é sem compactação, teoricamente, não deveria haver diferença estatisticamente significativa entre os níveis de umidade. Tal fato, porém, pode ser explicado, conforme discutido no item 4.1.1, devido à ação de compactação dos órgãos ativos da sementeira.

Tabela 14. Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de porcentagem de Porosidade Total Determinada entre os níveis de umidade, dentro do tratamento com compactação.

Níveis de umidade (%)	Repetições	Médias (%)	5%	1%	$\Delta$ Ptd%
23,87	3	37,53	d	C	9,23
19,15	3	44,00	c	B	3,85
17,10	3	45,31	b	B	2,97
13,30	3	47,36	a	A	2,56

D.M.S. 5% = 1,206

D.M.S. 1% = 1,540

CV% = 1,121

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

$\Delta$ Ptd% - diferença entre os valores de Porosidade Total Determinada entre os tratamentos com e sem compactação nos quatros níveis de umidade.

Observa-se pela análise dos dados da Tabela 14, que houve uma variação significativa ao nível de 5% de probabilidade, entre todos os níveis de umidade, com as médias de porcentagem de Porosidade Total Determinada, decrescendo com o aumento no teor de umidade. Ao nível de 1% de probabilidade, também houve variação significativa, não diferindo entre si, porém, os níveis intermediários de umidade. Tal resultado é explicável, segundo PROCTOR (1933), BAVER et alii (1972) e MACHADO & BRUM (1978), devido à ação da umidade facilitando o processo de compactação com conseqüente redução do volume poroso do solo.

#### 4.1.4. Efeito na variação de macroporosidade

Os dados e análise estatística da porcentagem de macroporos nos tratamentos com compactação e sem compactação a quatro níveis de umidade do solo, estão apresentados nas Tabelas 15, 16 e 17.

**Tabela 15.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias da porcentagem de macroporos nos tratamentos com e sem compactação nos quatro níveis de umidade do solo.

Tratamentos	Repetições	Médias (%)	5%	1%
sem compactação	12	16,05	a	A
com compactação	12	12,46	b	B

D.M.S. 5% = 0,759

D.M.S. 1% = 1,045

CV% = 6,149

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

Observa-se pelos dados da tabela acima, que houve uma diferença significativa, tanto ao nível de 5% como de 1% de probabilidade, para as médias da porcentagem de macroporos entre os tratamentos sem e com compactação, sendo maior para o tratamento sem compactação. Esse comportamento pode ser explicado, segundo MEREDITH & PATRICK (1961) e RAGHAVAN et alii (1977), porque no processo de compactação, há uma diminuição dos espaços vazios, com diminuição dos poros de grande calibre.

**Tabela 16.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias da porcentagem de macroporos entre os níveis de umidade dentro do tratamento sem compactação.

Níveis de umidade(%)	Repetições	Médias (%)	5%	1%
23,87	3	14,63	a	A
19,15	3	16,10	ab	AB
17,10	3	15,74	ab	AB
13,30	3	17,15	b	B

D.M.S. 5% = 1,449

D.M.S. 1% = 1,856

CV% = 6,149

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

Observa-se na análise dos dados de porcentagem de macroporos (**Tabela 16**), entre os níveis de umidade dentro do tratamento sem compactação, que houve uma pequena diminuição na porcentagem de macroporos com o acréscimo dos níveis de umidade, porém diferindo estatisticamente ao nível de 1% de probabilidade somente os valores entre os dois níveis extremos de umidade 13,30% e 23,87%.

Como o tratamento é sem compactação, a variação na macroporosidade que ocorreu é decorrente da pequena ação compactadora exercida pelas partes ativas da semeadeira no sulco da semeadura, conforme já discutido no item 4.1.1.



**Tabela 17.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de porcentagem de macroporos entre os níveis de umidade dentro do tratamento com compactação.

Níveis de umidade (%)	Repetições	Médias (%)	5%	1%	$\Delta Ma\%$
23,87	3	8,86	a	A	5,77
19,15	3	12,20	b	B	3,54
17,10	3	13,08	b	B	3,02
13,30	3	15,64	bc	C	2,11

D.M.S. 5% = 2,049

D.M.S. 1% = 2,625

CV% = 6,149

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

$\Delta Ma\%$  - diferença entre os valores de macroporos entre os tratamentos com e sem compactação nos quatro níveis de umidade.

A análise dos dados da tabela acima, permite observar que houve uma diferença significativa ao nível de 5% e 1% de probabilidade das médias de porcentagem de macroporos entre os níveis de umidade no tratamento com compactação, com um acréscimo nos valores para o aumento da umidade, não havendo, porém, diferença significativa entre os níveis intermediários.

Esses resultados demonstram o efeito da umidade do solo no processo de compactação e redução dos poros responsáveis pela aeração, conforme considerações de LAWS & EVANS (1949), DAY & HOLGREM (1952), MACHADO & BRUM (1978) e BAVER et alii (1972).

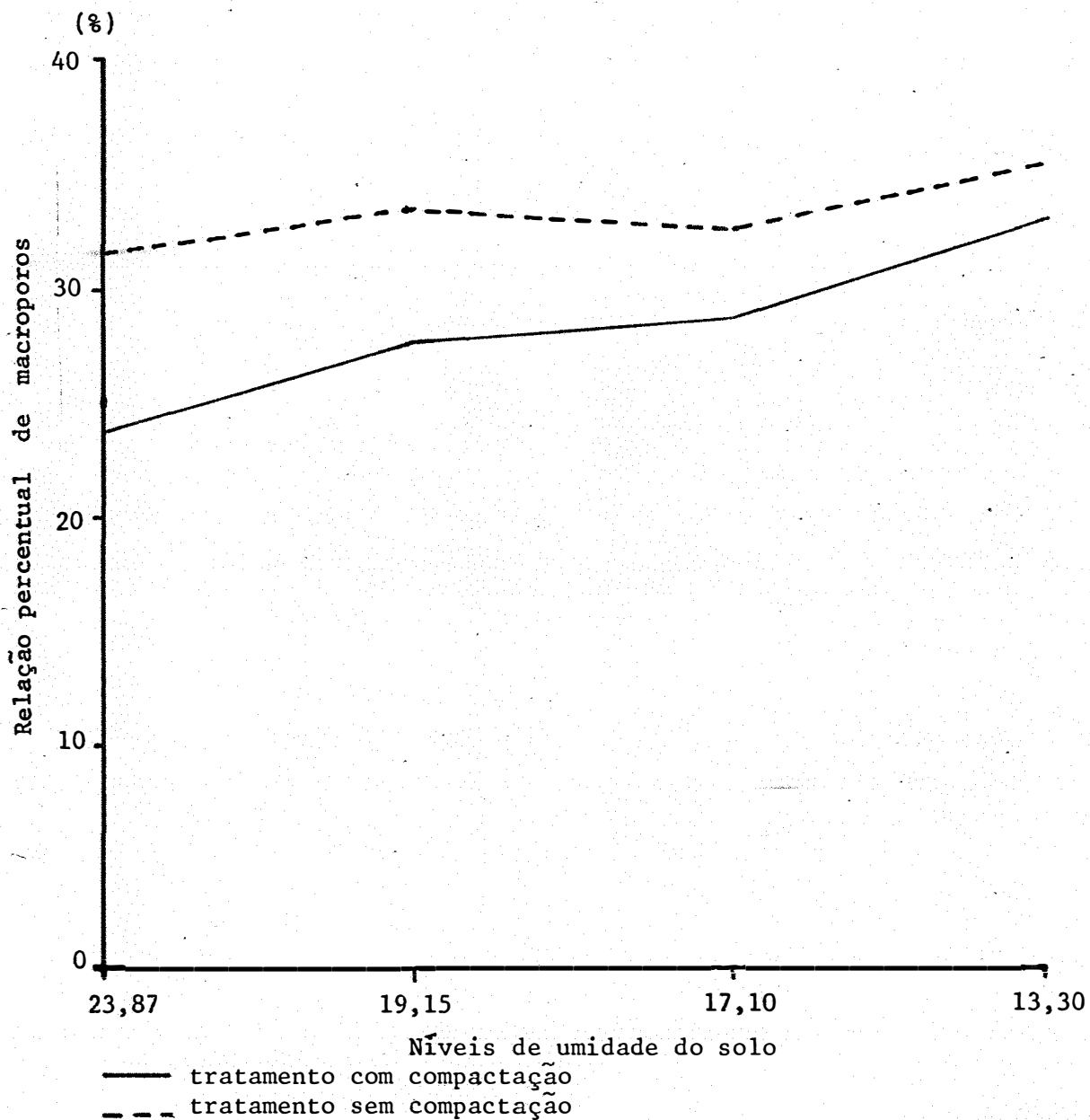
#### 4.1.5. Efeito na relação percentual da porcentagem de macroporos em função da Porosidade Total Determinada

Os dados da relação percentual da porcentagem de macroporos em função da Porosidade Total Determinada, nos quatro níveis de umidade para os tratamentos com e sem compactação, estão na Tabela 18 e Figura 3.

**Tabela 18.** Dados da relação percentual da porcentagem de macroporos em função da Porosidade Total Determinada em quatro níveis de umidade para os tratamentos com e sem compactação.

Tratamentos	U%			
	23,87	19,15	17,10	13,30
com compactação	23,61	27,73	23,87	33,02
sem compactação	31,29	33,65	32,60	35,77

Através da análise dos dados da Tabela 18 e do gráfico da Figura 3, podemos concluir que em todos os níveis de umidade do solo, os valores da relação percentual da porcentagem de macroporos em função da Porosidade Total Determinada, foram maiores para o tratamento sem compactação e a diferença dessa relação entre os tratamentos diminuiu com a diminuição da umidade. Esse resultado demonstra, conforme já citado por PROCTOR (1978), BAVER et alii (1972) e MACHADO & BRUM (1978), que o processo de compactação diminui o volume poroso dos solos em função da diminuição do volume de macroporos e que o aumento da umidade facilita essa ação.



**Figura 3.** Gráfico ilustrativo da relação percentual da porcentagem de macroporos em função da porosidade total determinada, em quatro níveis de umidade do solo para os tratamentos sem compactação e com compactação.

#### 4.1.6. Efeito na variação da microporosidade

Os dados e análise estatística da porcentagem de microporos, nos tratamentos com compactação e sem compactação, a quatro níveis de umidade do solo, estão apresentados nas Tabelas 19, 20 e 21.

**Tabela 19.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias da porcentagem de microporos nos tratamentos com e sem compactação nos quatro níveis de umidade do solo.

Tratamentos	Repetições	Médias (%)	5%	1%
sem compactação	12	32,08	a	A
com compactação	12	31,11	b	B
D.M.S. 5% = 0,561		D.M.S. 1% = 0,772		CV% = 2,049

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

Observa-se pelos dados da Tabela 19, que na aplicação do teste de Tukey para a análise estatística, obteve-se um D.M.S. tanto ao nível de 5% como de 1% de probabilidade, muito baixo, demonstrando, portanto, que os dados da porcentagem de microporos pouco diferiram entre si, o que não permite nenhuma conclusão, uma vez que esses dados devem ser relacionados com a Porosidade Total dos solos. (4.1.7).

**Tabela 20.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias da porcentagem de microporos entre os níveis de umidade dentro do tratamento sem compactação.

Níveis de umidade (%)	Repetições	Médias (%)	5%	1%
23,87	3	32,13	a	A
19,15	3	31,76	a	A
17,10	3	32,54	a	A
13,30	3	31,28	a	A

D.M.S. 5% = 1,070

D.M.S. 1% = 1,372

CV% = 2,049

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

Observa-se pelos dados da tabela acima, que não houve diferença significativa ao nível de 5% e 1% de probabilidade nas médias da porcentagem de microporos entre os níveis de umidade para o tratamento sem compactação, demonstrando a pouca influência da variação da umidade na pequena ação de compactação provocada pela semeadeira.

**Tabela 21.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de porcentagem de microporos entre os níveis de umidade dentro do tratamento com compactação.

Níveis de umidade (%)	Repetições	Médias (%)	5%	1%	$\Delta$ Mi%
23,87	3	28,67	b	B	3,09
19,15	3	31,80	a	A	0,33
17,10	3	32,23	a	A	0,31
13,30	3	31,72	a	A	0,15

D.M.S. 5% = 0,561

D.M.S. 1% = 0,772

CV% = 2,049

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

$\Delta$ Mi% - diferença entre os valores de porcentagem de microporos entre os tratamentos com e sem compactação nos quatro níveis de umidade.

Os resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias da porcentagem de microporos nos diferentes níveis de umidade, dentro do tratamento com compactação (Tabela 21), demonstram a pouca influência que esse esforço de compactação, nos níveis de umidade estudados, teve sobre a variação da microporosidade.

Isso pode ser explicado porque, no preparo do solo, há a formação de grandes vazios, que sofrem maior redução com a aplicação de pequenas forças de compressão do que os vazios capilares, sendo seu efeito mais efetivo, portanto, na redução de poros de grande calibre (MEREDITH & PATRICK, 1961).

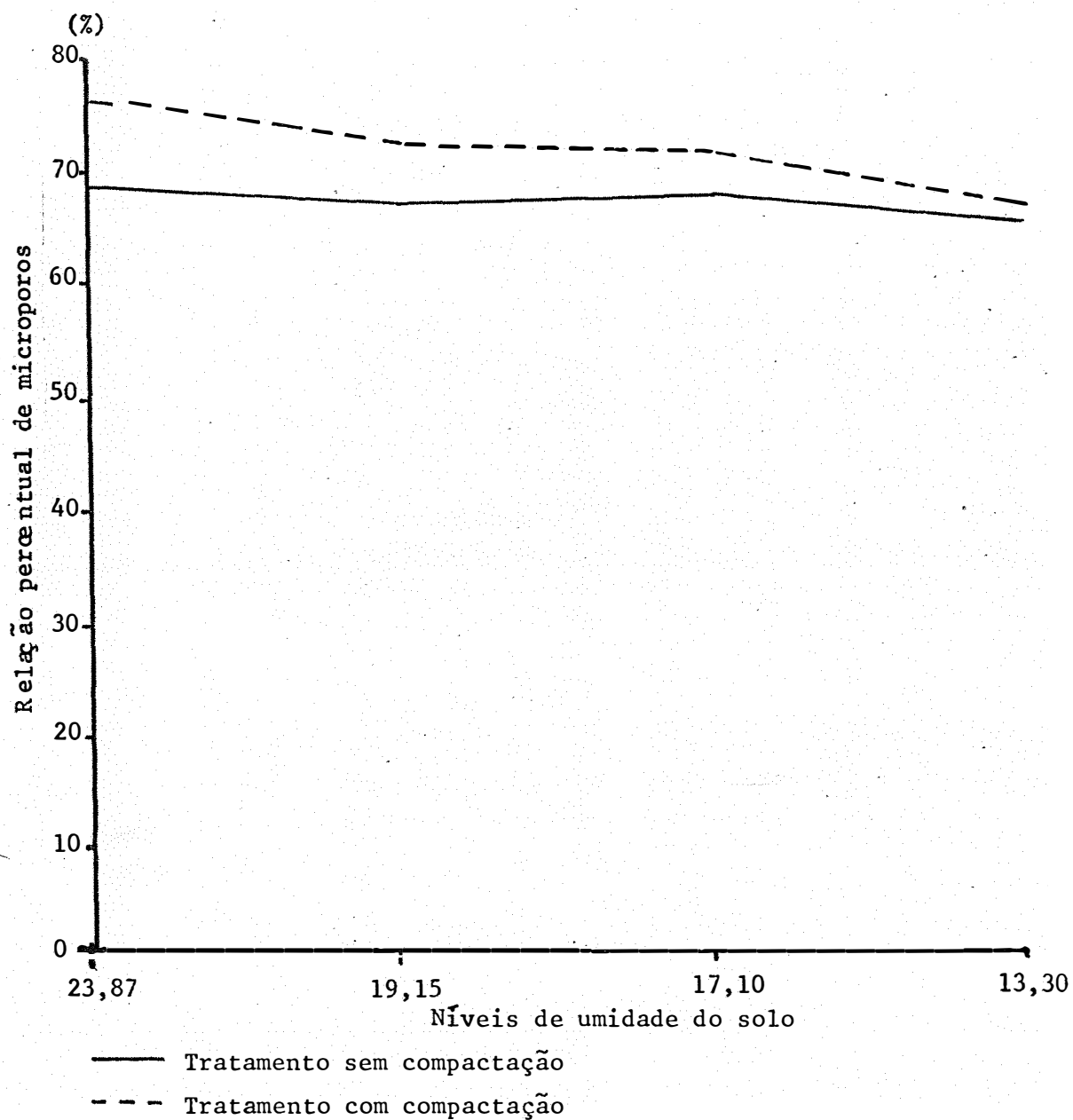
#### 4.1.7. Efeito na relação percentual da porcentagem de microporos em função da Porosidade Total Determinada

Os dados da relação percentual da porcentagem de microporos em função da Porosidade Total Determinada, nos quatro níveis de umidade, para os tratamentos sem compactação e com compactação, estão na Tabela 22 e Figura 4.

**Tabela 22.** Dados da relação percentual da porcentagem de microporos em função da Porosidade Total Determinada em quatro níveis de umidade para os tratamentos sem e com compactação.

Tratamentos	U%			
	23,87	19,15	17,10	13,30
sem compactação	68,71	66,37	67,40	64,25
com compactação	76,39	72,27	71,13	66,98

Através da análise desses dados, podemos concluir que, em todos os níveis de umidade do solo, os valores da relação percentual da porcentagem de microporos em função da Porosidade Total Determinada, foram superiores para o tratamento com compactação. A análise dos dados de porosidade permite-nos afirmar, segundo LAWS & EVANS (1949) e MACHADO et alii (1978), que no processo de compactação, ocorre uma diminuição do volume poroso dos solos em função da diminuição dos macroporos (itens 4.1.4 e 4.1.5).



**Figura 4.** Gráfico ilustrativo da relação percentual da porcentagem de microporos em função da porosidade total determinada, em quatro níveis de umidade do solo, para os tratamentos sem compactação e com compactação.



#### 4.1.8. Efeito na quantidade de poros bloqueados

A apresentação e o resultado da análise estatística dos dados da porcentagem de poros bloqueados nos tratamentos sem compactação e com compactação, nos quatro níveis de umidade estudados, na camada 0-15 cm das linhas de plantio da cultura do milho, estão nas Tabelas 23, 24 e 25.

**Tabela 23.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias da porcentagem de poros bloqueados nos tratamentos com compactação e sem compactação, nos quatro níveis de umidade do solo.

Tratamentos	Repetições	Médias(%)	5%	1%
com compactação	12	5,80	a	A
sem compactação	12	5,21	b	B
D.M.S. 5% = 0,267		D.M.S. 1% = 0,367		CV% = 5,587

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

Observa-se pela análise dos dados da Tabela 23, que houve uma variação significativa ao nível de 5% e 1% de probabilidade das médias de porcentagem de poros bloqueados entre os tratamentos com compactação e sem compactação, dentro dos níveis de umidade, sendo os valores maiores para o tratamento com compactação.

BALLESTERO (1985), observou que na compactação feita pelo método de PROCTOR, ocorreu uma diminuição na quantidade de macroporos e poros bloqueados, porque foi aplicada energia de compactação em uma pequena camada de solo confinada a um cilindro rígido.

Na compactação efetuada no campo, pelas rodas do trator, o máximo efeito da compactação é obtido numa profundidade abaixo da camada estudada. Na camada superficial, 0-15 cm, o efeito da compactação favoreceu a diminuição na quantidade de macroporos e pequeno acréscimo nos valores de poros bloqueados.

**Tabela 24.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias da porcentagem de poros bloqueados entre os níveis de umidade dentro do tratamento sem compactação.

Níveis de umidade (%)	Repetições	Médias (%)	5%	1%
23,87	3	5,63	a	A
19,15	3	5,38	a	A
17,10	3	5,15	a	A
13,30	3	4,28	b	B
D.M.S. 5% = 0,509		D.M.S. 1% = 0,652		CV% = 5,587

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

Observa-se pela análise dos dados da tabela acima, que houve uma diminuição na quantidade de poros bloqueados com o decréscimo dos níveis de umidade, porém, só houve variação estatisticamente significativa ao nível de 5% e 1% de probabilidade, para o nível mais baixo de umidade.

Tal comportamento demonstra, que pela pequena ação de compactação, houve um pequeno efeito do acréscimo da umidade no aumento da quantidade de poros bloqueados, possível

mente devido à ação de compressão dos órgãos ativos da sementeira na operação de semeadura.

**Tabela 25.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias da porcentagem de poros bloqueados entre os níveis de umidade dentro do tratamento com compactação.

Níveis de umidade (%)	Repetições	Médias (%)	5%	1%	$\Delta$ Pb%
23,87	3	6,94	a	A	1,31
19,15	3	5,99	b	B	0,61
17,10	3	5,45	c	B	0,30
13,30	3	4,81	d	C	0,53

D.M.S. 5% = 0,509      D.M.S. 1% = 0,652      CV% = 5,587

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

$\Delta$ Pb% - diferença entre os valores da porcentagem de poros bloqueados entre os tratamentos com e sem compactação, nos quatro níveis de umidade.

Os dados da tabela acima demonstram que ocorreu um aumento na quantidade de poros bloqueados com o acréscimo dos níveis de umidade do solo, sendo esse aumento significativo ao nível de 5% de probabilidade entre todos os níveis de umidade. Ao nível de 1% de probabilidade, só não ocorreu variação entre os níveis intermediários de umidade.

o efeito do acréscimo de umidade do solo no tratamento com compactação favorece a redução do volume poroso do solo, com diminuição no valor de macroporos e aumento na quantidade de poros bloqueados.

#### 4.1.9. Efeito na resistência do solo

A apresentação e análise estatística dos dados da resistência do solo nos tratamentos sem compactação e com compactação, nos quatro níveis de umidade, na camada 0-15 cm das linhas de plantio da cultura de milho estão nas Tabelas 26, 27 e 28.

Tabela 26. Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de resistência do solo nos tratamentos com compactação e sem compactação, nos quatro níveis de umidade do solo.

Tratamentos	Repetições	Médias (%)	5%	1%
com compactação	12	9,13	a	A
sem compactação	12	5,19	b	B

D.M.S. 5% = 0,250

D.M.S. 1% = 0,346

CV% = 4,028

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

A análise dos dados da tabela acima, demonstra que houve variação significativa ao nível de 5% e 1% de probabilidade, para as médias de resistência do solo, entre os tratamentos com compactação e sem compactação, dentro dos quatro níveis de umidade, sendo os valores maiores para o tratamento com compactação.

Esse comportamento, segundo WOORHEES et alii (1978), demonstra o efeito do processo de compactação no aumento da resistência do solo à penetração.

Tabela 27. Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias da resistência do solo entre os níveis de umidade dentro do tratamento sem compactação.

Níveis de umidade (%)	Repetições	Médias (Kgf/cm <sup>2</sup> )	5%	1%
23,87	3	5,29	a	A
19,15	3	5,18	a	A
17,10	3	5,15	a	A
13,30	3	5,12	a	A

D.M.S. 5% = 0,478

D.M.S. 1% = 0,612

CV% = 4,028

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

A análise dos dados referentes às médias da resistência do solo entre os níveis de umidade dentro do tratamento sem compactação, demonstra que não houve variação significativa ao nível de 5% e 1% de probabilidade. Esse resultado evidencia a inexistência do efeito da compactação nos valores da resistência do solo, sendo os pequenos acréscimos com o aumento da umidade do solo, possivelmente decorrentes, de uma maior movimentação e acomodação das partículas minerais em função do maior teor de água.

**Tabela 28.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de resistência do solo entre os níveis de umidade dentro do tratamento com compactação.

Níveis de umidade (%)	Repetições	Médias (Kgf/cm )	5%	1%	Δ Resistência
23,87	3	10,89	a	A	5,60
19,15	3	9,18	b	B	4,00
17,10	3	9,11	b	B	3,96
13,30	3	7,48	c	C	2,36

D.M.S. 5% = 0,478

D.M.S. 1% = 0,612

CV% = 4,028

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

ΔResistência - Diferença entre os valores de resistência do solo entre os tratamentos com e sem compactação, nos quatro níveis de umidade.

Os dados da tabela acima, mostram que houve uma variação significativa ao nível de 5% e 1% de probabilidade das médias de resistência do solo entre os níveis de umidade, dentro do tratamento com compactação, principalmente entre os níveis de maior e menor umidade. Os níveis intermediários de umidade não diferiram significativamente entre si.

Esse resultado demonstra o efeito dos altos teores de água do solo na ação de compactação com conseqüente aumento na resistência do solo à penetração.

#### 4.1.10. Efeito na retenção de água

A apresentação e análise estatística dos dados da porcentagem de umidade no solo (U%), nos tratamentos com compactação e sem compactação em quatro níveis de umidade, na camada 0-15 cm de profundidade das linhas da cultura do milho, estão nas Tabelas 29, 30 e 31.

**Tabela 29.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias da umidade do solo, nos tratamentos com compactação e sem compactação, nos quatro níveis de umidade.

Tratamentos	Repetições	Médias (%)	5%	1%
com compactação	12	15,13	a	A
sem compactação	12	12,34	b	B
D.M.S. 5% = 0,207		D.M.S. 1% = 0,284		CV% = 1,738

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

Os dados da Tabela 29, evidenciam que existe uma diferença significativa ao nível de 5% e 1% de probabilidade entre as médias de umidade do solo, para os tratamentos com compactação e sem compactação. Esse resultado demonstra o efeito da compactação na maior retenção de água no solo, devido ao aumento da relação percentual de microporos, conforme discutido no item 4.1.6.

**Tabela 30.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de umidade do solo entre os níveis de umidade dentro do tratamento sem compactação.

Níveis de umidade (%)	Repetições	Médias (%)	5%	1%
23,87	3	12,73	a	A
19,15	3	12,35	a	A
17,10	3	12,34	a	A
13,30	3	12,25	a	A

D.M.S. 5% = 0,558

D.M.S. 1% = 0,715

CV% = 1,738

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

A comparação das médias da umidade do solo entre os níveis de umidade e dentro do tratamento sem compactação, demonstra não existir diferença estatisticamente significativa, evidenciando a inexistência do efeito da compactação na alteração da microporosidade, conforme discutido no item 4.1.6.



**Tabela 31.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias da umidade do solo entre os níveis de umidade dentro do tratamento com compactação.

Níveis de umidade (%)	Repetições	Médias (%)	5%	1%	$\Delta U\%$
23,87	3	16,11	a	A	3,38
19,15	3	15,10	b	B	2,75
17,10	3	14,94	b	B	2,60
13,30	3	14,21	c	C	1,96

D.M.S. 5% = 0,558

D.M.S. 1% = 0,715

CV% = 1,738

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

$\Delta U\%$  - Diferença entre os valores de umidade do solo entre os tratamentos com e sem compactação, nos quatro níveis de umidade.

A análise dos dados das médias de umidade do solo entre os níveis de umidade e dentro do tratamento com compactação, mostra que houve uma diferença significativa ao nível de 5% e 1% de probabilidade entre os níveis de umidade, com os valores aumentando com o aumento dos níveis de umidade. Não houve diferença significativa entre os níveis intermediários de umidade. Esse resultado demonstra o efeito da umidade do solo no processo de compactação, com alteração da porosidade total e aumento da relação percentual, responsável pela retenção da água do solo.

#### 4.1.11. Efeito da taxa de infiltração da água

Os dados da velocidade de infiltração nos tratamentos com compactação e sem compactação em quatro níveis de umidade nas linhas da cultura do milho, estão demonstrados nas Tabelas 32 e 33 e nas Figuras 5 e 6.

**Tabela 32.** Dados da velocidade de infiltração da água (cm/h) no tratamento sem compactação a quatro níveis de umidade do solo (média de três repetições).

Níveis de umidade (%)	Tempo (minutos)				
	10	30	60	80	120
	----- cm/h -----				
23,87	47,90	17,24	10,98	10,61	9,83
19,15	50,52	21,62	12,25	11,99	11,06
17,10	52,50	22,42	12,97	12,11	11,38
13,30	53,58	22,80	13,43	12,97	12,04

**Tabela 33.** Dados da velocidade de infiltração da água (cm/h) no tratamento sem compactação a quatro níveis de umidade do solo (média de três repetições).

Níveis de umidade (%)	Tempo (minutos)				
	10	30	60	80	120
	----- cm/h -----				
23,87	33,58	13,40	7,10	6,63	6,11
19,15	42,72	16,38	9,99	9,59	8,99
17,10	44,46	19,42	10,10	9,87	8,77
13,30	48,53	22,38	13,09	12,96	11,95

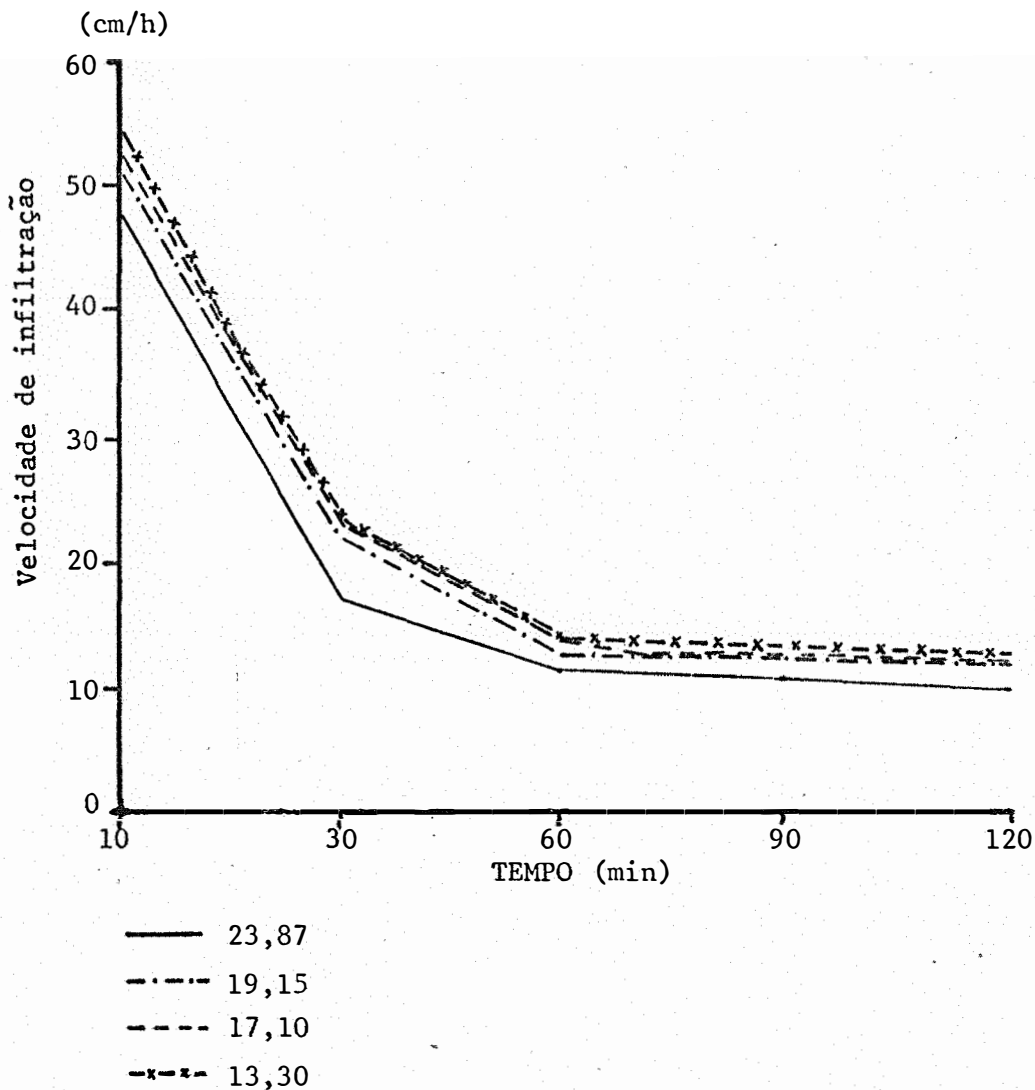
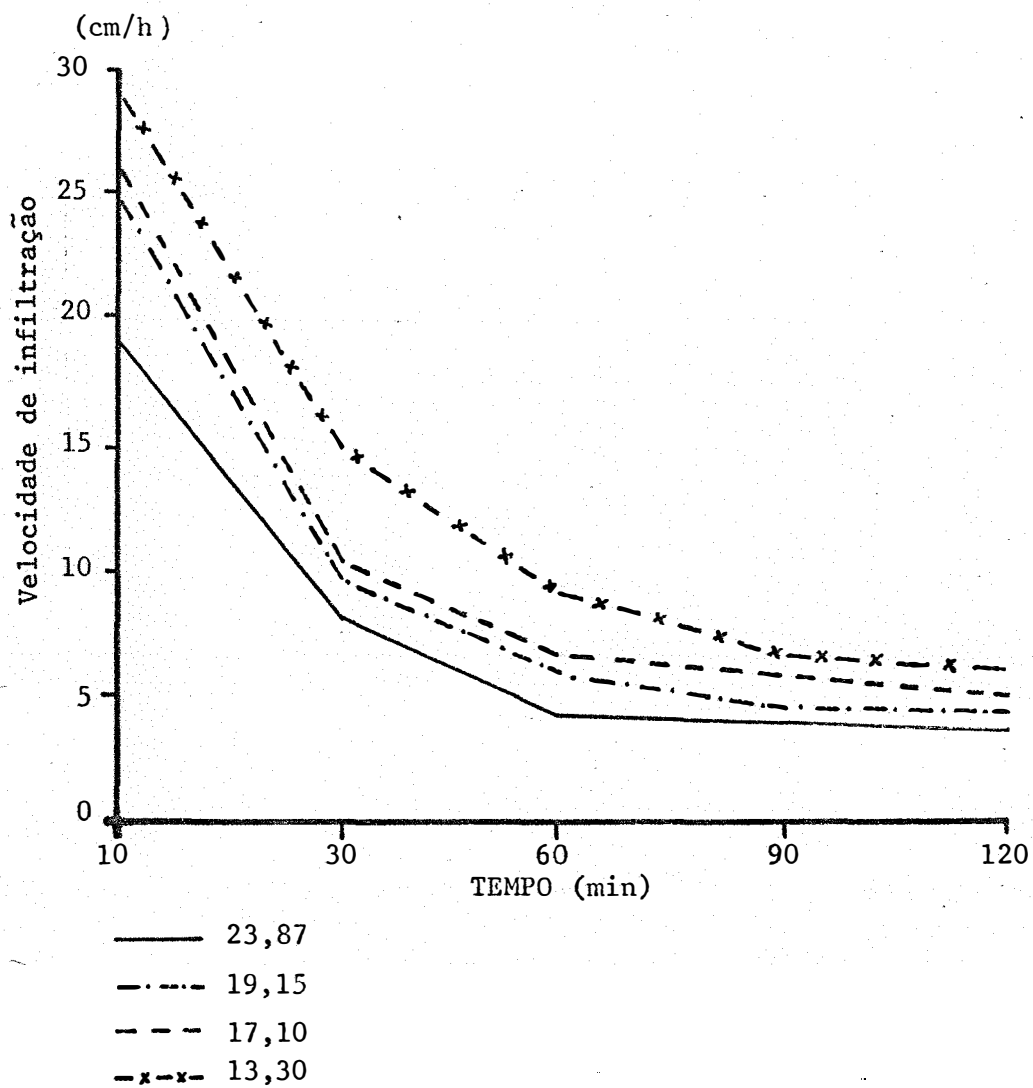


Figura 5. Gráfico ilustrativo da velocidade de infiltração (cm/h) no tratamento sem compactação, a quatro níveis de umidade do solo.



**Figura 6.** Gráfico ilustrativo da velocidade de infiltração (cm/h) no tratamento com compactação, a quatro níveis de umidade do solo.

Os dados da Tabela 32 e Figura 5, demonstram a inexistência de grande variação na velocidade de infiltração entre os diferentes níveis de umidade dentro do tratamento sem compactação.

A variação observada para o nível 23,87% de umidade do solo é decorrente do pequeno efeito compactador da sementeira utilizada no plantio, nesse nível de umidade, conforme já descrito nos itens anteriores.

A análise dos dados da velocidade de infiltração do tratamento com compactação a quatro níveis de umidade do solo, apresentados na Tabela 33 e Figura 6, demonstra uma significativa variação entre os níveis de umidade estudados, evidenciando o efeito da umidade do solo na ação de compactação e conseqüentemente na redução da infiltração.

Observa-se que a velocidade de infiltração diminuiu com o aumento nos níveis de umidade estudados, devido a diminuição da macroporosidade da camada superficial do solo, o que, segundo HILLEL (1970) é provocada pela ação de compactação, sendo tal ação mais efetiva para os níveis de umidade mais elevados.

## 4.2. ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA CULTURA DO MILHO NAS CONDIÇÕES DE SEMEADURA SEM COMPACTAÇÃO E COM COMPACTAÇÃO EM QUATRO NÍVEIS DE UMIDADE DO SOLO

Nos próximos itens serão discutidos os dados da porcentagem de germinação e produtividade da cultura do milho nas condições de semeadura sem compactação e com compactação, em quatro níveis de umidade do solo.

### 4.2.1. Efeito na variação da porcentagem de germinação

A apresentação e análise estatística dos dados da porcentagem de germinação nos tratamentos sem compactação e com compactação em quatro níveis de umidade do solo estão nas Tabelas 34, 35 e 36.

**Tabela 34.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias da porcentagem de germinação nos tratamentos com compactação e sem compactação nos quatro níveis de umidade do solo.

Tratamentos	Repetições	Médias(%)	5%	1%
com compactação	12	91,19	a	A
sem compactação	12	78,88	b	B

D.M.S. 5% = 2,114

D.M.S. 1% = 2,911

CV% = 2,871

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

Os dados da Tabela 34 mostram que houve uma va-

riação significativa ao nível de 5% e 1% de probabilidade para os valores de porcentagem de germinação entre os tratamentos sem compactação e com compactação, sendo maior para o tratamento com compactação. Esse comportamento se justifica porque no tratamento com compactação houve um maior contato da semente com o solo e também uma maior disponibilidade de água, conforme discutido no item 4.1.10.

**Tabela 35.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias da porcentagem de germinação entre os níveis de umidade dentro do tratamento sem compactação.

Níveis de umidade (%)	Repetições	Médias (%)	5%	1%
23,87	3	76,19	a	A
19,15	3	79,05	a	A
17,10	3	79,38	a	A
13,30	3	80,91	ab	A

D.M.S. 5% = 4,0366

D.M.S. 1% = 5,1728

CV% = 2,871

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

Observa-se, pela análise dos dados da porcentagem de germinação entre os níveis de umidade e dentro do tratamento sem compactação, que não houve variação estatisticamente significativa entre os níveis de umidade. Esse resultado pode ser explicado, porque a compactação produzida pela máquina não foi suficiente para provocar variação de germinação entre os níveis de umidade estudados.

**Tabela 36.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias da porcentagem de germinação entre os níveis de umidade dentro do tratamento com compactação.

Níveis de umidade (%)	Repetições	Médias (%)	5%	1%
23,87	3	85,71	a	A
19,15	3	92,38	b	B
17,10	3	93,33	b	B
13,30	3	93,34	b	B

D.M.S. 5% = 4,0366

D.M.S. 1% = 5,1728

CV% = 2,871

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

A análise dos dados das médias da porcentagem de germinação entre os níveis de umidade dentro do tratamento com compactação mostra que somente o nível de maior teor de água diferiu significativamente ao nível de 5% e 1% de probabilidade, apresentando um valor inferior aos demais. Esse resultado pode ser explicado pelo maior efeito da compactação na variação do volume poroso do solo, com diminuição da quantidade de poros responsáveis pela aeração e possivelmente, também pela maior resistência oferecida pelo solo à emergência da plântula, conforme observações de LARSON & ALLMARAS (1971), TAYLOR et alii (1967), CAMARGO (1983), BAVER et alii (1972) e HENIN et alii (1972).



#### 4.2.2. Efeito na variação da produtividade

Os dados de produtividade da cultura do milho, nos tratamentos sem compactação e com compactação do sulco de semeadura, em quatro níveis de umidade do solo, estão nas Tabelas 37, 38 e 39.

**Tabela 37.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de produtividade nos tratamentos com compactação e sem compactação nos quatro níveis de umidade.

Tratamentos	Repetições	Médias (kg/ha)	5%	1%
com compactação	12	5245,58	a	A
sem compactação	12	4726,67	b	B

D.M.S. 5% = 138,337

D.M.S. 1% = 190,444

CV% = 3,20

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

Os dados apresentados na Tabela 37, demonstram uma variação significativa ao nível de 5% e 1% de probabilidade para as médias de produtividade entre os tratamentos com compactação e sem compactação, dentro dos quatro níveis de umidade estudados, sendo maior para o tratamento com compactação. Tal resultado é decorrente da maior porcentagem de germinação e retenção de água ocorridas no tratamento com compactação, conforme já discutido nos itens 4.1.10 e 4.2.1.

**Tabela 38.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de produtividade entre os níveis de umidade dentro do tratamento sem compactação.

Níveis de umidade (%)	Repetições	Médias (kg/ha)	5%	1%
23,87	3	4644,0	a	A
19,15	3	4709,33	a	A
17,10	3	4679,00	a	A
13,30	3	4874,33	a	A

D.M.S. 5% = 264,112

D.M.S. 1% = 338,454

CV% = 3,204

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

Observa-se, pelos dados apresentados na tabela acima, que não houve variação estatisticamente significativa ao nível de 5% e 1% de probabilidade nas médias de produtividade entre os níveis de umidade, dentro do tratamento sem compactação. Esse resultado está de acordo com os dados da porcentagem de germinação discutidos no item 4.2.1.

**Tabela 39.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de produtividade entre os níveis de umidade dentro do tratamento com compactação.

Níveis de umidade (%)	Repetições	Médias (kg/ha)	5%	1%
23,87	3	4960,34	b	B
19,15	3	5485,33	a	A
17,10	3	5476,33	a	A
13,30	3	5060,34	b	AB

D.M.S. 5% = 264,112

D.M.S. 1% = 338,454

CV% = 3,204

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

Pela análise dos dados da **Tabela 39**, verifica-se que no tratamento com compactação, as médias de produtividade diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os níveis intermediários de umidade e os extremos, sendo maior para os níveis intermediários. Tal fato pode ser explicado, porque nos níveis intermediários de umidade, em relação ao nível mínimo, houve uma maior retenção de água, com conseqüente aumento na porcentagem de germinação e stand de plantas.

O nível de maior umidade, apesar de ter boa retenção de água, apresentou a menor produtividade, decorrente da menor porcentagem de germinação causada pelos efeitos da compactação, como a menor quantidade de poros responsáveis pela aeração, menor porosidade total e maior resistência à emissão da plântula.

#### 4.2.3. Efeito da relação entre porcentagem de germinação e produtividade

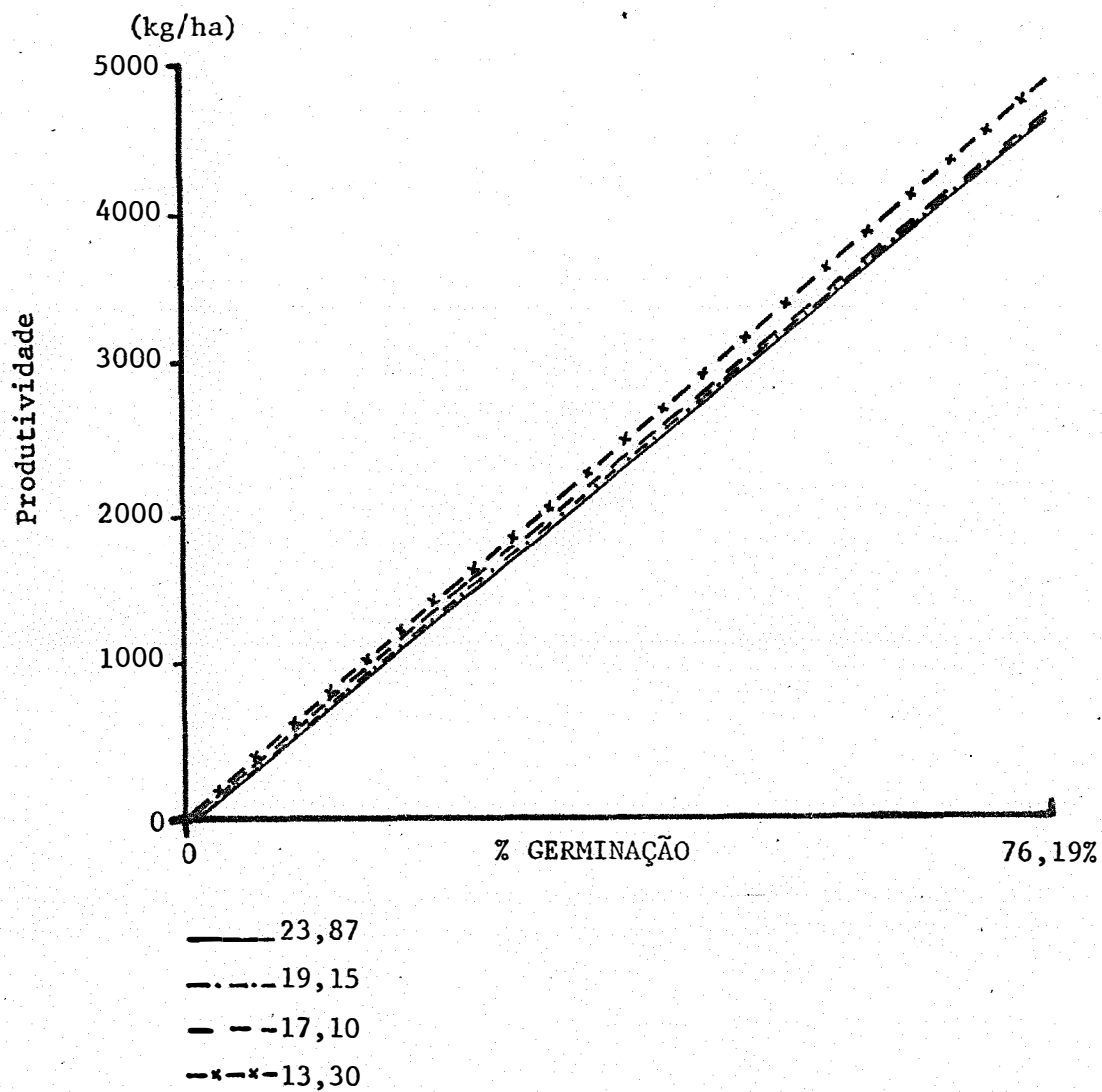
##### 4.2.3.1. Relação entre porcentagem de germinação e produtividade entre os níveis de umidade nos tratamentos sem compactação e com compactação.

Os gráficos referentes à relação entre a produtividade e porcentagem de germinação estão apresentados nas Figuras 7 e 8.

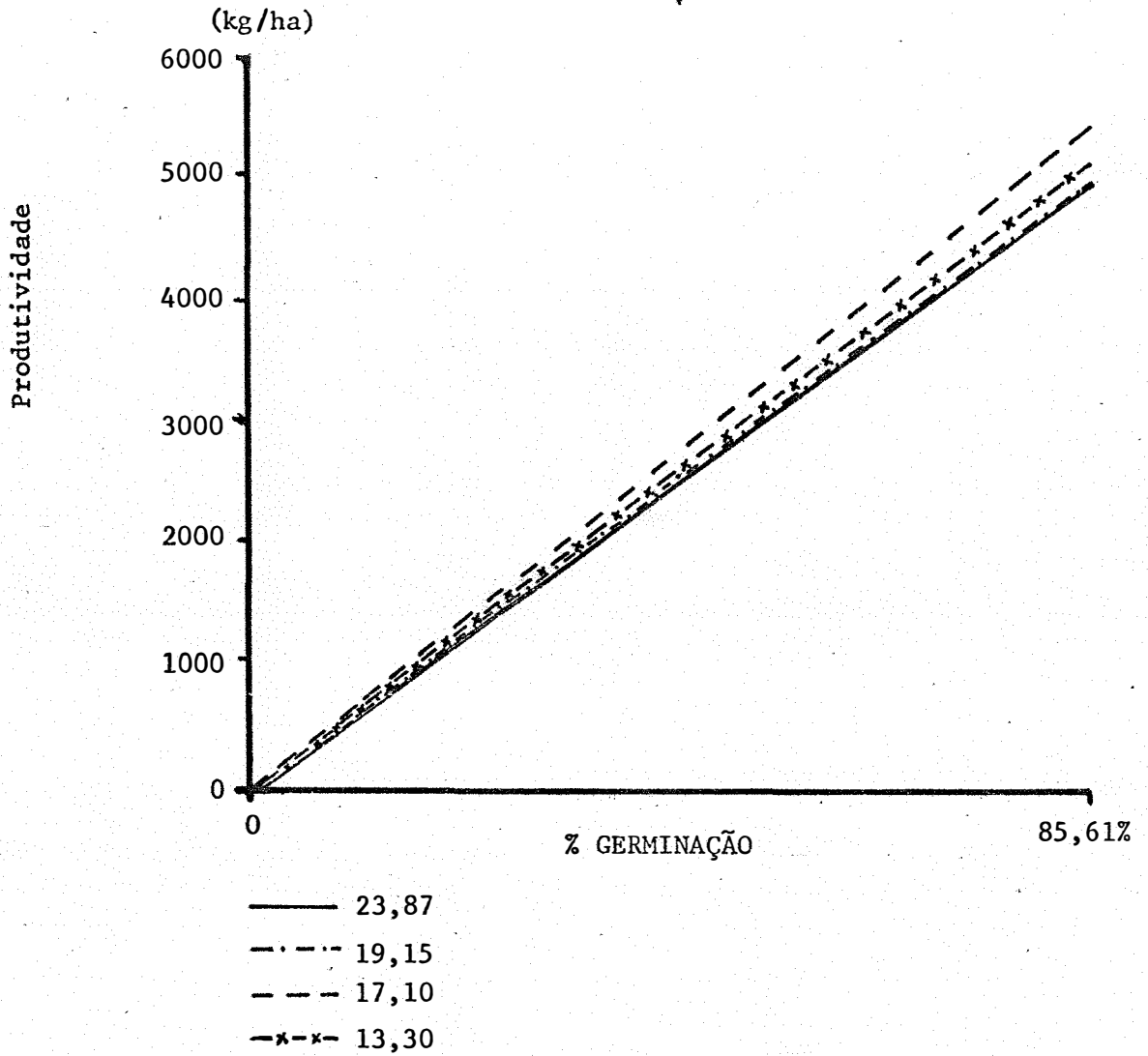
Observa-se, pelo estudo dos gráficos, uma tendência linear entre o aumento da porcentagem de germinação e conseqüente aumento na produtividade, nas duas condições de semeadura.

Verifica-se, também, que a melhor relação entre a porcentagem de germinação e produtividade, foi encontrada para os níveis mais baixos de umidade, confirmando a tendência existente na variação dos demais parâmetros físicos estudados.

Nas condições em que foi realizado este trabalho, com os materiais e métodos empregados, é possível apresentar a seguinte síntese dos resultados:



**Figura 7.** Gráfico ilustrativo da relação entre porcentagem de germinação e produtividade, em quatro níveis de umidade do solo, no tratamento sem compactação.



**Figura 8.** Gráfico ilustrativo da relação entre porcentagem de germinação e produtividade, em quatro níveis de umidade do solo, no tratamento com compactação.

Com a variação do nível de umidade ocorreu, na linha de semeadura, e nos tratamentos em que foi feita a compactação, o que abaixo está discriminado:

- 1º) Variação nos valores da densidade do solo, porosidade total e quantidade de macroporos.
- 2º) Pequena variação na quantidade de poros bloqueados.
- 3º) Variação muito pequena na quantidade de microporos, mas aumento da relação entre a quantidade de microporos e porosidade total.
- 4º) Variação na velocidade de infiltração da água.
- 5º) Variação na resistência do solo à penetração.
- 6º) Variação na porcentagem de germinação e na produtividade do milho.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados, após terem sido analisados e interpretados, possibilitaram a apresentação das conclusões abaixo:

a) A melhor relação para avaliar a variação da microporosidade do solo no processo de compactação, é a relação entre a porcentagem de microporos e porosidade total.

b) As alterações físicas do solo, provocadas pela compactação, decorrentes da ação da sementeira mecânica, podem resultar em benefícios às plantas cultivadas, se o nível ideal de umidade do solo para a execução da sementeira for atingido.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYERS, P.D. & PERUMPRAL, J.V. Moisture and density effect on cone index. Trans ASAE, St. Joseph, 25: 1169-72, 1982.
- BAEUMER, K. First experiences with direct drilling in Germany. Neth. J. Agric. Sci., Wageningen, 18: 283-92, 1970.
- BAEUMER, K. & KABERMANS, W.A.P. Zero-tillage. In: Advance in Agronomy. s.i., 1973. Parte 2, Cap. 90, p. 1373-6. (Agronomy 9).
- BALLESTERO, S.D. Relação entre densidade e umidade na compactação e agregação. Efeitos na porosidade e na cultura de feijoeiro (*Vigna unguiculata* c.v. IPEAN-V-69). Piracicaba, 1985. 82p. (Mestrado - ESALQ/USP).
- BARLEY, K.P. & GREACEM, E.L. Mechanical resistance as a factor influencing the growth of roots and underground shoots. Adv. Agron., New York, 19: 1-40, 1967.
- BATEMAN, H.P. Effect of field machine compaction on soil physical properties and crop responses. Trans ASAE, St. Joseph, 6: 19-24, 1963.
- BAUDER, J.W.; RANDALL, G.W.; SWANN, J.B. Effect of four continuous tillage systems on mechanical impedance of a clay loam soil. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 45: 802-6, 1981.

- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. Física del suelos. México, Tipografía Editorial Hispano Americana, 1973. 529p.
- BENEZ, S.H. Efeito dos tipos de preparo do solo: cultivo e calagem na cultura do milho (*Zea mays* L.). Botucatu, 1980. 130p. (Livre-Docência - F.C.A/UNESP).
- BERTRAND, A.R. & KOHNKE, H. Subsoil conditions and their effects on oxygen supply and the growth corn roots. Soil Sci. Proc., Detroit, 21: 135-40, 1957.
- BOUMA, J. & HOLE, F.D. Soil structure and hydraulic conductivity of adjacent virgin and cultivated pedons at two sintes: a typic Argiudoll (silt loam) and a typic Eutrochrept (clay). Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 35: 316 - 9, 1971.
- BOURGET, S.J.; KEMP, J.G.; DOW, B.K. Effect of tractor traffic on crop yields and soil density. Agric. Angng., St. Joseph, 42: 554, 1961.
- BRADFORD, J.M. The penetration resistance in a soil with well-defined structural units. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 44: 601-6, 1980.
- BRADY, N.C. Nature and properties of soil. 8.ed. New York, McMillan, 1974. 639p.
- BREWER, R. Fabric and mineral analysis. Am. Soc. of Agr., Madison, (part 1): 374-90, 1964.
- BYRD, C.W. & CASSEL, D.K. The effect of sand content upon cone index and selected physical properties. Soil Sci., Baltimore, 129: 197-204, 1980.

- CAMARGO, A.O. Compactação do solo e desenvolvimento de plantas. Campinas, Fundação Cargill, 1983. 44p. (mimeografado).
- CHANCELLOR, W.J. Effects of compaction on soil strength. In: BARNES, K.K.; CARLETON, W.M.; TAYLOR, H.M.; THROCKMORTON, R. I.; VAN DER BERG, G.E. (ed.). Compaction of agricultural soils. St. Joseph, ASAE, 1971. p.190-212.
- CINTRA, F.L.D.; MIELNICZUK, J.; SCOPEL, I. Caracterização do impedimento mecânico em áreas do planalto do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, UFRGS, 1979. n.p. (Seminário apresentado no Curso de Pós-Graduação em Agronomia).
- DAY, R.P. & HOLMGREN, G.G. Microscopic changes in soil structure during compression. Soil Sci. Am. Proc., Detroit, 16 (1):, 1952.
- EAVIS, B.W. Soil physical conditions affecting seedling root growth: mechanical impedance aeration and moisture available as influenced by bulk density and moisture levels in a sand loam soil. Plant and Soil, Amsterdam, 36: 613-22, 1972.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos, 1979.
- FLOCKER, W.J.; TIMM, H.; VOMOCIL, J.A. Effect of soil compaction on tomato and potato yields. Agron. J., 52: 345 - 8, 1960.
- GAVANDE, S.A. Física del suelos: principios e aplicaciones. México, Limosa-Wiley, 1973. 351p.

- GROHMANN, F. & QUEIROZ NETO, J.P. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração de raízes de arroz. Bragantia, Campinas, 25: 419-31, 1966.
- GILL, W.R. Influence of compaction hardening of soil penetration resistance. Trans ASAE, St. Joseph, 11: 741-5, 1968.
- HENIN, S.; GRASS, R.; MONNIER, G. Os solos agrícolas. Rio de Janeiro, Editora Forense Universitária, 1976. 327p.
- HENRY, J.E. & MCKIBBEN, J.S. Effect of soil strength on corn root penetration. Trans ASAE, St. Joseph, 10: 281-3, 1967.
- HILLEL, D. Solo e água: fenômenos e princípios físicos. Porto Alegre, UFRGS, 1970. 238p.
- JORGE, A.J. Física e manejo dos solos tropicais. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986. 328p.
- KEMPER, B. & DERPSCH, R. Estudos sobre a susceptibilidade dos solos à erosão e métodos de proteção do solo no Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 17., Manaus, 1979.
- KIEHL, E.J. Manual de edafologia. São Paulo, Editora Ceres, 1979. 264p.
- KOHNKIE, H. Soil physics. New York, McGraw-Hill, 1968. 224p.
- LARSON, W.E. Tillage requirements for corn. J. Soil Water Conserv., Askemy-ia, 17: 3-7, 1962.
- LARSON, W.E. & ALLMARAS, R.R. Management factors and natural forces as related compaction. In: BARNES, K.K.; CARLETON, W.M.; TAYLOR, H.M.; VAN DER BERG, G.E. (ed.). Compaction of agricultural soils. St. Joseph, ASAE, 1971. p.367-427.

- MACHADO, J.A. & BRUM, A.C.R. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. Rev. Bras. Ciên. do Solo, Campinas, 2: 81-4, 1978.
- MANNERING, E.J.V.; MEYER, L.D.; JOHNSON, C.B. Infiltration and erosion as affected by minimum tillage for corn (*Zea mays* L.). Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 7: 218-22, 1966.
- MEREDITH, H.L. & PATRICK JR., W.H. Effects of soil compaction on subsoil root penetration and physical properties of three soils in Louisiana. Agron. Journal, 53(51): 163-7, 1961.
- MILLER, D.E. Flow and retention of water layered soils. Washington, USADA, 1969. 28p.
- MONIZ, A.C. Elementos de pedologia. São Paulo, Ed. Polígono, 1981. 34lp.
- MULQUEEN, J.; STAFFORD, J.V.; TANNER, D.W. Evaluation of penetrometers for measuring soil strength. J. Terramech., Hannover, 14: 137-51, 1977.
- MUZILLI, O. Manejo da fertilidade do solo. Manual Agropecuário para o Paraná, Londrina, 2: 45-7, 1978.
- NELSON, W.E.; RAHI, G.S.; REEVES, L.Z. Yield potential of soil as related to soil compaction induced by form traffic. Agron. Journal, Madison, 67: 769-72, 1975.
- NICHOLS, M.L. & REEVES, C.A. Soil structure and consistency in tillage implement design. Agric. Engng., St. Joseph, 36., 1955.

- OUWERKERK, C. & BOONE, F.R. Soil-physical aspects of zero-tillage experiments. Neth. J. Agric. Sci., Wageningen, 18: 247-61, 1970.
- PARR, J.F. & BERTRAND, A.R. Water in infiltration into soil. Adv. in Agron., New York, 12: 311-63, 1960.
- PHILLIPS, R.E. & KIRKHAM, D. Mechanical impedance and corn seedling root growth. Soil Sci. Am. Proc., Detroit, 26: 319-21, 1962.
- PHILLIPS, R.E. & KIRKHAM, D. Soil compaction in the field and corn growth. Agron. Journal, Madison, 54: 29-34, 1962.
- PROCTOR, R.R. Fundamental principles of soil compaction. Eng. New Record, New York, 111(9): 245-8, 1933.
- RAGHAVAN, G.S.V.; MCKYES, E.; STEMSHORN, E.; GRAY, A.; BEAU-LIEU, B. Vehicle compaction patterns in clay soil. Trans ASAE, St. Joseph, 20: 218-20, 225, 1977.
- RANEY, W.A. & EDMINSTER, T.W. Approachs to soil compaction research. Trans ASAE, St. Joseph, 4: 246-8, 1961.
- ROBINS, J.S. & DOMINGO, C.E. Some effects of severe soil moisture deficits at specific growth stages in corn. Agron. Journal, Madison, 45: 618-21, 1953.
- SCHUMACHER, T.E. & SMUCKER, A.J.M. Mechanical impedance effects on oxygen uptake and porosity of drybean roots. Agron. Journal, Madison, 73: 51-3, 1981.

- SEGUY, L.; SLUTHCOUSKI, J.; SILVA, J.G.; BLUMENSCHHEIN, F. N.; DALL ACQUA, F.M. Técnicas de preparo do solo: efeitos na fertilidade e na conservação do solo; nas ervas daninhas e na conservação da água. Goiânia, EMBRAPA/CNPAP, 17: 1-26, 1984.
- SHEAR, G.M. & MOSCHLER, W.W. Continuous corn by no tillage and conventional tillage methods: a six-year comparison. Agron. Journal, Madison, 61: 524-6, 1969.
- SOANE, B.D. A gamma-ray transmission method for the measurement of soil density in field tillage studies. J. Agron. Engng. Res., London, 13: 340-9, 1968.
- SOANE, B.D. & PIDGEON, J.D. Tillage requirement in retention to soil physical properties. Soil Sci., Baltimore, 119(5): 376-84, 1975.
- SOANE, B.D. & STAFFORD, J.V. Tillage development round the world. Span., Foston, 26: 103-5, 1983.
- SOUZA, L. da S. & COGO, N.P. Caracterização física de um solo da unidade de mapeamento São Gerônimo-RS (Paleudeult), 1978.
- SPOOR, G. The causes and nature of soil damage. Agric. Eng., St. Joseph, 37: 4-7, 1982.
- STETZER, J. Contribuição para o estudo do clima do Estado de São Paulo. São Paulo, Escolas Profissionais Salesianas, 1946.
- STIT, R.E.; CASSEL, D.K.; WEED, S.B.; NELSON, L.A. Mechanical resistance encountered by roots entering compact soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Detroit, 46: 100-6, 1982.

- SWAIN, R.W. & SPOOR, G. The mechanism of subsoiling. Soil and Water, 5(3): 13-4, 1977.
- TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER JR., J.J. Cotton seedling taproot elongation as affected by soil strength changes by slurring and water extraction. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 31(5): 700-4, 1967.
- TAYLOR, H.M. & RATLIFF, L.F. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content. Soil Sci., Baltimore, 109(2): 113-9, 1969.
- THREADGILL, E.D. Residual tillage as determined by cone index. Trans ASAE, St. Joseph, 25: 859-63, 1982.
- TOWNER, G.D. The assessment of soil texture from soil strength measurements. J. Soil Sci., London, 25(3): 299-306, 1974.
- VEIHMEYER, F.J. & HENRICKSON, A.H. Soil density and root penetration. Soil Sci., Baltimore, 65: 487-93, 1948.
- VERDADE, F.C.; HUNGRIA, L.S.; RUSSO, R.; NASCIMENTO, A. C.; GROHMANN, F.; PENNA, M.H. Solos da bacia de Taubaté (Vale do Paraíba). Bragantia, Campinas, 20(4):, 1961.
- VOORHEES, W.B. Relative effectiveness of tillage and natural forces in alleviating well-indiced soil compaction. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 47: 129-33, 1983.
- WATSON JR., J.R.; MUSSER, H.B.; JEFRIES, C.D. Soil compaction determinations with a soil penetrometer as compared with the Geiger counter x-ray spectrometer. Agron. Journal, Madison, 43: 255-8, 1951.



WHITELEY, G.M. & DEXTER, A.R. The dependence of soil penetrometer pressure on penetrometer size. J. Agric. Engng. Res., London, 26: 467-76, 1981.

APÊNDICE

Dados físicos do solo e de produção do milho dos tratamentos com compactação e sem compactação no sulco de semeadura em quatro níveis de umidade do solo.

. Nome dos níveis do fator semeadura - A

1. sem compactação do sulco de semeadura
2. com compactação do sulco de semeadura

. Nome dos níveis do fator umidade - B

1. 23,87%
2. 19,15%
3. 17,10%
4. 13,30%

. Nome das variáveis:

- Ds - Densidade do solo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
- Dp - Densidade das partículas do solo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
- %Ma - Porcentagem de macroporos
- %Mi - Porcentagem de microporos
- %Ptd - Porcentagem da porosidade total determinada
- %Ptc - Porcentagem da porosidade total calculada
- %Pb - Porcentagem de poros bloqueados

- Dados de produção.

**Tabela 42.** Dados de porcentagem de germinação e produtividade nos tratamentos com compactação e sem compactação do sulco de semeadura em quatro níveis de umidade do solo.

A	B	Repetições	Produtividade (kg/ha)	Germinação (%)
1	1	1	4652	74,29
1	1	2	4693	77,18
1	1	3	4587	77,11
1	2	1	4733	80,00
1	2	2	4682	77,14
1	2	3	4713	80,00
1	3	1	4704	78,14
1	3	2	4615	80,00
1	3	3	4718	80,00
1	4	1	4853	81,29
1	4	2	4835	81,14
1	4	3	4935	80,29
2	1	1	5019	82,86
2	1	2	4884	88,57
2	1	3	4978	85,71
2	2	1	5560	88,57
2	2	2	5123	94,28
2	2	3	5773	94,28
2	3	1	5580	97,14
2	3	2	5235	94,29
2	3	3	5613	88,57
2	4	1	5212	91,43
2	4	2	5123	94,29
2	4	3	4847	86,57

## - Dados físicos

**Tabela 40.** Dados físicos dos tratamentos com compactação e sem compactação do sulco de semeadura em quatro níveis de umidade do solo.

A	B	Rep.	Ds	Dp	%Ma	%Mi	%Ptd	%Ptc	%Pb
1	1	1	1,25	2,63	14,31	31,98	46,29	52,47	6,18
1	1	2	1,23	2,63	14,72	32,11	46,83	53,23	6,40
1	1	3	1,24	2,62	14,85	32,31	47,16	52,67	5,51
1	2	1	1,23	2,62	15,82	31,49	47,31	53,05	5,74
1	2	2	1,22	2,63	16,31	32,09	48,40	53,61	5,21
1	2	3	1,23	2,62	16,14	31,71	47,85	53,05	5,20
1	3	1	1,21	2,63	15,35	33,17	48,52	53,99	5,47
1	3	2	1,22	2,61	15,65	32,82	48,47	53,26	4,79
1	3	3	1,23	2,62	16,22	31,63	47,85	53,05	5,20
1	4	1	1,18	2,59	19,15	31,00	50,15	54,44	4,29
1	4	2	1,19	2,60	17,88	31,99	49,87	54,23	4,36
1	4	3	1,23	2,62	16,21	32,64	48,85	53,05	4,20
2	1	1	1,45	2,62	9,31	28,53	37,84	44,66	6,82
2	1	2	1,47	2,63	8,75	28,21	36,96	44,11	7,15
2	1	3	1,45	2,62	8,53	29,27	37,80	44,66	6,86
2	2	1	1,32	2,60	10,45	32,63	43,08	49,23	6,15
2	2	2	1,28	2,59	13,15	31,62	44,77	50,58	5,81
2	2	3	1,30	2,61	13,01	31,15	44,16	50,19	6,03
2	3	1	1,28	2,62	12,81	32,33	45,14	51,14	6,00
2	3	2	1,30	2,63	12,21	33,15	45,36	50,57	5,21
2	3	3	1,28	2,59	14,21	31,22	45,43	50,58	5,15
2	4	1	1,24	2,60	15,73	31,76	47,49	52,31	4,82
2	4	2	1,25	2,62	15,28	32,01	47,29	52,99	5,00
2	4	3	1,24	2,58	15,91	31,40	47,31	51,93	4,62

Tabela 41. Dados de resistência à penetração e umidade atual nos tratamentos com compactação e sem compactação do sulco de semeadura em quatro níveis de umidade do solo.

A	B	Repetições	Resistência (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Umidade (%)
1	1	1	5,01	12,41
1	1	2	5,47	12,28
1	1	3	5,28	12,37
1	2	1	4,97	12,21
1	2	2	5,32	12,53
1	2	3	5,38	12,28
1	3	1	4,75	12,47
1	3	2	5,28	12,33
1	3	3	5,35	12,17
1	4	1	5,67	12,87
1	4	2	4,85	12,12
1	4	3	4,93	12,07
2	1	1	10,87	16,12
2	1	2	11,05	16,25
2	1	3	10,75	15,94
2	2	1	9,15	15,34
2	2	2	9,21	14,82
2	2	3	9,17	15,13
2	3	1	9,07	14,75
2	3	2	9,13	14,97
2	3	3	9,12	15,11
2	4	1	8,03	14,67
2	4	2	7,28	14,27
2	4	3	7,14	14,15