

EFEITO DA AGREGAÇÃO DO SOLO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DO MILHO (*Zea mays* L.)

**Z.Z. Marcos (1)
O. Freire(1)**

INTRODUÇÃO

A estrutura é uma característica do solo que pode modificar manifestações da própria granulometria, que é considerada a característica da qual todas as propriedades dependem, direta ou indiretamente.

Muitos autores têm confirmado que a retenção de água e de nutrientes, e suas respectivas disponibilidades às plantas, estão relacionadas com a estruturação, que seria a condição necessária para a manifestação de uma alta produtividade.

Embora a bibliografia não revele nenhuma prova direta que os solos estruturados devam ser mais produtivos, a observação tem justificado esta relação; uma vez que, os solos mais produtivos são, via de regra, bem estruturados.

A estrutura do solo tem, no entanto, um significado descritivo, que se refere à maneira com que sua massa se rompe pela aplicação de uma força. Mas, do ponto de vista das relações solo-planta, o fato do solo apresentar estrutura granular, em blocos ou prismática não é significativo. A quantidade e a distribuição dos poros por tamanho, devido ao arranjo das partículas

(1) Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», USP, Piracicaba

sólidas, é que tem significado funcional; pois, são os fenômenos de superfície e de fluxo de fluídos que se relacionam com a disponibilidade de nutrientes, de ar, de água e com suas interações das quais depende o desenvolvimento do vegetal.

Além do efeito da disposição das partículas sólidas do solo, deve-se considerar a sua permanência. Isto equivale a dizer que, funcionalmente, a estabilidade da disposição das partículas garante, durante certo tempo, a existência de determinada porosidade, responsável pelas condições físicas que controlam a produtividade. No solo, esta estabilidade está diretamente relacionada com a agregação das partículas.

Devido aos resultados não conclusivos a que muitas pesquisas têm levado ao tentar correlacionar estrutura com produtividade, este trabalho foi conduzido para avaliar o efeito do tamanho dos agregados de dois solos de Piracicaba no desenvolvimento do milho, através da análise das relações solo-planta.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A importância da estrutura do solo tem merecido a atenção dos estudiosos das relações solo-planta. Todavia, apesar do grande volume de trabalhos publicados, é uma característica do solo que permanece envolta em confusão. Há os que defendem a sua importância, afirmando que solo bem estruturado é condição essencial para a existência de agricultura produtiva. Doyarenko, citado por RUSSELL (1938), condicionava a ótima produção das diversas culturas à capacidade do solo em desmanchar-se em agregados de diâmetro variando dentro da amplitude de 0,5mm a 3,0mm e apresentando estabilidade durante um certo tempo. Doyarenko concluiu de suas observações que, nestas condições, as plantas fazem uso mais eficiente da água do solo e as atividades microbiológicas atingem um máximo conduzindo a uma rápida produção de nitratos. QUEIROZ NETO & GROHMANN (1963) afirmaram que a estrutura do solo é uma das características mais importantes para a produção agrícola. As relações da planta com o ar e com a água e conseqüentemente a absorção de nutrientes, dependem do estado estrutural do solo. Segundo esses autores, quanto menos estruturação um solo apresentar, menos produtivo será.

Autores modernos, notadamente físicos de solo, têm considerado a estrutura do solo como característica puramente

descritiva e de significado indefinido. ZUR (1966), em curso sobre «Física da Água do Solo», demonstrou seu ponto de vista, omitindo a estrutura do solo de suas considerações e criticando os conceitos em voga durante as discussões.

Essas opiniões opostas se devem, provavelmente, à falta de uma conceituação simples e objetiva sobre estrutura do solo. Além disso, os conceitos propostos diferem entre si.

O conceito clássico, e geralmente mais utilizado, é o de Bradfield. LOW (1954), em um estudo sobre o assunto, resumiu-o em uma frase: «É o arranjo das partículas sólidas do solo». Este conceito, evidentemente, não admite a existência de solos sem estrutura, conforme afirmam outros autores. Zakharov, por exemplo, citado por BAVER (1956), define a estrutura como sendo os fragmentos nos quais o solo se rompe. Em outras palavras, a estrutura do solo é manifesta em sua capacidade de romper-se em fragmentos de diferentes formas e tamanhos. Segundo este conceito, a estrutura de um solo é indicada pela maneira característica como este se rompe pela aplicação de uma força, e isto, é perceptível visualmente.

BOUYOUCOS (1929) reconhece a existência de uma estrutura denominada fundamental, que é estável e mais ou menos permanente, requerendo uma energia externa para a sua destruição. Segundo esse autor, a estrutura encontrada em condições de campo resulta de muitos fatores externos, é temporária, acidental, artificial e alterável. BOUYOUCOS refere-se à estrutura do ponto de vista da estabilidade e origem do arranjo das partículas sólidas do solo.

Um conceito mais elaborado, conquanto acentuadamente qualitativo, é oferecido por PLYUSNIN (s/data), que considera a estrutura sob dois pontos de vista. Um, morfo-genético, descritivo, retratando a estrutura formada sob condições naturais, e outro, agrônômico, que estuda a estrutura sob condições de produção agrícola. No primeiro caso, haverá uma estrutura para cada processo de formação, e, no segundo, a estrutura é predominantemente granular.

A opinião de COSTA & AZEVEDO (1943) é que os estudos sobre estrutura do solo devem dividir-se em dois grupos, conforme incidam sobre macro ou microestrutura, tomando-se como limite de separação o diâmetro de 1mm. Esta proposição, aparentemente simples, é, na realidade complexa, pois COSTA &

AZEVEDO consideram que a macroestrutura é naturalmente dependente da microestrutura.

Há, entretanto, em alguns autores a preocupação de dar à definição de estrutura um caráter funcional. ALEXANDER & MIDDLETON (1952) definiram-na como sendo um ou mais grupos de partículas do solo, reunidas de forma que as propriedades físicas resultantes diferem daquelas exibidas pelas mesmas partículas quando individualizadas. O efeito maior da estruturação nesta modificação de propriedades seria a alteração das relações solo-água. Em geral, o efeito é o aumento na porcentagem do volume do solo ocupado por poros de maior diâmetro, que atuam na movimentação da água e na renovação do oxigênio da atmosfera do solo.

O conceito de BAVER (1956), que representa uma ampliação das idéias de Zakharov, é mais elaborado, refletindo uma preocupação em dar uma definição aplicável à classificação sistemática de solos. Considerou as unidades estruturais como partículas secundárias (agregados de partículas primárias). Um determinado solo teria sua estrutura caracterizada pela predominância de partículas secundárias sobre as primárias, ou vice-versa, ou, ainda, uma mistura de ambas.

Uma contribuição mais recente ao assunto foi apresentada por BREWER & SLEEMAN (1960). Estes autores propõem novas definições com o objetivo de distinguir termos cujos conceitos eram coincidentes. Das definições propostas resulta que «textura é constituição física do material do solo, expressa pela sua estrutura e grau de cristalização das partículas sólidas e, conseqüentemente, o «fabric» é parte da estrutura, que é parte da textura».

Do conceito simplista e de fácil compreensão de Bradfield ao conjunto de definições, obscuras pela semelhança, de BREWER & SLEEMAN, temos como constante a preocupação de uma conceituação da estrutura do solo pelo que ela é, como uma característica de atributos próprias, e não pelo que representa funcionalmente no solo, nas relações solo-planta.

É fora de dúvida que a estruturação do solo modifica a sua porosidade e, assim, o seu ambiente físico. Todavia, é possível a avaliação da propriedade do solo, que se considera função da estrutura. Todas estão relacionadas à porosidade. Para os que estão familiarizados com o assunto, ainda que apenas nos funda-

mentos, é evidente que, à luz dos conceitos apresentados, uma mesma estrutura pode condicionar ambientes físicos diversos. Decorre daí que uma caracterização da estrutura e descrição do que se observa, não esclarece quanto aos fenômenos ou propriedades do solo, de importância para a vida das plantas.

MATERIAL E MÉTODO

O material utilizado para a verificação do efeito da agregação sobre o desenvolvimento do milho foi obtido pela redução do diâmetro máximo dos agregados pertencentes ao horizonte Ap de perfis representativos das Séries Iracema e Bairrinho, identificadas por RANZANI *et alii* (1963). Estas séries apresentam características estruturais semelhantes, mas são distintas quanto à natureza e ao conteúdo de argila. O quadro 1 apresenta algumas características do horizonte Ap dessas séries.

QUADRO 1 - Algumas características dos horizontes Ap das séries Iracema e Bairrinho.

SÉRIE	ESTRUTURA			GRANULOMETRIA (%TFSE)			Fe ₂ O ₃ %TFSE
	Tipo	Classe	Grau	Areia	Silte	Argila	
Iracema	Granular	Média	Fraco	27,8	26,1	46,1	21,1
Bairrinho	Granular	Média	Forte	27,1	48,2	24,7	2,2

Foram coletadas amostras de cerca de 200kg de horizonte Ap das séries Iracema e Bairrinho. Depois de secas ao ar, as amostras foram destorroadas e passadas em tamis de crivos de 4mm de diâmetro. O material obtido foi homogeneizado em um tambor rotativo manual e subdividido em 4 porções iguais. Duas dessas porções foram finamente destorroadas; tendo, uma delas, sido passada através de um tamis de 2mm e a outra, em tamis de 1mm. A terceira porção foi totalmente destorroada num moinho ILER e a quarta não foi submetida a nenhum processo de desagregação.

Cada uma dessas frações de cada solo foi, a seguir, homogeneizada e identificada em termos do diâmetro máximo das suas partículas (Dmx).

Características das frações

Presumindo-se que o processo de desagregação e peneiramento pudesse ter ocasionado desuniformidade entre as frações de um mesmo solo, cada uma delas foi submetida à análise granulométrica, conteúdo de matéria orgânica, conteúdo de ferro livre, densidade do solo, densidade das partículas e porosidade total. O quadro II apresenta a composição granulométrica de cada uma das frações utilizadas no experimento.

QUADRO II - Composição granulométrica das frações da séries Iracema e Bairrinho (% TFSE).

FRAÇÃO	Argila	Silte	Areia m. gr.	Areia gr.	Areia med.	Areia fina	Areia m.f.	Areia total
IRACEMA								
Dmx 4,0	57,93	22,66	0,31	1,2	2,8	10,0	5,1	19,41
Dmx 2,0	52,64	28,45	0,11	1,8	2,1	10,1	5,8	18,91
Dmx 1,0	58,58	23,38	0,04	1,0	2,3	9,7	5,0	18,04
Dmx 0,5	58,25	23,60	0,04	0,1	2,1	10,5	5,5	18,15
BAIRRINHO								
Dmx 4,0	28,32	44,71	0,81	1,7	4,3	14,5	5,5	26,51
Dmx 2,0	28,87	44,37	1,06	1,7	4,3	14,1	5,6	26,76
Dmx 1,0	28,94	42,60	0,06	2,3	4,6	15,1	6,2	28,46
Dmx 0,5	30,77	41,24	0,09	0,6	4,5	16,4	6,4	27,99

A variação porcentual dos separados areia, silte e argila, devido à diminuição do diâmetro máximo das frações, não foi significativa, em nenhuma das séries estudadas.

O quadro III mostra os teores de matéria orgânica e óxidos de ferro nas frações de tamanho extremo das séries Iracema e Bairrinho. A variação relativamente pequena entre os teores de matéria orgânica e de óxidos de ferro das frações de 4,0mm e 0,5mm, mostra também, que a homogeneização do material, durante o preparo das frações foi bem feita.

Os valores das densidades do solo e das partículas e o da porosidade total calculada estão apresentados no quadro IV. Observa-se que as frações mais finas apresentam densidades levemente mais elevadas que as frações mais grossas. Conse-

quentemente, a porosidade total aumentou com o grau de agregação.

QUADRO III - Teores de matéria orgânica e óxidos de ferro nas frações de tamanho extremo das séries Iracema e Bairrinho (% TFSE).

SÉRIE	MATÉRIA ORGÂNICA		Fe ₂ O ₃	
	Dmx 4,0	Dmx 0,5	Dmx 4,0	Dmx 0,5
Iracema	3,48	3,35	21,20	21,73
Bairrinho	2,47	2,53	7,43	8,21

QUADRO IV - Densidade do solo, densidade das partículas e porosidade total das frações (tratamentos).

TRATAMENTO	DENSIDADE DO SOLO (g/cm ³)	DENSIDADE DAS PARTICULAS (g/cm ³)	POROSIDADE TOTAL (%)
IRACEMA			
Dmx 4,0	1,19	2,88	58,7
Dmx 2,0	1,20	2,93	59,1
Dmx 1,0	1,26	2,98	57,8
Dmx 0,5	1,29	3,02	57,3
BAIRRINHO			
Dmx 4,0	1,21	2,63	54,0
Dmx 2,0	1,23	2,66	53,8
Dmx 1,0	1,35	2,63	48,7
Dmx 0,5	1,37	2,71	49,5

Instalação do experimento

Para verificar o efeito do grau de agregação sobre o desenvolvimento do milho (*Zea mays* L.), foi instalado, em casa-de-vegetação, um experimento inteiramente casualizado, com 4 repetições, em que os fatores estudados foram 4 frações que representam diferentes graus de agregação. Foram utilizados vasos

metálicos com capacidade de 8kg, os quais receberam os tratamentos de acordo com o esquema apresentado a seguir:

N.º do Tratamento	Série	Diâmetro máximo das partículas (mm)	Adubação
1	Iracema	4,0	com
2	"	2,0	"
3	"	1,0	"
4	"	0,5	"
5	"	4,0	sem
6	"	2,0	"
7	"	1,0	"
8	"	0,5	"
9	Bairrinho	4,0	com
10	"	2,0	"
11	"	1,0	"
12	"	0,5	"

A terra foi colocada nos vasos de maneira que se obtivesse um acamamento natural, tendo-se calculado o volume total de poros com 2 repetições (ver quadro IV). Cada vaso recebeu 10 sementes de milho híbrido tratadas com «Arasan». Todos os vasos foram irrigados por capilaridade durante todo o experimento segundo sistema idealizado por KIEHL (1967).

O critério para avaliação do efeito dos tratamentos foi o peso seco da parte aérea das plantas de milho, colhidas um mês após o plantio.

Após a remoção das plantas foram coletadas amostras de terra de três profundidades de cada vaso, com auxílio de uma sonda, para a determinação da umidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias dos resultados obtidos do experimento estão apresentadas no quadro V. A análise da variância não mostrou diferença significativa entre solos; mas mostrou diferença altamente significativa entre os tratamentos, indicando que as plan-

tas demonstraram comportamento diferente em relação ao grau de agregação. O coeficiente de variação foi de 40,57% e a diferença mínima significativa, ao nível de 5%, foi de 34,7 e ao nível de 1%, 42,19.

QUADRO V - Peso seco da parte aérea das plantas de milho em cada tratamento (peso em gramas).

N.º	TRATAMENTO SIMBOLO	PESO MÉDIO DA PARTE AÉREA DAS PLANTAS
1	Dmx 4,0	59,2
2	" 2,0	56,0
3	" 1,0	14,9
4	" 0,5	15,2
5	" 4,0	13,8
6	" 2,0	15,0
7	" 1,0	14,0
8	" 0,5	9,2
9	" 4,0	71,3
10	" 2,0	57,6
11	" 1,0	15,9
12	" 0,5	0,4

A comparação das médias de matéria seca, correspondente aos tratamentos, demonstrou a influência marcante do grau de agregação sobre o comportamento das plantas, podendo-se verificar que os graus mais elevados de agregação, representados pelas frações identificadas pelo símbolo Dmx 4,0 e Dmx 2,0, condicionaram um desenvolvimento significativamente superior ao condicionado pelas frações de grau de agregação mais baixo.

Os tratamentos com as frações da Série Iracema com adubação apresentaram um efeito inesperado sobre o desenvolvimento das plantas. Observou-se um desenvolvimento inicial das plantas mais lento nos 2 tratamentos com os graus mais altos de agregação e nos 2 outros tratamentos, que incluíam os graus mais baixos, as sementes não germinaram. Ao final do experimento, no entanto, os 2 primeiros tratamentos condicionaram pesos

de matéria seca mais elevados do que nos tratamentos sem adubação. As figuras 1 e 2 ilustram esses resultados, que embora não permitindo conclusões decisivas, parecem demonstrar que a agregação influi diretamente sobre o desenvolvimento do vegetal, através da relação ar/água, que depende da distribuição dos tamanhos de poros no solo.

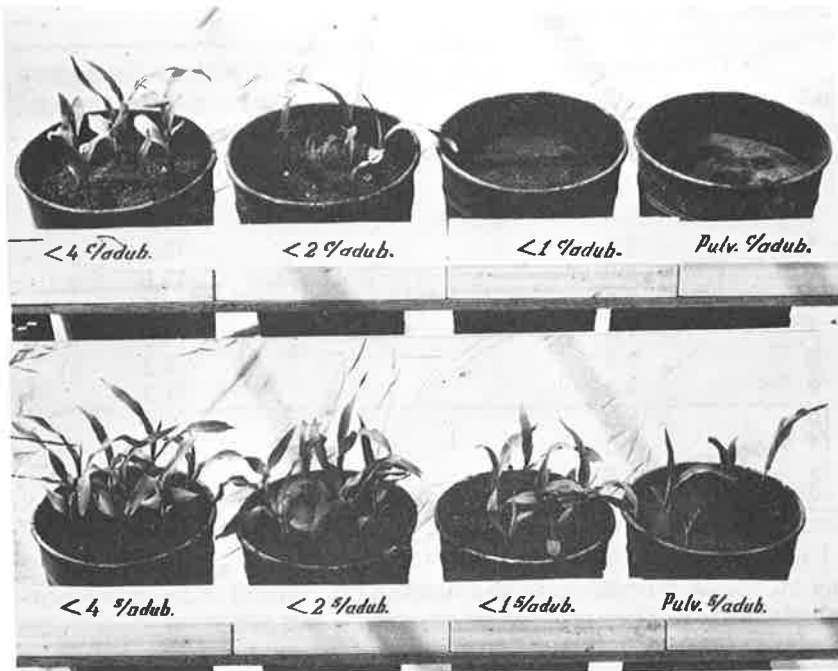


FIGURA 1 - Desenvolvimento das plantas de milho aos 8 dias nos tratamentos da Série Iracema, com e sem a incorporação de adubo.

O quadro VI apresenta os valores de umidade do material dos vasos em três profundidades, determinados com 4 repetições. O quadro VII contém os valores de água retida pelas frações a várias tensões, desde 0,001 atm até 15 atm. Pode-se verificar, pela comparação dos dados do quadro VI e do quadro VII, que o teor de água dos vasos que continham as duas frações de menor grau de agregação foi sempre superior aos valores de

água retida a 0,33 atmosferas. Isto sugere que nesses tratamentos a aeração tenha sido deficiente.

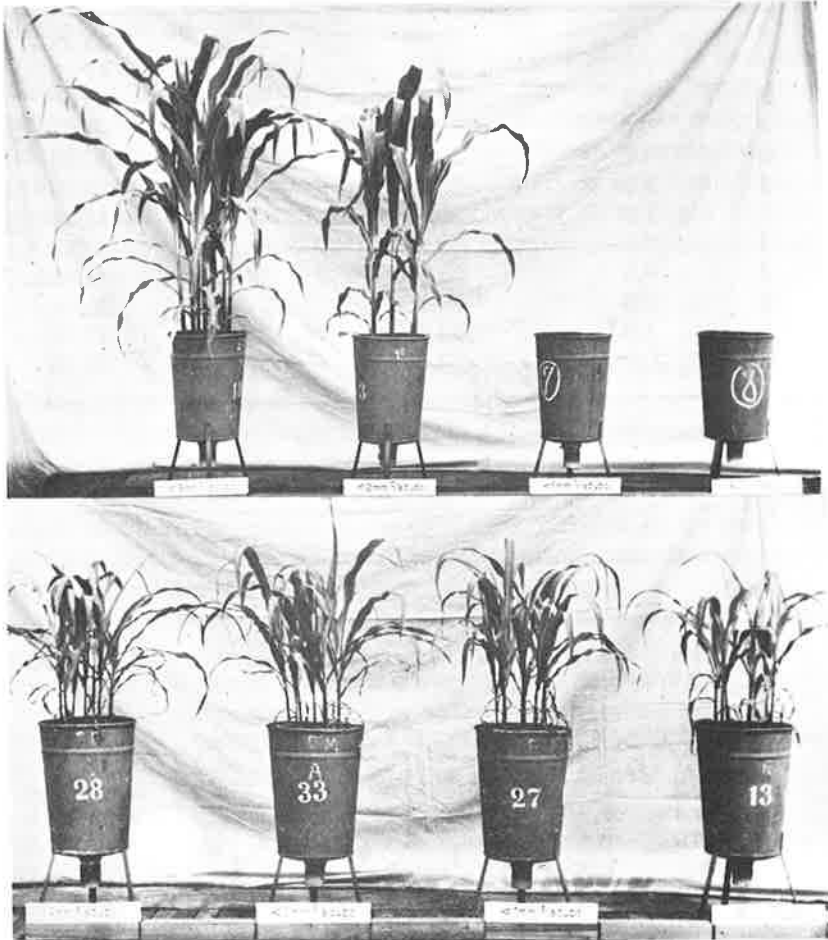


FIGURA 2 - Desenvolvimento das plantas de milho aos 34 dias nos tratamentos da Série Iracema, com e sem incorporação de adubo.

QUADRO VI - Teor de água em três profundidades dos vasos (%TFSE).

TRATAMENTO N.º SIMBOLO		SUPERFÍCIE	MEIO	FUNDO
1	Dmx 4,0	31,62	33,50	38,22
2	" 2,0	34,87	36,72	41,15
3	" 1,0	36,55	39,10	43,00
4	" 0,5	40,65	45,07	46,67
5	" 4,0	29,66	32,17	36,35
6	" 2,0	36,21	38,14	40,16
7	" 1,0	39,66	41,43	44,86
8	" 0,5	43,37	46,57	50,53
9	" 4,0	26,87	28,52	32,22
10	" 2,0	29,55	31,42	36,62
11	" 1,0	31,55	34,65	37,12
12	" 0,5	34,30	37,47	38,70

QUADRO VII - Água retida pelas frações a várias tensões (%TFSE).

TENSÃO atm	SOLOS							
	IRACEMA				BAIRRINHO			
	Dmx 4,0	Dmx 2,0	Dmx 1,0	Dmx 0,5	Dmx 4,0	Dmx 2,0	Dmx 1,0	Dmx 0,5
0,001	56,8	53,6	56,0	50,7	51,9	54,7	53,7	48,3
0,02	46,1	48,2	53,1	47,5	45,5	49,2	47,6	44,6
0,04	37,5	42,1	46,6	47,0	41,2	44,7	44,9	42,5
0,06	32,4	36,8	37,8	46,1	37,8	40,1	41,3	41,4
0,08	29,8	33,1	34,6	45,3	34,9	36,9	40,1	40,2
0,1	28,3	30,8	31,9	43,9	32,7	33,9	37,7	39,5
0,33	26,2	27,6	29,1	37,9	24,2	24,5	26,0	29,9
0,8	25,0	25,0	26,2	31,4	19,9	20,1	19,2	22,7
1,0	24,6	24,4	25,6	29,9	18,9	19,0	18,7	21,2
1,5	23,1	22,8	23,8	26,2	18,7	18,4	17,5	19,5
3,0	22,0	21,6	22,4	23,8	15,6	15,3	14,8	16,0
4,0	21,7	21,4	22,1	23,6	14,8	14,9	14,6	15,4
8,0	20,8	20,6	21,2	22,5	13,8	13,6	13,3	14,0
12,0	20,2	19,7	20,4	20,9	12,5	12,5	12,4	13,2
15,0	20,1	19,7	20,2	20,7	13,0	12,8	12,5	13,2

CONCLUSÕES

A interpretação dos dados apresentados permitiu concluir que o aumento do grau de agregação dos solos estudados resulta num equilíbrio ar/água mais favorável ao desenvolvimento das plantas de milho.

O comportamento das plantas dos vasos que não receberam adubação, quando comparado com os que receberam, permite formular a hipótese de que a movimentação ascendente de água por capilaridade, sendo mais intensa quando menor o grau de agregação, contribui para acúmulo de sais nas camadas superficiais. Este efeito, combinado com a deficiência de aeração, dá como resultado um ambiente adverso para o sistema radicular das plantas.

RESUMO

Foi conduzido, em casa-de-vegetação, um experimento inteiramente casualizado, com 4 repetições, para se verificar o efeito do grau de agregação do solo sobre o desenvolvimento do milho.

Utilizaram-se 4 frações, identificadas pelo diâmetro máximo de suas partículas, obtidas do horizonte Ap de perfis representativos das Séries Iracema e Bairrinho, caracterizadas por RANZANI *et alii* (1963).

A análise dos resultados permitiu as seguintes conclusões:

- a. o efeito do grau de agregação se manifesta através da porosidade que determina a relação ar/água.
- b. a deficiência de aeração é tanto mais limitante para o desenvolvimento das plantas, quanto mais elevado for o teor de sais solúveis no solo.

SUMMARY

This paper reports the results of a completely randomized greenhouse experiment with four replications designed to study the effect of soil degree of aggregation on the development of corn plants (*Zea mays* L.).

Four soil fractions identified by the maximum diameter of its aggregates were obtained from the Ap horizon of soil profiles representative of the Iracema and Bairrinho series as characterized by RANZANI *et alii* (1963).

The analysis of the results led to the following conclusions:

- a. the effect of degree of aggregation is manifest on porosity which in turn determines air/water relationship.
- b. aeration deficiency as a limiting factor for plant growth and development increases with soluble salt contents in the soil.

LITERATURA CITADA

- ALDERFER, R.B., 1954. Physical condition of the soil affects fertilizer utilization. **Better Crops with Plant Food** 38(10): 44-45.
- BAVER, L.D., 1956. **Soil Physics**, John Wiley & Sons Inc., N.Y., 3.a ed., 489p.
- COSTA, J.V.B. & A.L. AZEVEDO, 1943. Algumas considerações sobre a análise de agregados. **Anais do Inst. Sup. de Agronomia** 14: 83-90.
- BOUYOUCOS, G.J., 1929. The ultimate natural structure of soils. **Soil Science**, 28: 27-37.
- BREWER, R. & J.R. SLEEMAN, 1960. Soil structure and fabric: their definition and description. **J. Soil Science** 11(1): 172-185.
- LOW, A.J., 1954. The study of soil structure in the field and the laboratory. **J. Soil Science** 5(1): 57-74.
- PLYUSNIN, I.I., s/data. Reclamative soil science. Foreign Language Publishing House, Moscow, 278p.
- QUEIROZ NETO, J.P. & F. GROHMANN, 1963. Estado de agregação de terra roxa (Série Chapadão) num ensaio de adubação de milho. **Bragantia** 22: 635-646.
- RANZANI, G., O. FREIRE & T. KINJO, 1963. **Levantamento da carta de solos do município de Piracicaba**, E.S.A. «Luiz de Queiroz», U.S.P., mimeografado, 85p.
- RUSSELL, E.W., 1938. **Soil structure**, Imperial Bureau of Soil Science, Technical Communication n.º 37, 42p.
- YODER, R.E., 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **J. Amer. Soc. Agron.** 28: 1.
- ZUR, B., 1966. Selected topics in soil physics. Cadeira de Física e Meteorologia, E.S.A. «Luiz de Queiroz», USP, mimeogr., 71p.