

ESTRUTURA, AGREGAÇÃO E ÁGUA DO SOLO

Tese submetida à Escola Superior de Agricultura
«Luiz de Queiroz», da Universidade de São Paulo,
para a obtenção do título de Doutor em Agronomia

por

ZILMAR ZILLER MARCOS, Eng. Agrônomo
pela E. S. A. «Luiz de Queiroz», «Master of Science»
pelo «Agricultural and Mechanical College of Texas»
e Instrutor da Cadeira N.º 13,
SOLOS E AGROTECNIA

PIRACICABA - ESTADO DE SÃO PAULO

1 9 6 8

Agradecimentos são registrados ao Prof. Guido Ranzani pela sua orientação, irrestrito apoio e encorajamento; ao Eng. Agr. José Renato Saruge pela colaboração desinteressada e ao Acadêmico Walter Politano pela sua dedicada ajuda.

É reconhecida a participação dos muitos que colaboraram neste trabalho, desde a concepção até a sua conclusão, através de discussões, trocas de pontos de vista e confecção.

A êstes, que permanecem no anonimato, o autor dedica êste trabalho.

C O N T E Ú D O

	Página
I - PREFÁCIO	1
II - INTRODUÇÃO	3
III - REVISÃO DA LITERATURA	5
A. Conceito de Estrutura e Seus Efeitos	5
B. Agregação, Definição e Efeitos	8
C. Estrutura, Agregação e Água do Solo	11
IV - MATERIAL E MÉTODOS	13
A. Unidade de Sucção	17
B. Caracterização dos Tratamentos	20
V - RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
A. Caracterização dos Tratamentos	22
B. Efeito do Grau de Agregação na Retenção de Umidade	27
1. Solos	28
2. Grau de Agregação	34
3. Interação Solos x Grau de Agregação	37
C. Efeito do Grau de Agregação na Água Disponível .	44
VI - RESUMO E CONCLUSÕES	48
VII - SUMMARY	50
VIII - LITERATURA CITADA	52

I - P R E F Á C I O

A estrutura do solo é considerada como uma de suas mais importantes características do ponto de vista agrícola. A ela são atribuídas propriedades fundamentais nas relações solo-planta. Diversos autores atribuem à estrutura a fertilidade do solo, considerando que a retenção de umidade e nutrientes e sua disponibilidade às plantas estão diretamente correlacionadas com a estruturação do solo.

Entretanto, um exame da literatura revela que estas qualidades conferidas ao solo pelo arrançamento das partículas texturais não têm verificação experimental dimensionada.

Assim, tendo sido repetidamente afirmado que a estruturação do solo modifica as manifestações da textura, solos arenosos teriam sua baixa retenção de água aumentada e a excessiva aeração diminuída quando estruturados. O inverso se daria com solos argilosos. Estas considerações, empíricas na forma como são apresentadas, parecem ter, todavia, a justificativa de serem conclusões derivadas da experiência prática na exploração agrícola de terras. Sucede que os solos mais produtivos são, via de regra, bem estruturados.

O estudo sistemático do assunto revela que a falta de dados, que corroborem as boas qualidades de um solo estruturado, se deve principalmente a duas razões. Em primeiro lugar, o termo, em que pese toda a sua considerada importância, não é definido de igual modo pelos diversos autores e, em segundo lugar, os estudos sobre estrutura, conduzidos sob diversos pontos de vista, versam predominantemente sobre aná-

lise de agregados do solo estáveis em água.

A estrutura do solo não é sinônimo de seu estado de agregação. A estrutura do solo, do ponto de vista morfológico e genético, refere-se à maneira como a massa de terra se rompe pela aplicação de uma força. Do ponto de vista físico, é o arranjo e disposição das partículas que compõem a massa de terra, formando um sistema poroso. Estes dois conceitos, embora relacionados, representam pontos de vista distintos. A estruturação do solo no sentido morfo-genético é puramente descritiva, enquanto que, do ponto de vista físico, é funcional.

Nas relações solo-planta, não é significativo o fato de um determinado solo apresentar estrutura em blocos, prismática ou colunar; a significação está na distribuição e tamanho dos poros, devido ao arranjo das partículas sólidas do solo. Em virtude dos fenômenos vitais do solo serem fenômenos de superfície, dependentes do fluxo de gases e líquidos, é importante não apenas esta distinção como a avaliação das propriedades do solo relacionadas à sua porosidade.

Evidentemente, uma vez conhecido o efeito da disposição das partículas do solo, é preciso determinar a sua permanência. Em outras palavras, equivale a dizer conhecer a estabilidade de uma determinada disposição das partículas sólidas do solo.

Há solos que, embora apresentando estruturação semelhante têm propriedades distintas. A diversidade da natureza das partículas texturais e da composição dos agregados destes solos pode explicar este comportamento.

É, portanto, importante que a avaliação das propriedades do solo, devidas à sua estrutura, seja conduzida sob um ponto de vista definido; que os efeitos da estruturação sejam medidos numericamente e que a natureza e composição das partículas que o compõem, sejam determinadas.

II - INTRODUÇÃO

É predominante na literatura sôbre estrutura do solo, a atenção dada aos estudos sôbre estabilidade de agregados e distribuição de tamanho de agregados em amostras de terra. As técnicas introduzidas por diversos autores são tão diversas quanto artificiais. As amostras obtidas são tratadas por processos que incluem preparos extremos, como secagem ao ar e pré-umedecimento. Por esta razão, provàvelmente, os resultados obtidos são variáveis, não havendo nada de absoluto quanto ao significado da determinação de agregados estáveis em água. LOW (32), em uma revisão do assunto, em 1954, verificou haver grande variação entre os dados obtidos por dois operadores trabalhando com amostras de um mesmo solo.

As tentativas para correlacionar estrutura do solo, grau de agregação ou qualquer outra forma descritiva da estrutura com dados de produção de cultura têm sido contraditórias. Os trabalhos a respeito são raros e não conclusivos. QUEIROZ NETO & GROHMANN (40), em trabalho publicado em 1963, apesar de considerarem a estruturação do solo como a sua mais importante característica para a produção agrícola, concluem de seus próprios dados não haver correlação entre a produção de milho e o tamanho dos agregados do solo.

Todavia, não há dúvida quanto à importância da distribuição dos tamanhos de poros do solo nas relações solo-planta. O efeito do arranjo das partículas do solo na porosidade é também universalmente reconhecido, tendo sido frequentemente demonstrado por inúmeros traba-

lhos. Por outro lado, há diversas propriedades do solo que são relacionadas à sua porosidade, sendo conseqüentemente função da estrutura. Estas propriedades podem ser medidas quantitativamente e os resultados interpretados quanto ao efeito sobre as condições essenciais à vida das plantas.

A avaliação do estado de estruturação do solo pelo estudo desta característica é considerada como descritiva. Embora os agregados sejam separados, sua estabilidade avaliada e a sua formação extensamente estudada, não há conhecimento de que exista alguma lei ou princípio comandando a sua formação, tamanho e composição. As unidades estruturais de dois solos podem ser qualitativamente idênticas, isto é, receberem a mesma descrição, e, no entanto, devido à sua composição específica e ao arrançamento de suas partículas primárias e secundárias, conferirem aos respectivos solos propriedades diferentes.

Com o intuito de colocar em destaque experimentalmente estas considerações, este trabalho foi concebido. A maior parte dos métodos que foram utilizados é convencional. Do ponto de vista experimental, o objetivo específico do trabalho é determinar o efeito do grau de agregação do solo sobre a retenção de água. Como material fundamental para o estudo foram coletadas amostras de terra do horizonte superficial (Ap) de dois solos que ocorrem no Município de Piracicaba. Estes dois solos foram escolhidos por apresentarem características estruturais descritivas semelhantes no seu horizonte Ap. A característica distintiva entre os dois solos, considerada de importância para este trabalho, foi o teor e a natureza do material coloidal.

III - REVISÃO DA LITERATURA

A. CONCEITO DE ESTRUTURA E SEUS EFEITOS

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 em volta 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 RUSSEL (48), condicionava a ótima produção das diversas culturas à capacidade do solo em desmanchar-se em agregados com diâmetro variando dentro da amplitude de 0,5 a 3,0 mm 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 (40) afirmaram recentemente 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 êstes autores, quanto menos estruturação um solo apresentar, menos produtivo será.

Autores modernos, notadamente físicos do solo, têm considerado a estrutura do solo como característica puramente descritiva e de significado indefinido. ZUR (58), em recente 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.

Estas 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 (32), em um estudo sobre o assunto, resumiu-o em uma frase: "é o arranjo das partículas sólidas no solo". Este conceito, evidentemente, não admite a existência de solos sem estrutura, conforme afirmam outros autores. ZAKHAROV, por exemplo, citado por BAVER (5), 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 (8) 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 este 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 (38), 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 BOTELHO DA COSTA & AZEVEDO (7) 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 1 mm. Esta proposição, aparentemente simples, é, na realidade, complexa, pois BOTELHO DA COSTA & AZEVEDO consideram que a macroestrutura é naturalmente dependente da microestrutura.

Há, entretanto, em alguns autores a preocupação de dar à defi-

nição de estrutura um caráter funcional. ALEXANDER & MIDDLETON (2) 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 (5), 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 (agregado 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 (10). Estes autores propõem novas definições com o objetivo de distinguir termos cujos conceitos eram coincidentes. As definições são as seguintes:

"Fabric" do solo, ou sistema do solo: constituição física do material do solo, expressa pelo arranjo espacial das partículas sólidas e vazios associados.

Estrutura: constituição física do material do solo, expressa pelo tamanho, forma e arranjo das partículas sólidas e vazios associados, incluindo as partículas primárias e compostas.

Textura: constituição física do material do solo, expressa pela sua estrutura e grau de cristalização das partículas sólidas.

BREWER & SLEEMAN consideram que 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 próprios, e não pelo que representa funcionalmente no solo, nas relações solo-planta.

É fora de dúvida que a estruturação do solo modifica a sua po-

rosidade 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 fundamentos, 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.

B. AGREGAÇÃO, DEFINIÇÃO E EFEITOS

Alguns autores, notadamente os ingleses, utilizam os termos "agregação" e "estruturação" alternadamente, como sinônimos, em suas discussões. Segundo HAMPTON (26), esta sinonímia é imprópria, pois estruturação refere-se a algo mais, além de agregação, como por exemplo:

1. tamanho e forma dos agregados;
2. orientação e estado de compactação das partículas individualizadas e agregados;
3. estabilidade dos agregados;
4. natureza e grau de coesão entre as partículas de um determinado agregado e entre os agregados, e
5. tamanho, forma e continuidade dos poros e fendas dentro e entre os agregados.

Entretanto, a literatura é farta de trabalhos relatando tentativas de caracterização de estrutura, através da análise de agregados. Desde há muito, percebeu-se que a impossibilidade da avaliação da estrutura quantitativamente poderia ser contornada pela chamada análise de agregados. Esta análise, para a qual há diversos métodos, resume-se na mensuração da distribuição de agregados agrupados em classes de diâmetro arbitrárias e segundo um critério variável de estabilidade. Dentre os vários métodos, o mais divulgado é o de TIULIN, modificado por YODER, introduzido em São Paulo por GROHMANN (21).

O estudo dos agregados do solo, que poderia trazer a objetividade que faltava à conceituação descritiva da estrutura, tem sido até o presente predominantemente apenas isto: análise da distribuição de agregados. Segundo KIRKHAM (31), tal fato se deu principalmente devido ao grande interesse despertado na década de 40 pelo programa de contro-

le da erosão, do Serviço de Conservação do Solo, do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América do Norte. A relação entre erosão e distribuição e estabilidade de agregados do solo foi intensamente estudada. O grande volume de dados criou novas condições para o tratamento do assunto. Os resultados das análises de agregados eram tomados como avaliação da estrutura do solo e, a partir daí, tiravam-se, por interferência, informações sobre as propriedades do solo. Afirmações positivas foram publicadas. FURI & BALWANT (39) dizem que os agregados de um solo, estáveis em água, representam estruturas permanentes dependentes da composição granulométrica fundamental do solo, e são, portanto, característicos básicos que não tendem a alterar-se facilmente. Afirmção semelhante é feita por QUEIROZ NETO e col. (41) quando dizem que a distribuição dos agregados e sua estabilidade em água conferem elevado poder de retenção de água, bom arejamento, penetração fácil de raízes e boa permeabilidade.

Inúmeros pesquisadores manifestaram-se a respeito destas conclusões.

ALEXANDER & MIDDLETON (2) observaram que a avaliação da estrutura pela agregação pode resultar em conclusões errôneas, pois poderá haver diferença nas propriedades físicas do solo, que afetam as plantas sem que, necessariamente, haja diferença na agregação. Suas observações são confirmadas por SHAW (49), que, em suas experiências encontrou dificuldade em interpretar a análise de agregados em termos do comportamento de plantas no solo. Concluiu que a principal razão desta dificuldade é que uma determinada permeabilidade pode ser obtida com uma infinidade de combinações de agregados de diferentes tamanhos.

A afirmação de LOW (32) é mais radical. Diz o autor que não há nada de absoluto quanto ao tamanho de agregados estáveis, pois há tantos resultados, quantos métodos de determinação.

Pode-se perceber o impasse criado. Diante da evidência de que a estruturação do solo altera a sua porosidade, a consequência natural seria buscar um dimensionamento da porosidade e seus efeitos nas relações solo-planta. Todavia, com o impulso dado aos estudos sobre agregados na década de 40, desenvolveu-se o estudo da estabilidade da estrutura. No primeiro caso, chegou-se até a porosidade sem se conhecer a sua permanência, e, no segundo, obteve-se a estabilidade, sem se conhecer a porosidade. É devida a BAVER (5) a observação de que a análise de

agregados fornece o número de agregados e não o seu arrançamento. Consequentemente, é apenas um índice e não caracteriza a estrutura e seus efeitos. É o arranjo das partículas que determina a quantidade e a natureza dos poros de um solo.

Uma alternativa para o problema é o estudo das propriedades dos agregados propriamente ditos. GAREY (18) assinala que, conquanto haja muitos trabalhos versando sobre a presença e distribuição de agregados por tamanho, pouco há sobre as suas propriedades. Em um estudo deste tipo, verificou que os agregados estáveis em água, que reúnem a maior parte da argila de um solo, não se comportam como o solo total. Verificou em solos de textura diversa, peneirados em tamiz com crivos de 6,5 mm, que os agregados com diâmetro compreendido entre 0,65 e 0,42, contêm mais argila e matéria orgânica que os maiores e que o solo total.

Em um estudo semelhante, GROHMANN e col. (22) verificaram que as porcentagens de Ca^{++} , Mg^{++} e K^+ diminuíram progressivamente dos agregados maiores para os médios, aumentando para máximas, nos menores. Os agregados maiores apresentaram maior porcentagem de argila que os médios, e estes, menos que os menores.

Uma atitude mais radical em relação à estrutura do solo teve início no começo da década de 50. Desde que aceito o efeito geral da estrutura na porosidade do solo e diante das observações de que os solos estruturados são em geral mais produtivos, e, visto que a permanência destes efeitos está relacionada à estabilidade da agregação, partiu-se para a utilização dos chamados condicionadores do solo. KIRKHAM (31), em um trabalho sobre o desenvolvimento da Física do Solo, relata a descoberta destes produtos sintéticos pela Cia. Química Monsanto, que, aplicados ao solo, promovem a estabilidade dos agregados. KIRKHAM registra de maneira geral, que experimentos realizados na Universidade Estadual de Ohio mostraram aumento de produção com o uso destes estabilizadores de agregados. Na sua opinião, esta descoberta é comparável, em importância, à dos adubos químicos, por Liebig.

O efeito destes polímeros no solo tem sido estudado com resultados diversos. MARTIN e col. (34) verificaram um aumento na agregação e aumento na produção de milho e aveia. ALLISON (3) verificou a eficiência de polímeros na promoção de agregados estáveis em água; a permeabilidade do solo aumentou com o aumento do tratamento. MARTIN e col. (33),

em uma revisão do assunto, assinalaram que o tratamento com polímeros tem tido resultados opostos na produção de colheitas. HAISE e col. (25) encontraram diminuição na produção de beterraba, independentemente de uma melhoria na estrutura. HELY e col. (27), ALDERFER (1) e GUSSAK & PAGANYAS (24) constataram efeitos positivos dos condicionadores do solo sobre a produção de cravo, feijão-lima e algodão, respectivamente.

C. ESTRUTURA, AGREGAÇÃO E ÁGUA DO SOLO

A esta altura, convém salientar, todavia, que não escapou aos pesquisadores a idéia de que merecem atenção e estudo as propriedades do solo, que se consideram função de sua estrutura ou de seu estado de agregação.

BRADFIELD & JAMISON (9), em um estudo sobre as relações solo-água, propuseram que a caracterização quantitativa da estrutura seja feita através da medição da distribuição do tamanho de poros.

A medição direta dos efeitos da estrutura tem representado as contribuições mais objetivas ao conhecimento do comportamento físico do solo. É uma afirmação de STAUFFER (52) que um verdadeiro conhecimento das características físicas do solo se torna disponível só quando as propriedades podem ser medidas e expressas numericamente.

Alguns trabalhos em que parece ter sido esta a preocupação dos autores referem-se às modificações no comportamento do solo, relacionadas à estrutura, nas relações solo-água.

BAVER & FARNSWORTH (6), relatando o efeito de condicionadores do solo, dizem que a água retida a 345 cm de tensão diminui ligeiramente com o aumento do condicionador aplicado. A umidade retida a 15 atmosferas não se alterou com os tratamentos. Houve, então, como efeito geral, uma diminuição da água disponível.

FENG & BROWNING (36), verificaram que a água não capilar aumentou com a agregação.

RICHARDS & WADLEIGH (46) verificaram, ao relacionarem teor de umidade do solo com tensão aplicada, que curvas diferentes são obtidas a baixas tensões, quando se utilizam amostras de terra com estrutura natural e terra preparada.

KELLEY (30) mostrou que a quantidade de água armazenada no solo e disponível às plantas, é principalmente determinada pela textura,

estrutura, profundidade e uniformidade do solo. Estes mesmos fatores são largamente responsáveis pelas relações de umidade no solo.

CRONEY & COLEMAN (15), utilizando uma mistura de areia e gesso de diferentes granulações, verificaram que as curvas de tensão de umidade são praticamente idênticas, acima de p^F 3,6. Verificaram que o aumento da densidade aparente causa diminuição da água retida a altas tensões. Mostraram que a destruição da estrutura pela manipulação do solo com alto teor de umidade modifica a curva de tensão, porém só até p^F 4,8. Concluem, pelos dados obtidos, que diversos teores de umidade podem estar em equilíbrio com uma dada sucção, dependendo da estrutura do solo.

RICHARDS e col. (47) verificaram que a densidade aparente afetou a retenção de umidade pelo solo. A retenção aumentou com o aumento da densidade aparente. A explicação oferecida por RICHARDS é que há maior área externa por unidade de volume. Um determinado filme de água associado com a superfície adicional ocasiona mais água por unidade de volume.

NAAR & WYGAL (35) postulam que a curva de sucção representa o tamanho aparente dos poros do solo esvaziados com a aplicação de determinada sucção h e também descreve o limiar capilar estático do material. Esta observação foi anteriormente feita por BRADFIELD & JAMISON (9) e por GROHMANN (20), embora estes autores tenham divergido ao propor as dimensões dos poros relacionadas às sucções aplicadas.

IV - MATERIAL E MÉTODOS

Como material para estudo, foram coletadas amostras do horizonte Ap de dois solos de ocorrência no Município de Piracicaba. Estes solos foram classificados por RANZANI e col. (42), como séries IRACEMA e BAIRRINHO, e assim enquadradas nas unidades de mapeamento apresentadas pela Comissão de Solos do CNEPA, como Latosol Roxo e Mediterrânico Vermelho-Amarelo, respectivamente (14).

Estes solos foram escolhidos por apresentarem caracterização morfológica estrutural semelhante e notável distinção quanto à natureza e teor da fração argila. Algumas das características dos horizontes Ap destes solos, de interesse para o presente estudo, são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Algumas Características do Horizonte Ap dos Solos das séries Iracema e Bairrinho (segundo RANZANI, FREIRE & KINJO, 1963).

Série	Estrutura			Areia Limo Argila (% TFSE)			Fe ₂ O ₃ livre (% TFSE)
	Tipo	Classe	Grau				
Iracema	Gran.	-	Muito fraco	27,8	26,1	46,1	21,1
Bairrinho	Gran.	Media	Mod.a forte	27,1	48,2	24,7	2,2

As amostras de terra foram obtidas de perfis representativos de cada uma das séries. Coletaram-se aproximadamente 200 quilos de terra do horizonte Ap de cada um dos solos. Este material foi pôsto a secar ao ar, à sombra, em bandejões individuais e posteriormente destorroado para passar por um tamiz com crivos de 4 mm de diâmetro. A terra de cada solo, assim preparada, foi homogeneizada em um tambor rotativo manual e subdividida em 4 porções iguais. Duas destas porções foram trabalhadas em gral de porcelana, para que passassem respectivamente por tamizes com crivos de 2 e 1 mm de diâmetro. A quarta porção foi triturada em um moinho de discos ILER, para destruir a agregação. A Figura 1 mostra o esquema do preparo dos tratamentos.

Depois de preparados, os tratamentos foram individualmente homogeneizados.

Nestes oito tratamentos, assim obtidos, 4 de cada solo (Quadro 2), referidos em termos dos diâmetros máximos (D_{mx}) das partículas, foram feitas as análises e determinações para avaliar os seus efeitos.

Quadro 2. Discriminação dos Tratamentos

Tratamento		Solo	Diâmetro máximo das partículas (mm)
nº	símbolo		
1	$D_{mx} 4,0$	Iracema	4,0
2	$D_{mx} 2,0$	Iracema	2,0
3	$D_{mx} 1,0$	Iracema	1,0
4	$D_{mx} 0,5$	Iracema	0,5
5	$D_{mx} 4,0$	Bairrinho	4,0
6	$D_{mx} 2,0$	Bairrinho	2,0
7	$D_{mx} 1,0$	Bairrinho	1,0
8	$D_{mx} 0,5$	Bairrinho	0,5

O estudo principal tratou do efeito do grau de agregação do solo na retenção da umidade. Um experimento foi conduzido para cada tensão de umidade, utilizando os 8 tratamentos básicos apresentados, repe-

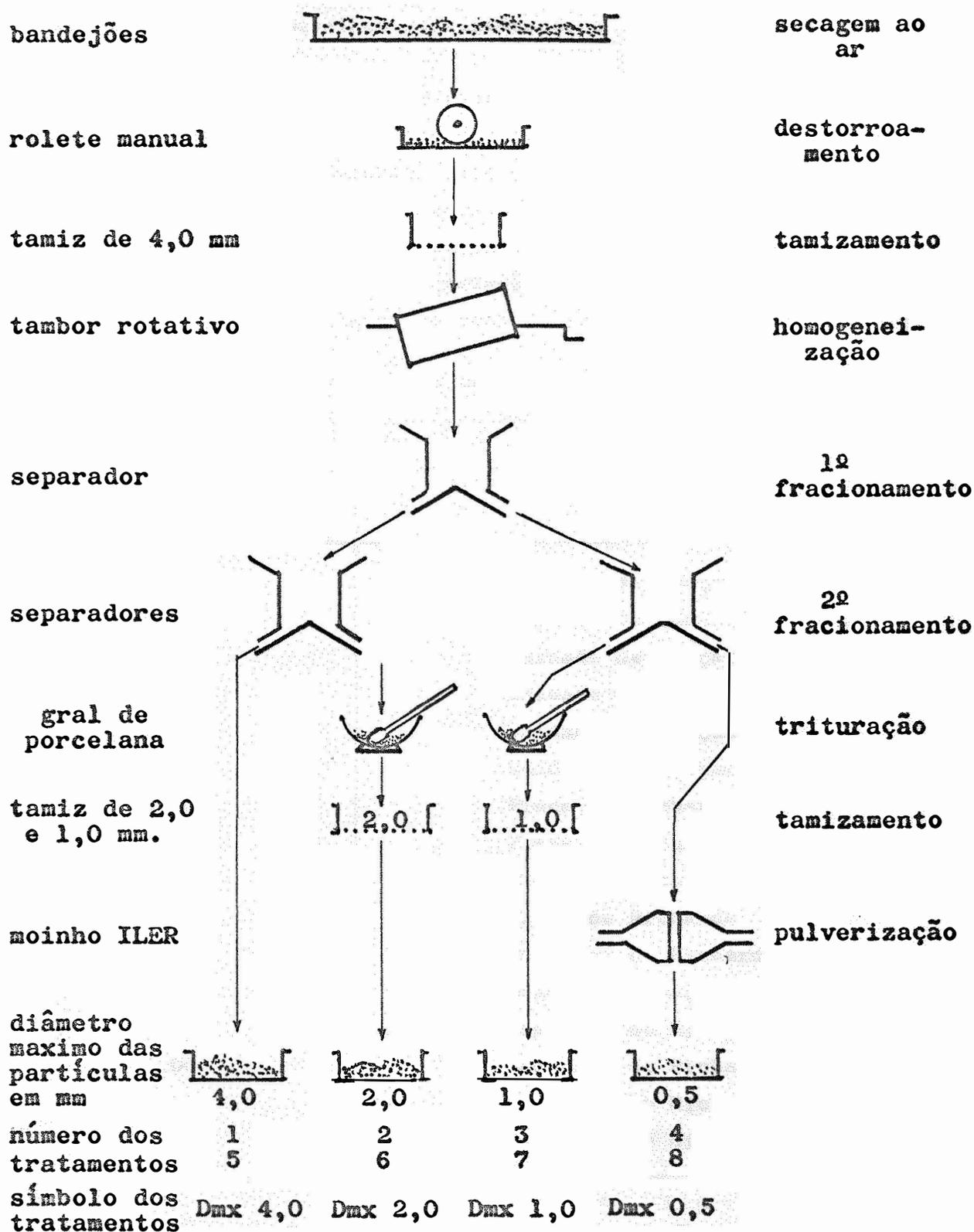


Figura 1. Indicação esquemática do preparo dos tratamentos.

tidos 3 vezes. O delineamento estatístico foi inteiramente casualizado. As tensões e os aparelhos utilizados para obtê-las são apresentados no Quadro 3.

Não houve razão especial para a escolha das tensões utilizadas. Procurou-se apenas cobrir, dentro das possibilidades, a amplitude geralmente considerada pelos autores, isto é, desde um ponto bem próximo da tensão 0 (zero) até o correspondente a 15 atmosferas de tensão.

O primeiro experimento foi executado com a amostra saturada de umidade. Este ponto, tomado como referência, correspondeu a 0,001 atmosfera, pois a espessura da amostra montada era de cerca de 1 centímetro.

Quadro 3. Tensões e aparelhos utilizados para determinação da umidade dos tratamentos.

Tensão em atmosferas (atm)	Aparelho
0,001	Unidade de sucção
0,02	Unidade de sucção
0,04	Unidade de sucção
0,06	Unidade de sucção
0,08	Unidade de sucção
0,10	Unidade de sucção
0,10	Placa de Richards
0,33	Placa de Richards
0,80	Placa de Richards
1,00	Placa de Richards
1,50	Membrana de Richards
3,00	Membrana de Richards
4,00	Membrana de Richards
8,00	Membrana de Richards
12,00	Membrana de Richards
15,00	Membrana de Richards

As determinações com os aparelhos de pressão de RICHARDS foram feitas conforme as recomendações do autor (44, 45). São determinações usuais em laboratórios de solos.

A câmara de pressão utilizada para as determinações com a placa de RICHARDS, com capacidade para 4 placas porosas, permitiu que cada experimento, dentro dos intervalos de tensão de 0,1 a 1,0 atm, fosse conduzido de uma só vez. Em outras palavras, os tratamentos e suas respectivas repetições foram submetidos a cada tensão simultaneamente. Entretanto, a câmara de pressão da membrana de RICHARDS, devido à sua restrita capacidade, exigiu que, dentro dos intervalos de tensão de 1,0 a 15,0 atm, cada um dos experimentos fosse fracionado, tratando-se os solos separadamente. Apesar desta alteração, o delineamento estatístico não foi modificado por considerar-se que, em condições de laboratório, o erro experimental é reduzido.

Os experimentos para as tensões baixas, até 0,1 atm, foram considerados dentro do delineamento inteiramente casualizado, como os anteriores. Entretanto, a execução dos experimentos não foi ortodoxa, devido à natureza da determinação. Uma única amostra foi montada para cada repetição de tratamento. Com esta mesma amostra, determinou-se o teor de umidade retido nas diversas tensões, dentro dos limites entre o ponto de referência (0,001) e 0,1 atm. Para o tratamento estatístico, os dados obtidos foram discriminados para os respectivos experimentos.

Os dados obtidos dos experimentos de tensão de umidade foram analisados estatisticamente, segundo recomendações de PIMENTEL GOMES (37). Como testes de significância, foram utilizados o teste F de SNEDECOR (51), para comparar as variâncias, e o teste de TUKEY, citado por PIMENTEL GOMES (37), para comparar os contrastes entre médias.

A. UNIDADE DE SUCÇÃO

As determinações com coluna de água para as tensões entre o ponto de referência e 0,1 atm, foram feitas com uma unidade de sucção idealizada e especialmente montada para este trabalho. A denominação de Unidade de sucção foi antes utilizada por GROHMANN (20), trabalhando com um dispositivo diferente, baseado nos mesmos princípios.

O uso de colunas de água e de placa porosa para relacionar tensão com conteúdo de umidade é bastante divulgado. Entretanto, a unidade de sucção construída para este trabalho apresenta detalhes operacionais que simplificam as determinações.

O esquema da unidade de sucção é apresentado na Figura 2. 0

aparelho consta de um suporte de madeira sôbre o qual são fixados uma bureta de 100 cm³ de capacidade (I), graduada em divisões de 0,2 cm³, um tubo de vidro recurvado (H), conexões de tubo plástico (G) e uma escala com graduações de 0,5 cm (A). O tubo recurvado funciona como indicador de nível e está fixo ao suporte de madeira, de modo que o nível esteja no mesmo plano horizontal que o ponto zero da escala graduada. Uma barra de ferro de secção circular (B) prêsã também ao suporte de madeira, serve de guia e fixação do funil com placa porosa (C) às diversas alturas desejadas. O funil é fixado por meio de uma presilha (E), à qual está solidário um ponteiro indicador de altura (D). O funil é fixado numa posição tal que a sua placa porosa fique no mesmo plano horizontal que a seta do ponteiro indicador.

O funil é ligado ao conjunto fixo no suporte de madeira por um tubo plástico flexível, com 2 m de comprimento (F).

A unidade de sucção é preparada para funcionamento removendo-se todo o ar da placa porosa do funil e enchendo-se todo o sistema com água. A remoção do ar da placa é feita mergulhando-a na água contida em um dessecador com 6 litros de capacidade ligado a uma bomba de vácuo. A adaptação do tubo flexível ao funil é feita antes da retirada dêste do dessecador. O funil é montado em posição tal que a seta indicadora coincida com o zero da escala. Quando o nível da água na placa porosa coincide com aquêle da água no tubo recurvado, a pressão na placa é atmosférica. O registro da bureta é fechado e seu volume completado.

Para montar a amostra de terra, o funil deve ser colocado em posição baixa, relativamente ao zero da escala, para que se estabeleça um fluxo de água na sua direção. Abrindo-se o registro da bureta obtêm-se uma camada de aproximadamente 2 cm de água sôbre a placa porosa. A terra é então adicionada cuidadosamente de modo a formar uma camada de espessura uniforme. O aprisionamento de bôlhas de ar sôbre a placa e no interior da camada de terra é, assim, evitado.

As determinações para êste estudo foram feitas colocando-se no funil uma quantidade de terra sêca ao ar, equivalente a 100 g de terra sêca em estufa a 105-110°C. Um intervalo de 24 horas foi dado para a saturação da amostra. Após êste tempo o registro da bureta foi fechado e o funil recolocado na posição zero da escala, para que o excesso de água fosse devolvido à bureta. A partir do instante em que o volume de água na bureta foi constante, obteve-se, por leitura direta, a medida

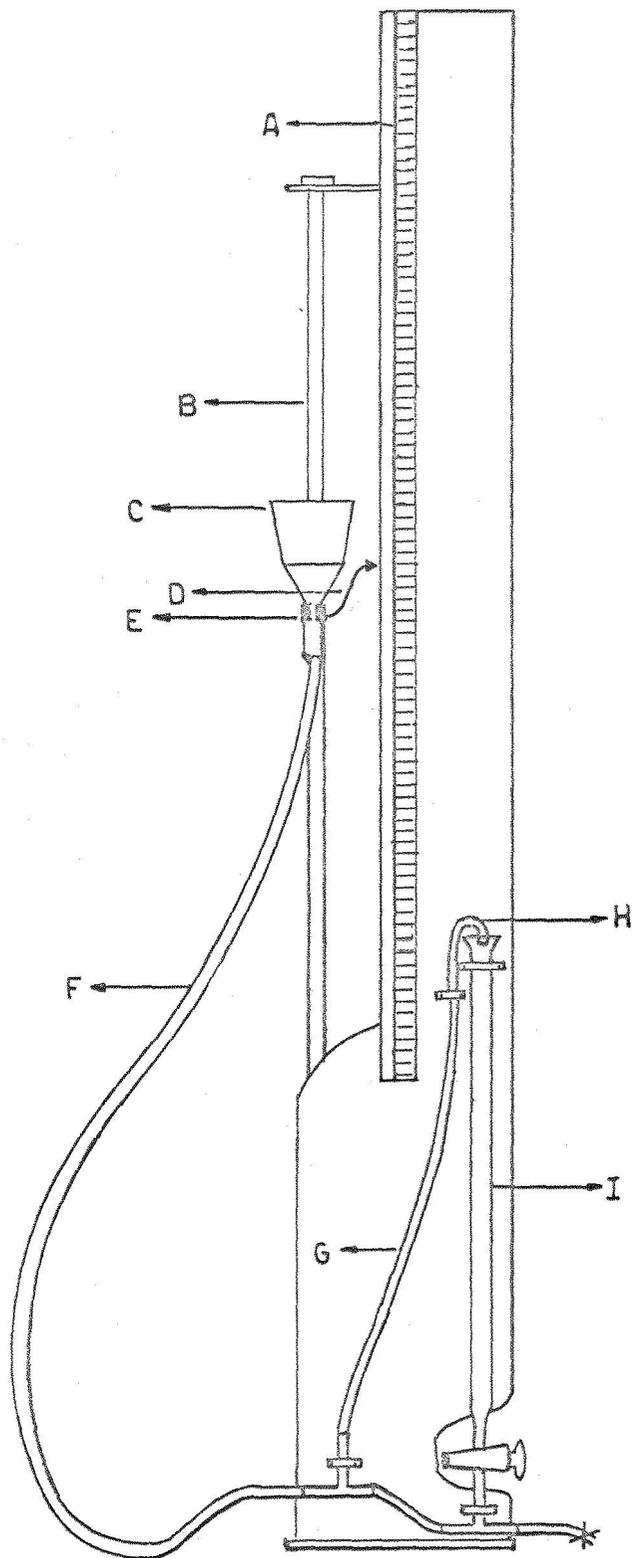


Figura 2. Esquema da Unidade de sucção.

da água de saturação da amostra, expressa em porcentagem de terra seca em estufa. O funil foi então colocado sucessivamente nas posições correspondentes às tensões desejadas, indicadas no Quadro 3. Para cada altura da coluna de água, a água extraída da amostra de terra e devolvida à bureta, deu, quando em equilíbrio, por leitura direta, o teor de umidade da amostra em porcentagem de terra seca em estufa, correspondente à tensão aplicada.

A Foto 1 mostra o funil na posição zero, enquanto o excesso de água é devolvido à bureta. Na Foto 2, uma determinada tensão foi aplicada à umidade retida pela amostra de terra, conduzindo a um estado de equilíbrio entre o teor de umidade e a tensão da água no solo.

B. CARACTERIZAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Algumas determinações analíticas foram feitas para a caracterização das amostras utilizadas como tratamentos básicos.

A análise mecânica foi feita pelo método da pipeta, utilizando-se NaOH 1N como agente dispersante. As determinações foram feitas em duplicata. A tomada da alíquota da suspensão foi executada com o auxílio do aparelhamento semi-automático apresentado por FREIRE (17).

A distribuição dos agregados nos tratamentos foi determinada sob dois critérios. Fez-se uma análise de agregados pelo peneiramento em água, segundo a técnica de YODER (57), e, para a distribuição dos agregados por peneiramento a seco, utilizou-se uma simplificação da técnica descrita por CHEPIL (13).

A densidade real foi determinada com picnômetro, utilizando-se 2 g de terra seca em estufa e água destilada. A densidade aparente de cada tratamento foi calculada a partir do volume ocupado por 8 quilos de terra. A porosidade total de cada tratamento foi calculada a partir da relação

$$VTF\% = \left(1 - \frac{D_a}{D_r} \right) \times 100$$

Determinou-se também o teor de matéria orgânica dos tratamentos pelo método descrito por GREWELING & PEECH (19) e o teor de Fe_2O_3 livre, pelo método apresentado por JACKSON (28).

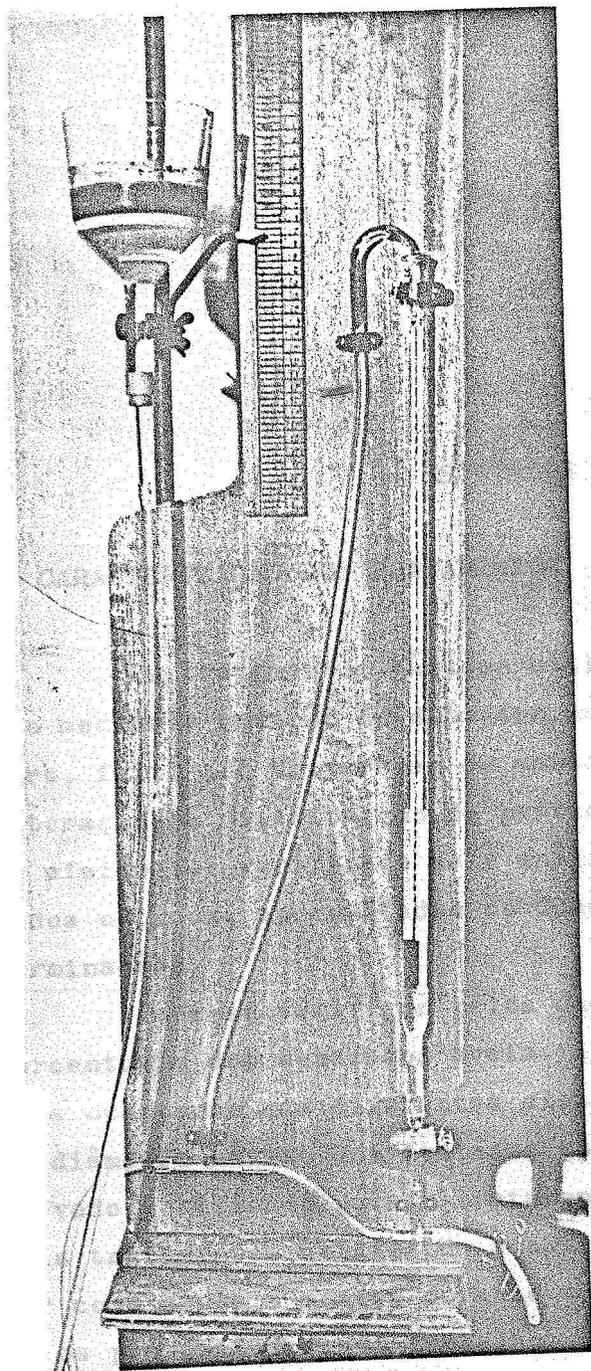


Foto 1. Unidade de sucção com o funil na posição de tensão zero na placa porosa

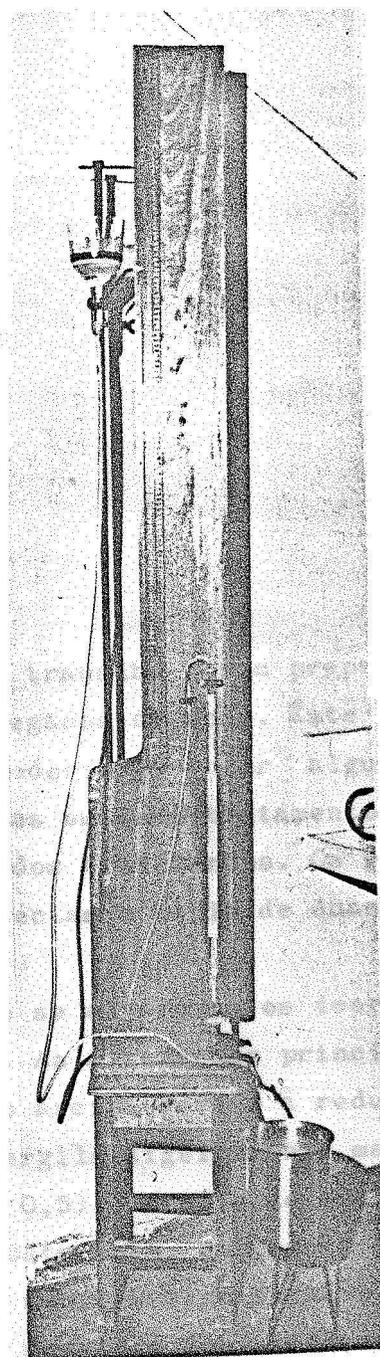


Foto 2. Unidade de sucção com uma determinada tensão aplicada à unidade de amostra.

V - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. CARACTERIZAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Os tratamentos básicos utilizados neste trabalho foram preparados mediante redução do diâmetro máximo dos agregados do solo. Este preparo, feito por trituração da massa de terra, poderia provocar alguma alteração na distribuição de partículas primárias em cada tratamento. Este efeito foi verificado pela análise mecânica dos tratamentos. Os resultados obtidos, apresentados no Quadro 4, representam a média de duas determinações.

Pode-se verificar pelos dados que pouco se alteraram os teores percentuais dos separados areia, limo e argila. As alterações principais ocorreram nas diferentes classes da fração areia, devido à redução do diâmetro máximo dos tratamentos. O teor de argila ligeiramente mais elevado verificado para o tratamento nº 8 (Dmx 0,5), em relação aos demais tratamentos utilizando amostras da série Bairrinho, embora possa ter como causa a moagem durante o seu preparo, não tem significação para os propósitos deste trabalho, uma vez que o desvio é insignificante.

Foi verificada também a possibilidade de alteração nos teores de matéria orgânica e Fe_2O_3 livre entre os tratamentos, pois estes constituintes do solo afetam seu comportamento. O Quadro 5 mostra os resultados obtidos. Os dados representam a média de três determinações. Estão registrados apenas os valores correspondentes aos tratamentos de símbolo Dmx 4,0 e Dmx 0,5, uma vez que as modificações, que porventura

deverãam aparecer nos tratamentos extremos.

Quadro 4. Resultado da análise mecânica dos tratamentos, expresso em % de terra sêca em estufa. (Classificação do U.S.D.A., adotada na Cadeira nº 13).

Tratamento		Argila	Limo	Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito	Areia total
Nº	Simbolo								
1	Dmx 4	57,93	22,66	0,31	1,2	2,8	10,0	5,1	19,41
2	Dmx 2	52,64	28,45	0,11	0,8	2,1	10,1	5,8	18,91
3	Dmx 1	58,58	23,38	0,04	1,0	2,3	9,7	5,0	18,04
4	Dmx 0,5	58,25	23,60	0,04	0,1	2,1	10,5	5,5	18,15
5	Dmx 4	28,32	44,71	0,81	1,7	4,3	14,5	5,5	26,51
6	Dmx 2	28,87	44,37	1,06	1,7	4,3	14,1	5,6	26,76
7	Dmx 1	28,94	42,60	0,06	2,3	4,8	15,1	6,2	28,46
8	Dmx 0,5	30,77	41,24	0,09	0,6	4,5	16,4	6,4	27,99

Quadro 5. Teores de Matéria Orgânica e Fe_2O_3 livre em % de TFSE (média de três determinações).

Solo	Tratamento		Matéria Orgânica	Fe_2O_3 livre
	Nº	Simbolo		
Série Iracema	1	Dmx 4,0	3,48	21,20
	4	Dmx 0,5	3,35	21,73
Série Bairrinho	5	Dmx 4,0	2,47	7,43
	8	Dmx 0,5	2,53	8,21

A pequena elevação no teor de Fe_2O_3 livre para os tratamentos nº 4 e nº 8 poderia, provavelmente, ser atribuída à liberação do óxido de ferro imobilizado na forma de concreções, presentes nos solos estudados. O efeito é maior para a série Bairrinho, que apresenta maior quantidade destas concreções. O valor quase três vezes maior de Fe_2O_3

livre nas amostras da série Iracema prende-se à constituição do material de origem deste solo. Este alto valor revela que uma porção considerável do separado argila deste solo consiste em argilas sesquioxídicas (43). Sabe-se que estas argilas, conquanto ainda pouco estudadas, têm propriedades diferentes das silicatadas.

Outrossim, pode-se observar que a homogeneização desejada no preparo dos tratamentos, esquematizado na Figura 1, foi conseguida dentro de limites relativamente estreitos de variação.

As densidades real e aparente de cada tratamento e o volume total de poros, calculado a partir destes valores, são apresentados no Quadro 6. Os dados representam média de duas determinações.

Quadro 6. Densidades real e aparente e volume total de poros para os tratamentos (média de duas repetições).

Nº Tratamento	Símbolo	Densidade Real	Densidade Aparente	VTP%
1	Dmx 4,0	2,88	1,19	58,7
2	Dmx 2,0	2,93	1,20	59,1
3	Dmx 1,0	2,98	1,26	57,8
4	Dmx 0,5	3,02	1,29	57,3
5	Dmx 4,0	2,63	1,21	54,0
6	Dmx 2,0	2,66	1,23	53,8
7	Dmx 1,0	2,63	1,35	48,7
8	Dmx 0,5	2,71	1,37	49,5

A densidade real deveria ter permanecido inalterada entre os tratamentos dentro de cada um dos solos. A pequena variação verificada, com um valor ligeiramente mais elevado para os tratamentos em que o diâmetro máximo é de 0,5 mm, pode ser explicada pelo ar aprisionado nas amostras durante a sua determinação pelo picnômetro. A hipótese de que os resultados poderiam não ser representativos não foi considerada, uma vez que estes resultados são superiores aos registrados por RANZANI e col. (42) para os mesmos solos.

Estes dados, conquanto não tenham sofrido tratamento estatístico, indicam um aumento na densidade aparente, inversamente proporcional

ao grau de agregação representado pelo diâmetro máximo das partículas. Em consequência, o volume total de poros aumentou com o grau de agregação. Para os tratamentos de 1 a 4, a variação foi pequena, enquanto que, para os tratamentos de 5 a 8, foi relativamente mais acentuada.

A consequência imediata da agregação parece ser o aumento da porosidade total do solo. TROUSE & HUMBERT (54) verificaram em ensaios de campo, que a deterioração da agregação era acompanhada por um aumento na densidade aparente do solo. A ruptura dos agregados maiores dá formação a partículas menores que ao se reunirem, acomodam-se mais intimamente, diminuindo a porosidade total.

O estado de agregação dos tratamentos foi avaliado pela distribuição de agregados, em classes arbitrariamente adotadas. As análises foram feitas por dois métodos, visando a obter a distribuição de agregados em classes segundo dois critérios de estabilidade.

A análise por peneiramento a seco seria, provavelmente, suficiente, uma vez que se poderia supôr que a técnica experimental adotada não provocaria alterações nos graus de agregação estabelecidos para os tratamentos. A possibilidade desta alteração é, entretanto, viável. VLA-SOFF (55) considera haver alterações na porosidade durante a saturação do solo com água. Esta ocorrência, provavelmente, é devida, em parte, à demolição de agregados durante o processo de umedecimento do solo. A distribuição dos agregados estáveis em água foi feita para verificar esta possibilidade.

Supõe-se, também, que a presença de agregados estáveis em água represente unidades do solo em que as partículas texturais se acham mais intimamente ligadas. O modelo de um agregado estável em água, segundo EMERSON (16), consiste em um núcleo de argila e partículas de quartzo. O núcleo de argila é um grupo de minerais de argila orientados e intimamente reunidos, de forma que se comportam em água como uma partícula individual.

Os resultados das análises de agregados são apresentados no Quadro 7. Os dados representam a média de 4 repetições.

A distribuição de agregados nos tratamentos, pelos dois critérios de estabilidade, é semelhante. Pode-se concluir que o preparo dos tratamentos foi satisfatório, de modo que, quer pela trituração em gral de porcelana, quer pela moagem, a redução dos diâmetros máximos das partículas não chegou a alterar sensivelmente os agregados estáveis em água.

Quadro 7. Distribuição de agregados nos tratamentos em % TFSE. Média de 4 repetições para os dois critérios de estabilidade.

Tratamento	TAMIZAMENTO A SECO						TAMIZAMENTO EM ÁGUA					
	Limites das classes em mm						Limites das classes em mm					
	4-2	2-0,84	0,84-0,42	0,42-0,25	0,25	4-2	2-0,84	0,84-0,42	0,42-0,25	0,25		
Nº Símbolo	4-2	2-0,84	0,84-0,42	0,42-0,25	0,25	4-2	2-0,84	0,84-0,42	0,42-0,25	0,25		
1 Dmx 4,0	23,6	28,1	17,9	10,8	19,6	20,8	25,5	18,4	11,1	24,2		
2 Dmx 2,0	--	23,0	23,3	17,3	36,4	--	25,1	22,9	15,5	36,5		
3 Dmx 1,0	--	3,2	31,5	19,8	45,5	--	5,2	38,3	16,8	39,7		
4 Dmx 0,5	--	--	0,2	21,4	78,4	--	--	0,6	16,3	83,1		
5 Dmx 4,0	16,3	24,6	17,7	12,7	28,7	19,7	23,2	16,4	10,2	30,5		
6 Dmx 2,0	--	22,4	21,9	15,8	39,9	--	30,2	21,3	13,5	35,0		
7 Dmx 1,0	--	1,3	28,0	20,8	49,9	--	3,3	30,2	16,9	49,6		
8 Dmx 0,5	--	--	1,8	16,5	--	--	--	--	--	--		

Comparando-se a distribuição de agregados dos tratamentos 1 e 5 pelo tamizamento a seco e em água, verifica-se que a amostra tomada da série Iracema apresenta um estado de agregação ligeiramente superior ao da série Bairrinho. Isto pode ser observado pela menor porcentagem de material não agregado, com diâmetro inferior a 0,25 mm e pela porcentagem ligeiramente superior de agregados em quase todas as classes das amostras da série Iracema.

O inverso é, entretanto, sugerido pela caracterização morfológica destes solos, por RANZANI e col. (42), apresentada no Quadro 1. Esta discordância objetiva a divergência entre os conceitos de ZAKHAROV e BAVER, anteriormente citados (5).

O Quadro 7 também mostra que o símbolo, convencionado para os tratamentos, não representa, em geral, a classe de agregado dominante. Tal fato é mais evidente nos tratamentos de números 4 e 8, em que, conquanto o símbolo indique um diâmetro de 0,5 mm, a classe dominante é a de diâmetro menor que 0,25 mm, representada sempre por valores ao redor de 80%. Esta observação é feita para evidenciar o ponto de vista adotado no preparo dos tratamentos. Nota-se que os tratamentos, preparados artificialmente, apresentam uma distribuição de agregados por tamanho, simulando o que ocorre na natureza. Estudos semelhantes foram realizados anteriormente sobre efeitos do grau de agregação do solo, utilizando-se, porém, a técnica de discriminação de agregados por tamanho. SLATER & RODRIGUEZ (50), ALOV (4) e recentemente GROHMANN & QUEIROZ NETO (23), empregaram, em seus experimentos, classes de agregados selecionados de amostras de solos. Semelhante critério tende introduzir uma nova variável nos experimentos. A composição dos agregados varia entre as diferentes classes, conforme verificaram GAREY (18) e GROHMANN e col. (22).

Em vista dos resultados apresentados nos Quadros 4 e 5, os tratamentos de um mesmo solo, preparados para este trabalho, pela técnica descrita (Figura 1), são uniformes quanto à composição.

B. EFEITO DO GRAU DE AGREGAÇÃO NA RETENÇÃO DE UMIDADE

Foram realizados 16 experimentos, conforme relacionados no Quadro 3, para a avaliação do efeito da agregação do solo na retenção de umidade.

Os resultados obtidos estão resumidos no Quadro 8. Estão aí representadas as médias de três repetições para cada tratamento. O quadro também inclui um resumo dos resultados da análise da variância feita para cada experimento, individualmente.

A tensão correspondente a 0,1 atm foi determinada tanto pela técnica de sucção como pela de pressão. Pretendeu-se verificar se haveria concordância entre os dois processos, conforme afirmam RICHARDS & FIREMAN (45). Os resultados mostram haver diferença. Dados semelhantes foram obtidos por CHAHAL (11, 12) que atribui êste efeito à presença de bôlhas de ar aprisionadas na amostra e à geometria dos poros.

1. SOLOS

As características de retenção de umidade dos solos estudados mostraram diferenças altamente significativas para as tensões de umidade acima de 0,1 atm, obtidas com aparelho de pressão. A baixas tensões, obtidas com a unidade de sucção, verificou-se efeito variável entre os solos, conforme a tensão aplicada. Há diferenças altamente significativas à tensão de 0,001 atm, tomada como referência e à tensão de 0,08 atm. As diferenças são apenas significativas para as tensões de 0,02, 0,06 e 0,1 atm. Apenas para a tensão de 0,04 atm a diferença entre solos não foi significativa.

A apreciação global do Quadro 8 mostra que, os tratamentos da série Iracema, com exeção do Dmx 2,0, apresentam maior quantidade de água retida à tensão de 0,001 atm. A umidade retida a 15 atm, entretanto, é sempre maior para êstes tratamentos em relação aos da série Bairrinho. As Figuras 3, 4, 5 e 6 ilustram êste comportamento.

Nota-se que as diferenças são maiores para a umidade retida a 15 atm. Êste comportamento era esperado em face dos teores mais elevados em colóides nas amostras da série Iracema (Quadros 4 e 5).

Segundo NAAR & WYGAL (35), a curva que representa a tensão de umidade do solo, dá o tamanho aparente dos poros esvaziados com a sucção h e também descreve o limiar capilar estático do material. Esta relação foi anteriormente sugerida por BRADFIELD & JAMISON (9), que consideraram que a umidade retida contra uma sucção de 150 cm de água (0,15 atm) correspondia a poros de 0,02 mm de diâmetro. GROHMANN (20), em publicação mais recente, considera que esta mesma sucção corresponde

Quadro 8. Resumo dos dados obtidos em 16 experimentos e respectivas análises da variância.

Nº Exp.	Tensão Atm	S O L O S												Desvio padrão S	Δ (D.M. S.), Tu-key		C.V.	TESTE F.			Solos x Diam.	
		Iracema						Bairrinho							5%	1%		5%	1%	5%	1%	
		Dmx 4,0	Dmx 2,0	Dmx 1,0	Dmx 0,5	Dmx 4,0	Dmx 2,0	Dmx 1,0	Dmx 0,5	Dmx 4,0	Dmx 2,0	Dmx 1,0	Dmx 0,5									
1	0,001	56,8	53,6	56,0	50,7	51,9	54,7	53,7	48,3	1,35	3,8	4,7	2,54	**	**	**	*	**	*			
2	0,02	46,1	48,2	53,1	47,5	45,5	49,2	47,6	44,6	2,30	6,5	8,1	4,8	*	*	*	*	n. s.	n. s.			
3	0,04	37,5	42,1	46,6	47,0	41,2	44,7	44,9	42,5	2,82	8,0	9,9	6,5	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	**	n. s.			
4	0,06	32,4	36,8	37,8	46,1	37,8	40,1	41,3	41,4	1,94	5,5	6,8	4,9	*	*	*	*	**	**			
5	0,08	29,8	33,1	34,6	45,3	34,9	36,9	40,1	40,2	1,83	5,2	6,4	5,0	*	*	*	*	**	**			
6	0,1	28,3	30,8	31,9	43,9	32,7	33,9	37,7	39,5	1,89	5,3	6,6	5,4	*	*	*	*	**	**			
7	0,1	30,0	31,4	33,6	45,9	29,5	30,4	32,4	38,4	0,33	0,9	1,2	0,97	*	*	*	*	**	**			
8	0,33	26,2	27,6	29,1	37,9	24,2	24,5	26,0	29,9	0,53	1,5	1,9	1,88	*	*	*	*	**	**			
9	0,8	25,0	25,0	26,2	31,4	19,9	20,1	19,2	22,7	0,31	0,9	1,1	1,3	*	*	*	*	**	**			
10	1,0	24,6	24,4	25,6	29,9	18,9	19,0	18,7	21,2	0,2	0,6	0,7	0,9	*	*	*	*	**	**			
11	1,5	23,1	22,8	23,8	26,2	18,7	18,4	17,5	19,5	0,14	0,4	0,5	0,6	*	*	*	*	**	**			
12	3,0	22,0	21,6	22,4	23,8	15,6	15,3	14,8	16,0	0,2	0,5	0,7	1,0	*	*	*	*	**	**			
13	4,0	21,7	21,4	22,1	23,6	14,8	14,9	14,6	15,4	0,14	0,4	0,5	0,78	*	*	*	*	**	**			
14	8,0	20,8	20,6	21,2	22,5	13,8	13,6	13,3	14,0	0,14	0,4	0,5	0,83	*	*	*	*	**	**			
15	12,0	20,2	19,7	20,4	20,9	12,5	12,5	12,4	13,2	0,19	0,5	0,6	1,13	*	*	*	*	**	**			
16	15,0	20,1	19,7	20,2	20,7	13,0	12,8	12,5	13,2	0,14	0,4	0,5	0,83	*	*	*	*	**	**			

convenção: * significante a 5%
 ** significante a 1%
 n. s. não significante

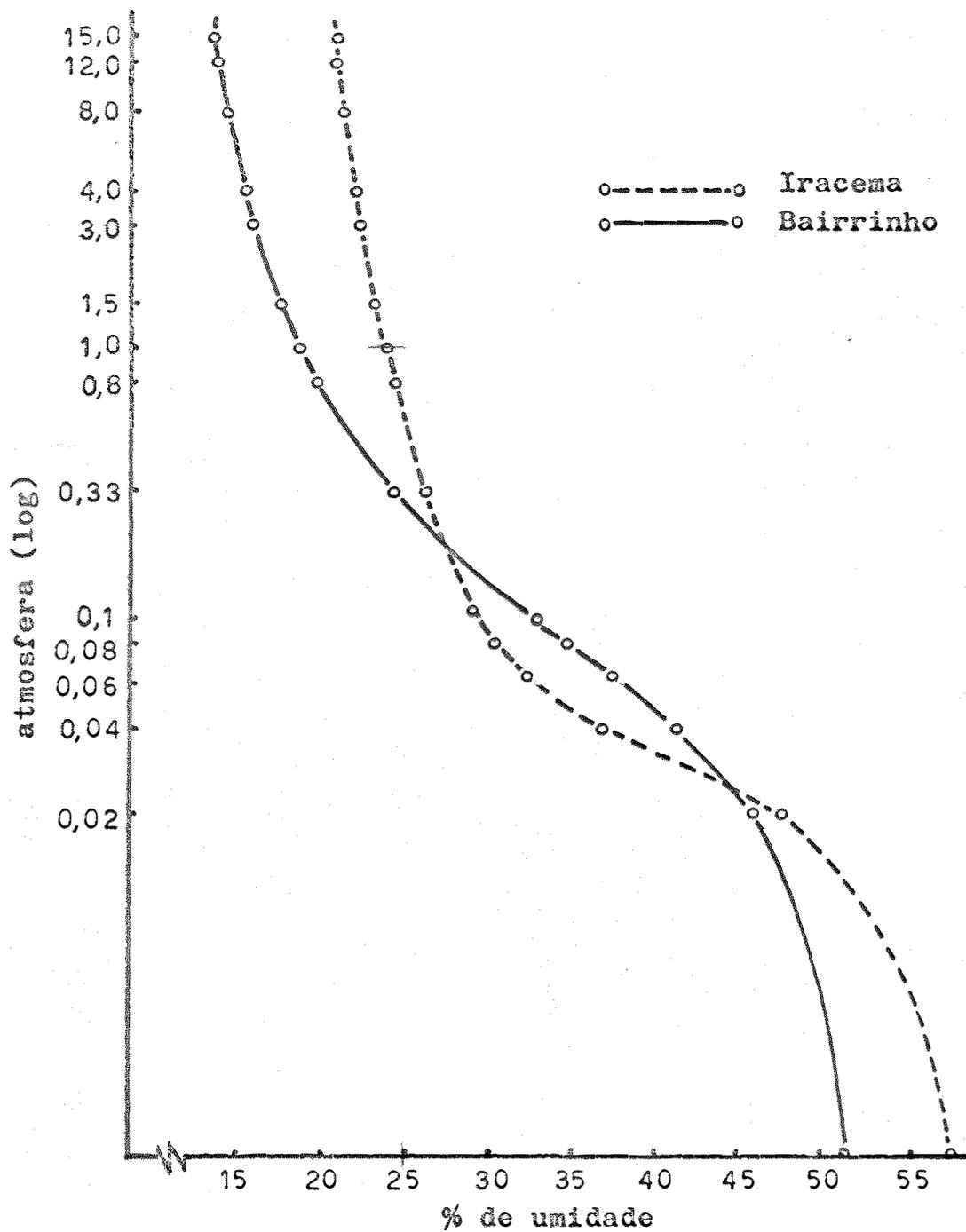


Figura 3. Curva de tensão de umidade para os tratamentos com diâmetro máximo de 4,0 mm.

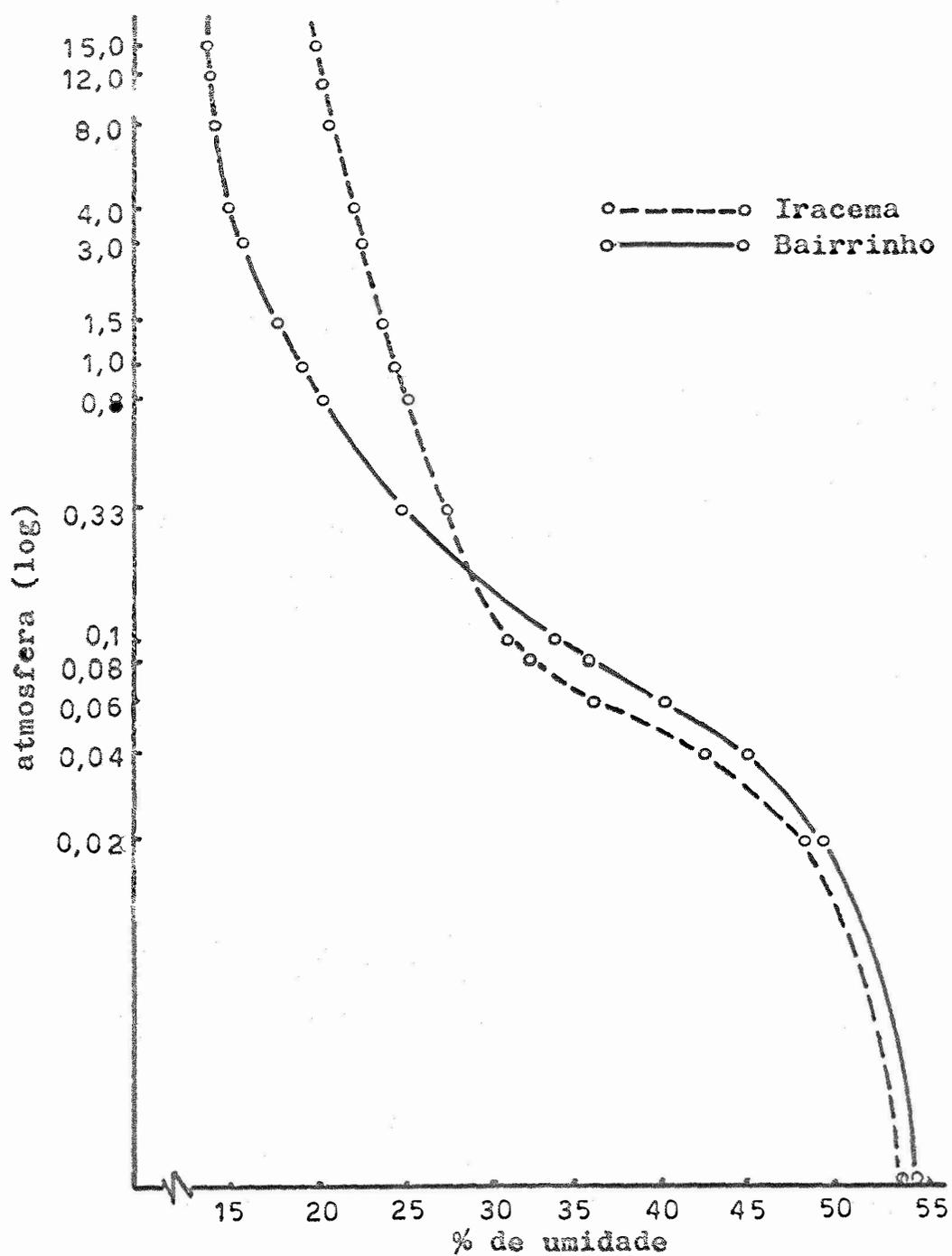


Figura 4. Curva de tensão de umidade para os tratamentos com diâmetro máximo de 2,0 mm.

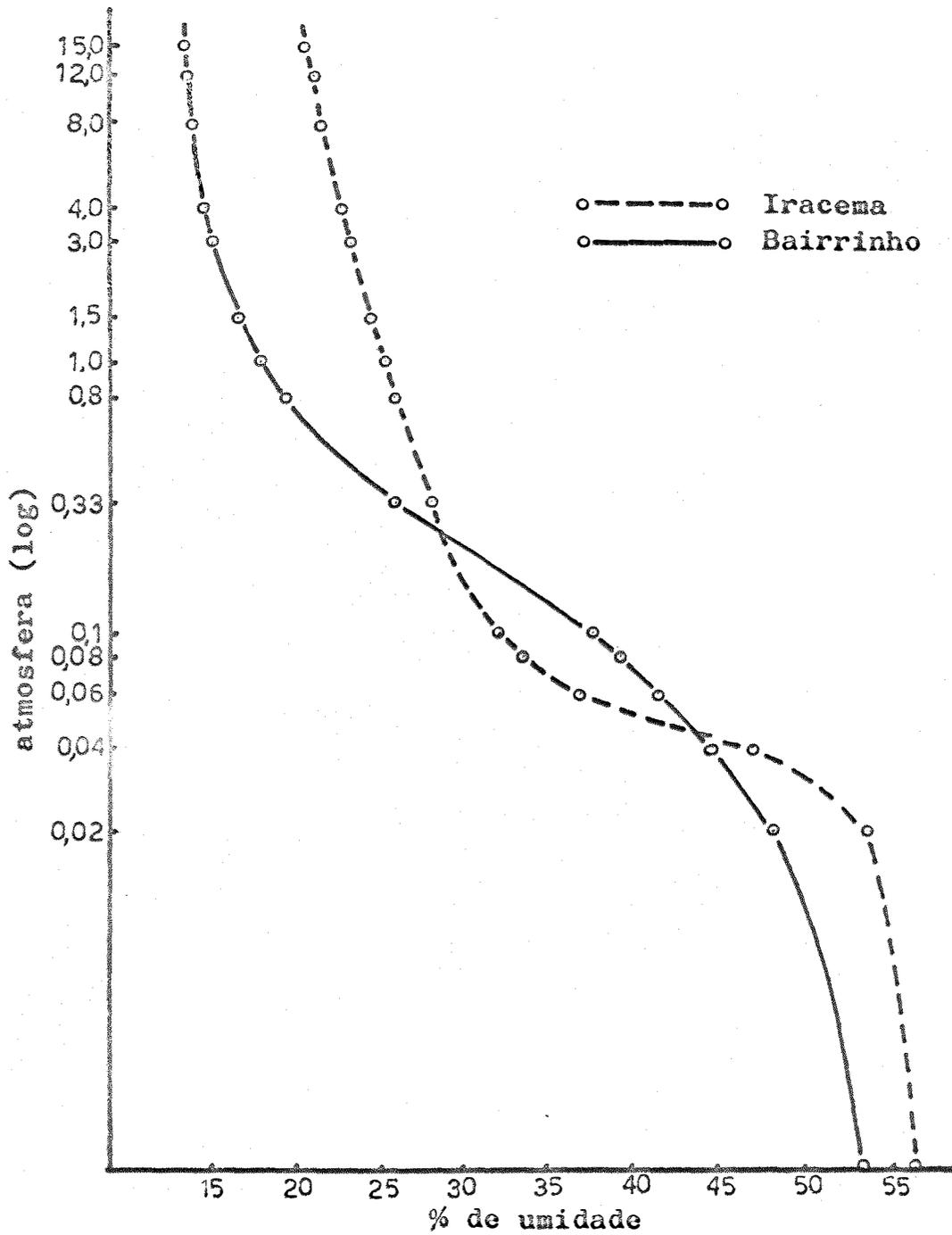


Figura 5. Curva de tensão de umidade para os tratamentos com diâmetro máximo de 1,0 mm.

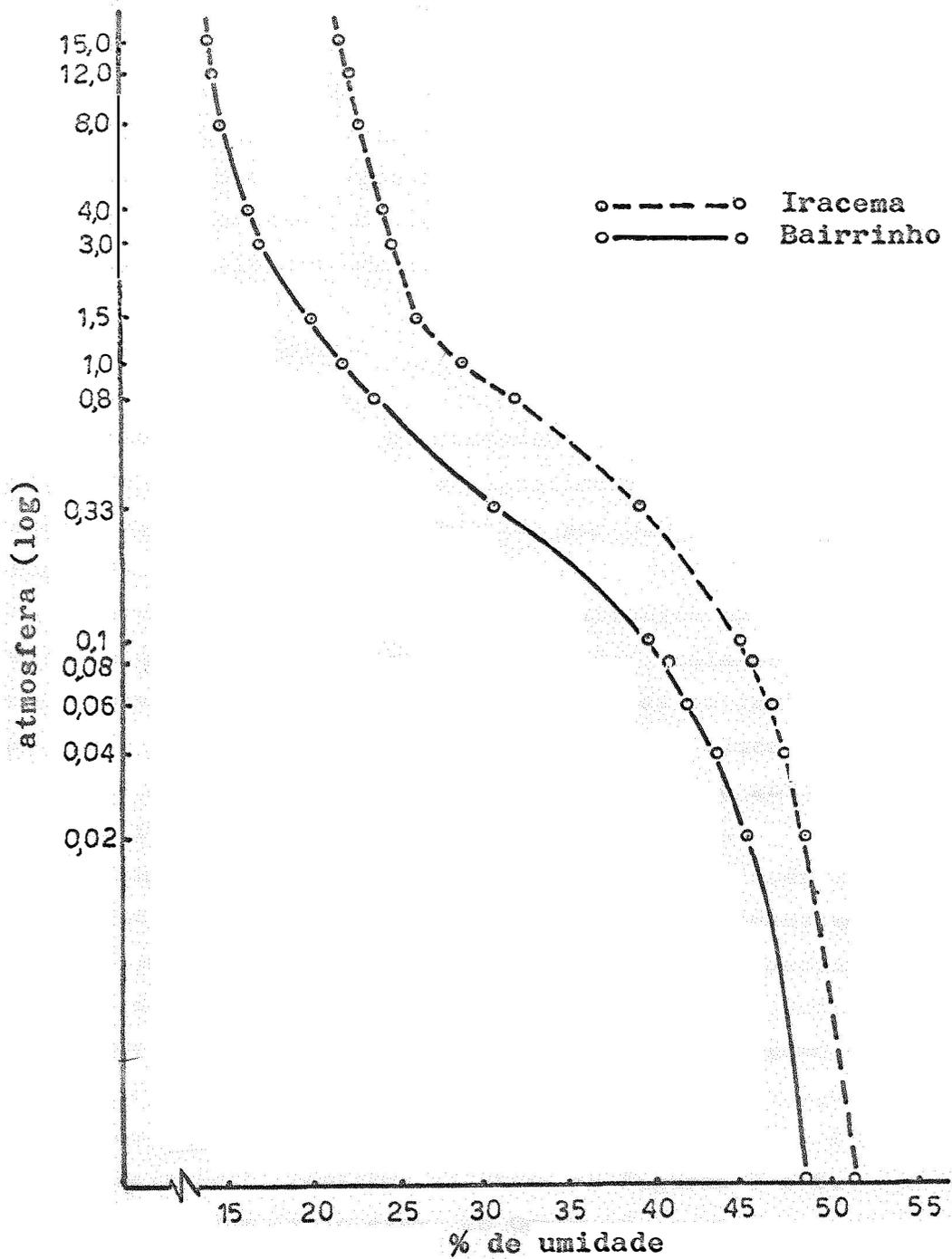


Figura 6. Curva de tensão de umidade para os tratamentos com diâmetro máximo de 0,5 mm.

a poros com diâmetro de 0,002 mm.

Examinando as Figuras 3, 4 e 5 sob o conceito destes autores, verifica-se que as amostras da série Iracema, para os tratamentos Dmx 4,0, Dmx 2,0 e Dmx 1,0, apresentam uma distribuição de poros menos uniforme que as da série Bairrinho, indicada pela tendência a um patamar na curva, entre as tensões 0,02 e 0,1 atm.

Com a redução máxima no grau de agregação, representada pelos tratamentos Dmx 0,5, as curvas tornam-se quase paralelas, indicando a ocorrência de uma distribuição semelhante de poros. Neste caso, é evidente apenas a diferente posição das curvas, devida a diferenças em natureza e teor de colóides das amostras. (Figura 6).

2. GRAU DE AGREGAÇÃO

O grau de agregação, representado pelo diâmetro máximo das partículas, teve um efeito altamente significativo para todas as tensões de umidade, com exceção da representada por 0,02 atm, que foi apenas significativa.

Embora haja uma significância estatística para diâmetro ao nível de 1% em quase todas as tensões estudadas, nota-se, pela diminuição progressiva do coeficiente de variação e da estimativa do desvio padrão, desde as tensões mais baixas até as mais altas, que as diferenças absolutas entre os tratamentos, dentro do mesmo solo, diminuem com o aumento da tensão.

RICHARDS & FIREMAN (45) verificaram que qualquer manipulação do solo aumenta significativamente a retenção de umidade em toda a faixa de tensão, até 1 atmosfera. A comparação entre as médias dos tratamentos, pela diferença mínima significativa de TUKEY (dados do Quadro 8), mostra que o efeito da manipulação é variável, dependendo de sua intensidade. O efeito maior foi verificado na faixa de 0,04 e 1,0 atm, para os tratamentos da série Iracema e, na faixa de 0,08 a 1,0, para os da série Bairrinho, conforme ilustram as Figuras 7 e 8.

Pode-se notar, pelo exame do Quadro 8, que o grupo formado pelos primeiros 6 experimentos, apresenta uma estimativa do desvio padrão mais elevada que os demais. As Figuras 7 e 8 mostram que a posição relativa das curvas, para os dois solos, se define, no sentido das tensões mais altas, a partir da tensão de 0,1 atmosfera.

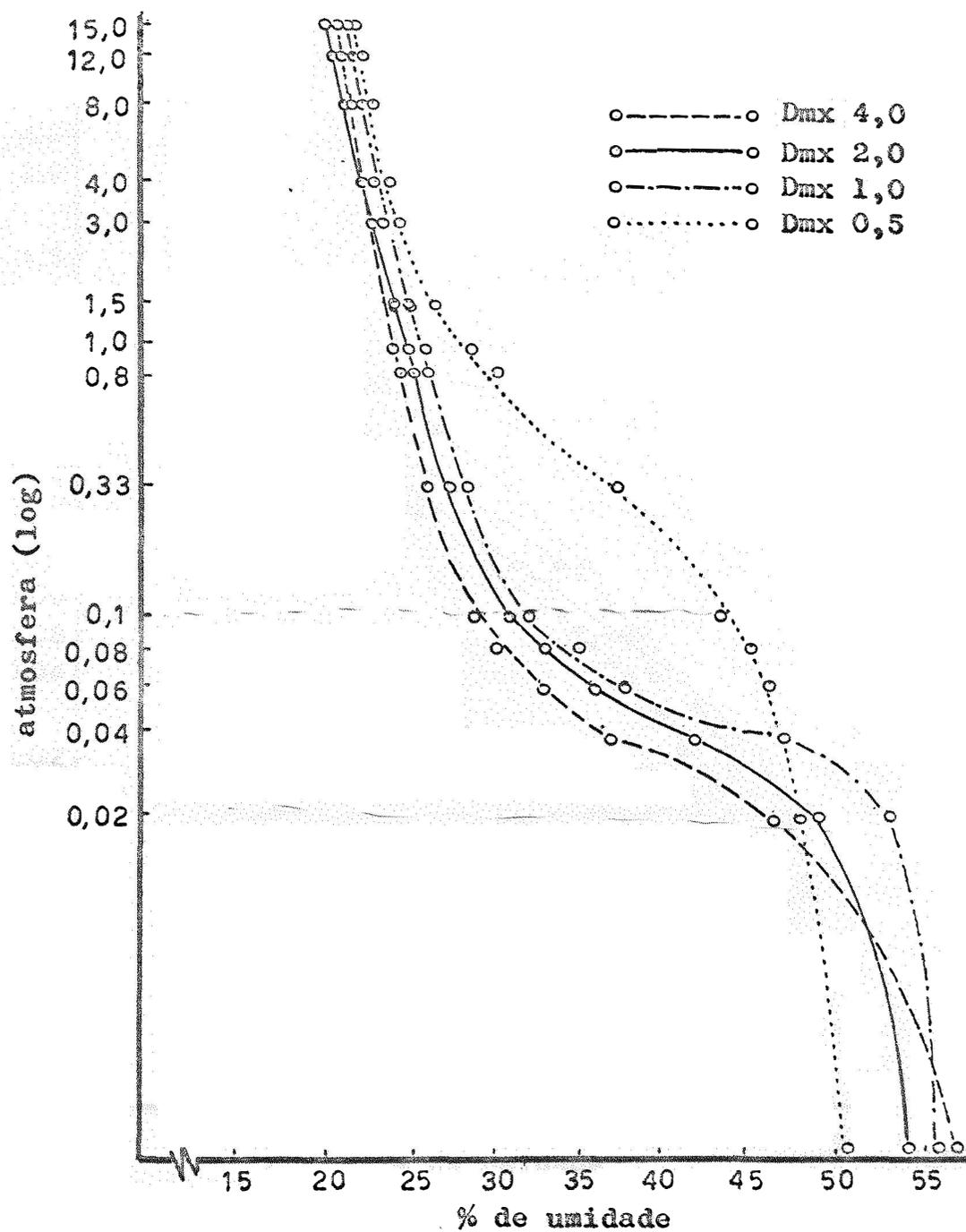


Figura 7. Curva de tensão de umidade para os tratamentos da série Iracema.

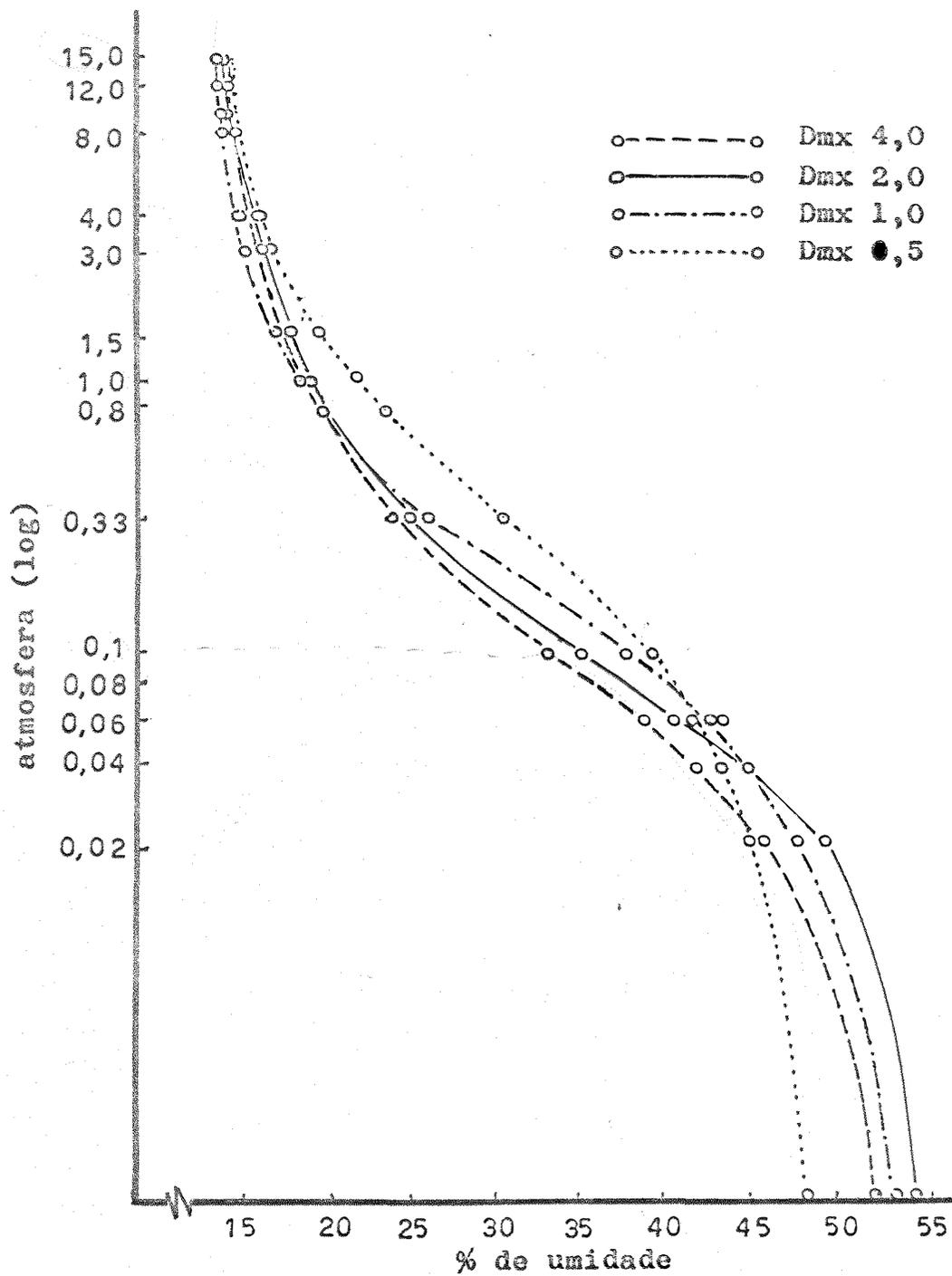


Figura 8. Curva de tensão de umidade para os tratamentos da série Bairrinho.

A hipótese levantada para este trabalho é que as características que se supõe sejam efeitos da estrutura do solo, podem ser avaliadas diretamente. Considerou-se também que estrutura não é sinônimo de grau de agregação.

Neste estudo, a agregação se refere à formação de partículas secundárias, com determinada estabilidade na massa do solo, segundo o conceito de BAVER (5). Estrutura, por outro lado, refere-se à organização ou arranjo das partículas sólidas do solo, segundo o conceito de BRADFIELD, citado por LOW (32).

O exame dos dados apresentados nos Quadros 9 e 10, mostra que a variação entre as repetições de um mesmo tratamento é maior nos experimentos a baixas tensões (até 0,1 atm). Este efeito, indicado pelo coeficiente de variação (Quadro 8), é evidente pela observação direta dos dados. Considerando que a distribuição de agregados das amostras montadas para as determinações individuais em cada experimento era homogênea para cada tratamento, percebe-se que a variação entre as repetições pode ser atribuída à montagem das amostras. Com amostras preparadas artificialmente não é possível repetir a mesma disposição das partículas sólidas, tornando-se inevitável uma variação na estrutura das amostras. Portanto, a baixas tensões (até 0,1 atm), a retenção de umidade pelas amostras foi sensível às variações estruturais. Afirmação semelhante foi apresentada por RICHARDS & WADLEIGH (46).

Acima de 0,1 atm, pode-se notar que há uma diminuição sensível no coeficiente de variação, refletindo menor variabilidade entre as repetições. Todavia, como já mencionado, houve alta significância entre os graus de agregação.

A conclusão que se pode tirar destas considerações, é que o efeito da estrutura se fez sentir a baixas tensões e, o do grau de agregação, em toda a faixa de tensão estudada. ZUR (58) considerou haver efeito da agregação apenas a baixas tensões. Uma provável explicação dessa divergência com os resultados aqui discutidos é esse autor empregar estrutura e agregação como sinônimos.

3. INTERAÇÃO SOLO AGREGAÇÃO

As interações entre solos e graus de agregação foram altamente significantes para todas as tensões, excetuando-se 0,02 e 0,04 atm que

Quadro 9. Resultados para 16 experimentos a tensões variáveis para os tratamentos da série Iracema. Unidade em % TFSE

Tensão atm	Dmx 4,0			Dmx 2,0			Dmx 1,0			Dmx 0,5		
	1aRep	2aRep	3aRep									
0,001	55,80	57,20	57,40	53,40	52,00	55,40	57,20	55,60	55,20	50,60	48,40	53,20
0,020	50,20	47,40	40,60	46,60	46,80	51,20	53,40	53,20	52,60	47,00	45,20	50,20
0,040	39,00	39,20	34,20	42,00	40,80	43,60	39,80	52,40	47,60	48,20	43,80	49,00
0,060	32,20	34,40	30,60	37,20	35,80	37,40	34,00	39,80	39,60	47,20	43,20	48,00
0,080	28,80	31,80	29,00	32,80	32,40	34,00	30,80	37,40	35,80	46,60	42,60	46,80
0,100	26,80	30,40	27,80	29,40	31,00	32,00	27,40	34,40	34,00	43,40	42,20	46,20
0,150	30,05	29,95	30,07	31,65	31,40	31,25	33,20	33,86	33,90	46,20	46,02	45,49
0,330	26,06	26,54	26,17	27,68	27,89	27,32	28,87	29,19	29,15	36,93	37,67	39,18
0,800	25,03	24,94	25,00	25,27	25,20	24,55	26,30	26,23	26,18	30,88	31,55	31,94
1,000	24,90	24,45	24,60	24,58	24,51	24,11	25,43	25,77	25,74	29,98	29,80	30,01
1,500	23,04	23,40	23,00	22,84	22,88	22,71	23,83	23,70	23,97	26,37	26,21	26,09
3,000	21,97	22,02	21,92	21,63	21,61	21,64	22,53	22,37	22,39	23,77	23,84	23,82
4,000	21,72	21,81	21,70	21,31	21,55	21,32	22,22	22,14	22,00	23,54	23,68	23,56
8,000	20,85	20,94	20,78	20,56	20,71	20,49	21,19	21,25	21,15	22,30	22,72	22,51
12,000	20,31	20,18	20,15	19,55	19,64	19,78	20,45	20,47	20,36	21,07	20,83	20,82
15,000	20,25	20,12	20,00	19,65	19,60	19,78	20,36	20,28	20,10	20,73	20,75	20,66

Quadro 10. Resultados para 16 experimentos a tensões variáveis para os tratamentos da série Bairrinho. Unidade em % TFSE.

Tensão atm	Dmx 4,0			Dmx 2,0			Dmx 1,0			Dmx 0,5		
	1aRep	2aRep	3aRep									
0,001	50,60	52,00	53,00	54,40	54,20	55,40	53,20	54,00	54,00	46,80	48,60	49,60
0,020	44,20	47,20	45,00	49,40	49,40	48,80	47,00	48,20	47,60	43,20	45,40	45,20
0,040	40,80	42,80	40,00	45,40	43,20	45,40	44,60	45,60	44,40	41,20	43,00	43,40
0,060	37,40	40,20	35,80	41,60	38,60	40,60	41,60	41,20	41,00	40,40	42,00	41,80
0,080	35,20	36,60	33,00	38,20	37,20	35,40	39,80	40,20	40,20	39,40	40,80	40,40
0,100	33,00	34,00	31,00	34,80	33,60	33,40	37,60	37,40	38,00	38,60	40,00	40,00
0,150	29,04	29,71	29,86	30,45	30,57	30,07	32,77	32,64	31,87	38,55	38,58	38,16
0,330	24,16	24,34	24,09	24,14	24,97	24,46	25,72	26,60	25,83	29,60	30,57	29,57
0,800	20,02	19,86	19,85	20,15	20,01	20,11	19,30	19,31	19,00	22,07	22,94	23,01
1,000	18,83	18,90	18,90	18,99	19,09	19,05	18,53	18,80	18,70	21,05	21,71	20,92
1,500	18,86	18,68	18,50	18,48	18,31	18,31	17,39	17,47	17,77	19,58	19,37	19,67
3,000	15,78	15,46	15,54	15,38	15,48	15,07	14,69	14,90	14,89	15,94	16,51	15,62
4,000	15,14	14,77	14,65	14,87	14,89	14,88	14,54	14,67	14,69	15,45	15,56	15,09
8,000	13,83	13,75	13,76	13,63	13,57	13,58	13,29	13,35	13,33	14,34	13,72	13,94
12,000	12,58	12,49	12,33	12,34	12,75	12,52	12,52	12,46	12,34	12,77	13,38	13,56
15,000	13,03	13,28	12,74	12,90	12,88	12,83	12,55	12,43	12,54	13,27	13,26	12,97

não apresentaram significância, e a referência (0,001 atm) em que foi apenas significativa. Portanto, o efeito do grau de agregação avaliado pela retenção de umidade não foi o mesmo para os dois solos.

Visto que o grau de agregação dado aos tratamentos foi semelhante para ambos os solos (Quadro 7), a diferença de comportamento entre as amostras das séries Iracema e Bairrinho é explicada pelo teor mais elevado em colóides nas amostras da série Iracema (Quadros 4 e 5).

O efeito diferente do grau de agregação entre as amostras dos dois solos é evidenciado nos contrastes entre as médias dos tratamentos pelo teste de TUKEY, apresentados no Quadro 11.

A significância da interação evidencia que, as relações de umidade do solo se tornam conhecidas quando se estudam diretamente estas propriedades, que resultam da interação de diversas outras características do solo.

Quadro 11. Contrastes entre as médias dos tratamentos pelo teste de TUKEY.

	IRACEMA				BAIRRINHO			
	Tensão 0,001							
	56,8	56,0	53,6	50,7	54,7	53,7	51,9	48,3
56,8		0,8	3,2	6,1**	54,7	1,0	2,8	6,4**
56,0			2,4	5,3**	53,7		1,8	5,4**
53,6				2,9	51,9			3,6
50,7					48,3			
	Tensão 0,02							
	53,1	48,2	47,5	46,1	49,2	47,6	45,5	44,6
53,1		4,9	5,6	7,0*	49,2	1,6	3,7	4,6
48,2			0,7	2,1	47,6		2,1	3,0
42,5				1,4	45,5			0,9
46,1					44,6			
	Tensão 0,04							
	47,0	46,6	42,1	37,5	44,9	44,7	42,5	41,2
47,0		0,4	4,9	9,5*	44,9	0,2	2,4	3,7
46,6			4,5	9,1*	44,7		2,2	3,5
42,1				4,6	42,5			1,3
37,5					41,2			
	Tensão 0,06							
	46,1	37,8	36,8	32,4	41,4	41,3	40,1	37,8
46,1		8,3**	9,3**	13,7**	41,4	0,1	1,3	3,6
37,8			1,0	5,4*	41,3		1,2	3,5
36,8				4,4	40,1			2,3
32,4					37,8			
	convenção * significante a 5% ** significante a 1%							

Quadro 11. Contrastes entre as médias dos tratamentos pelo teste de TUKEY. (Cont.)

IRACEMA				BAIRRINHO					
Tensão 0,08									
	45,3	34,6	33,1	29,8		40,2	40,1	36,9	34,9
45,3		10,7**	12,2**	15,5**	40,2		0,1	3,3	5,3*
34,6			1,5	4,8	40,1			3,2	5,2
33,1				3,3	36,9				2,0
29,8					34,9				
Tensão 0,1									
	43,9	31,9	30,8	28,3		39,5	37,7	33,9	32,7
43,9		12,0**	13,1**	15,6**	39,5		1,8	5,6*	6,8**
31,9			1,1	3,6	37,7			3,8	5,0
30,8				2,5	33,9				1,2
28,3					32,7				
Tensão 0,33									
	37,9	29,1	27,6	26,2		29,9	26,0	24,5	24,2
37,9		8,8**	10,3**	11,7**	29,9		3,9**	5,4**	5,7**
29,1			1,5*	2,9**	26,0			1,5*	1,8*
27,6				1,4	24,5				0,3
26,2					24,2				
Tensão 0,8									
	31,4	26,2	25,0	25,0		22,7	20,1	19,9	19,2
31,4		5,2**	6,4**	6,4**	22,7		2,6**	2,8**	3,5**
26,2			1,2**	1,2**	20,1			0,2	0,9*
25,0				0,0	19,9				0,7
25,0					19,2				
convenção								* significante a 5%	
								** significante a 1%	

Quadro 11. Contrastes entre as médias dos tratamentos pelo teste de TUKEY. (Cont.)

IRACEMA				BAIRRINHO					
Tensão 1,0									
	29,9	25,6	24,6	24,4		21,2	19,0	18,9	18,7
29,9		4,3**	5,3**	5,5**	21,2		2,2**	2,3**	2,5**
25,6			1,0*	1,2**	19,0			0,1	0,3
24,6				0,2	18,9				0,2
24,4					18,7				
Tensão 1,5									
	26,2	23,8	23,1	22,8		19,5	18,7	18,4	17,5
26,2		2,4**	3,1**	3,4**	19,5		0,8**	1,1**	2,0**
23,8			0,7**	1,0**	18,7			0,3	1,2**
23,1				0,3	18,4				0,9*
22,8					17,5				
Tensão 3,0									
	23,8	22,4	22,0	21,6		16,0	15,6	15,3	14,8
23,8		1,4**	1,8**	2,2**	16,0		0,4	0,7**	1,2**
22,4			0,4	0,8**	15,6			0,3	0,8**
22,0				0,4	15,3				0,5*
21,6					14,8				
Tensão 4,0									
	23,6	22,1	21,7	21,4		15,4	14,9	14,8	14,6
23,6		1,5**	1,9**	2,2**	15,4		0,5*	0,6**	0,8**
22,1			0,4*	0,7**	14,9			0,1	0,3
21,7				0,3	14,8				0,2
21,4					14,6				
convenção		* significante a 5%							
		** significante a 1%							

Quadro 11. Contrastes entre as médias dos tratamentos pelo teste de TUKEY. (Cont.)

IRACEMA					BAIRRINHO				
Tensão 8,0									
	22,5	21,2	20,8	20,6		14,8	13,8	13,6	13,3
22,5		1,3**	1,7**	1,9**	14,0		0,2	0,4*	0,7**
21,2			0,4*	0,6**	13,8			0,2	0,5**
20,8				0,2	13,6				0,3
20,6					13,3				
Tensão 12,0									
	20,9	20,4	20,2	19,7		13,2	12,5	12,5	12,4
20,9		0,5*	0,7**	0,8**	13,2		0,7**	0,7**	0,8**
20,4			0,2	0,7**	12,5			0,0	0,1
20,2				0,5*	12,5				0,1
19,7					12,4				
Tensão 15,0									
	20,7	20,2	20,1	19,7		13,2	13,0	12,8	12,5
20,7		0,5**	0,6**	1,0**	13,2		0,2	0,4*	0,7**
20,2			0,1	0,5**	13,0			0,2	0,5**
20,1				0,4*	12,8				0,3
19,7					12,5				

convenção * significante a 5%

** significante a 1%

C. EFEITO DO GRAU DE AGREGAÇÃO NA ÁGUA DISPONÍVEL

A água do solo disponível às plantas é habitualmente considerada como sendo a quantidade de água retida entre 0,33 e 15 atm. Segundo RICHARDS & WADLEIGH (46), esta amplitude definida por duas constantes de umidade, é um conceito hipotético e não prontamente identificável com as propriedades físicas do solo ou da água.

A observação de RICHARDS é digna de crédito, pois um estudo criterioso mostra a fragilidade deste conceito, quando aplicado às relações solo-planta. (SYKES & LOOMIS, 53).

Todavia, uma vez que este estudo é baseado em amostras artificialmente preparadas e diante da ampla utilização destas constantes, algumas observações são registradas quanto ao efeito do grau de agregação sobre o que se denomina água disponível (AD).

Com os valores médios de umidade dos tratamentos obtidos para as tensões de 0,02, 0,33 e 15 atm, construíram-se os gráficos apresentados nas Figuras 9 e 10.

Nota-se um gradativo aumento na AD com a diminuição do grau de agregação, para as amostras dos dois solos utilizados. O aumento é maior para os tratamentos Dmx 0,5, em que o grau de agregação teve sensível redução. Estas observações estão de acordo com as verificações de JAMISON (29), que verificou que a melhoria na agregação geralmente diminui a água disponível.

As figuras mostram que os teores de umidade às tensões de 0,33 e 15 atm são respectivamente mais elevados para as amostras da série Iracema, quando os diversos tratamentos são comparados entre si. Este comportamento pode ser explicado pelo teor mais elevado em colóides dessa série.

Os valores de AD, para os tratamentos com amostras da série Bairrinho, são mais elevados que os da série Iracema, com exceção do correspondente ao menor grau de agregação, onde o inverso se verificou.

A explicação, sugerida pela distribuição de tamanho dos poros nos tratamentos anteriormente discutida, é ilustrada pelas Figuras 7 e 8. Observando, nessas figuras, as curvas para os tratamentos com amostras dos dois solos, verificamos que dentre os tratamentos da série Iracema, o que apresenta distribuição de poros mais uniforme é o de símbolo Dmx 0,5.

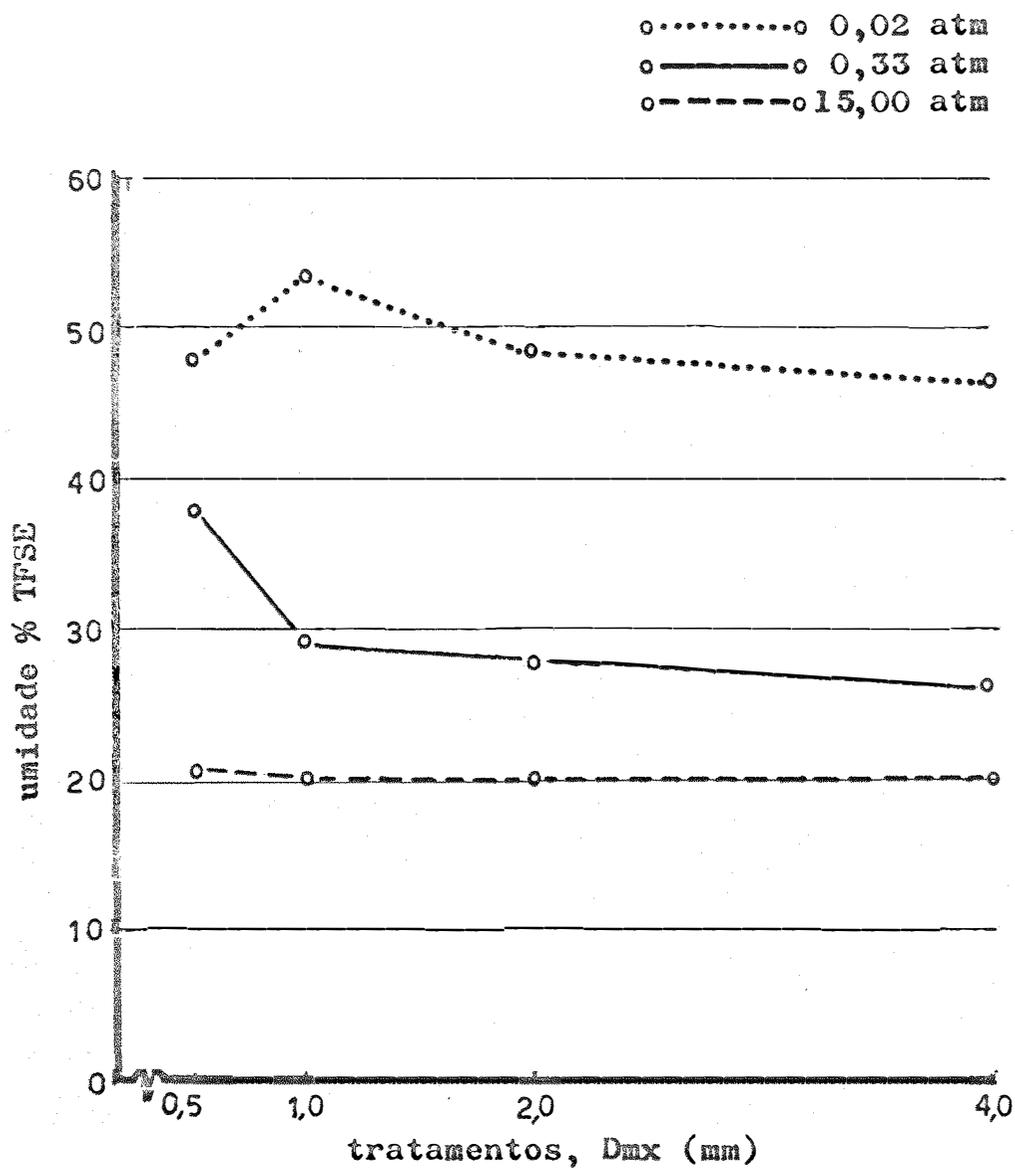


Figura 9. Umidade retida às tensões que marcam a amplitude de água disponível (AD), para os tratamentos da série Iracema.

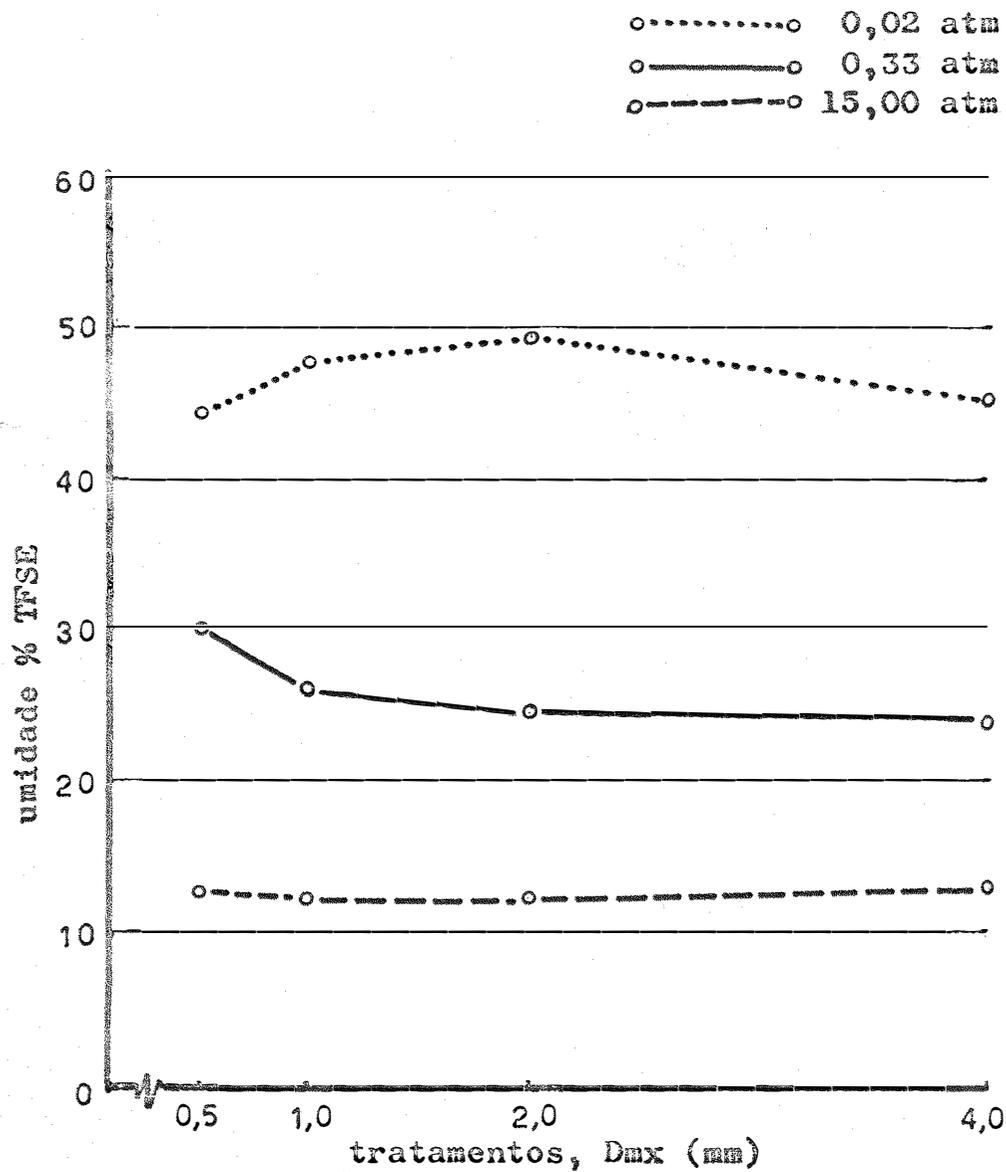


Figura 10. Umidade retida às tensões que marcam a amplitude de água disponível (AD), para os tratamentos da série Bairrinho.

Em resumo, concluímos com CRONEY & COLEMAN (15) que diversos teores de umidade podem estar em equilíbrio com uma dada tensão, dependendo do grau de agregação.

Os teores de umidade à tensão de 0,02 atm foram incluídos nas Figuras 9 e 10, como referência. Esta tensão foi a escolhida porque pelo Quadro 8, verifica-se que a menor variabilidade, na faixa de baixas tensões, foi constatada no experimento a esta tensão.

Estipulando que a tensão de 0,33 atm marca a divisão da porosidade total em duas classes de tamanho de poros, representados pelo seu efeito no teor de umidade dos tratamentos, pode-se concluir, pelas mesmas figuras que, com o aumento do grau de agregação há, para os dois solos estudados, um melhor equilíbrio entre poros maiores, desde 0,02 a 0,33 atm e menores, acima de 0,33 atm.

Há, portanto, dois efeitos recíprocos devidos à variação no grau de agregação: com a diminuição do grau de agregação, aumento na AD, e, com o aumento do grau de agregação, aumento na proporção de poros maiores. Se considerarmos que o conceito de VEIHMEYER & HENDRICKSON (56) para capacidade de campo implica em retenção de umidade a baixas tensões, pode-se afirmar que os dados e figuras aqui apresentados mostram que o efeito positivo do aumento no grau de agregação é um aumento na porosidade de aeração do solo.

VI - RESUMO E CONCLUSÕES

Com amostras obtidas do horizonte Ap de solos das séries Bairrinho e Iracema, foram preparados 4 tratamentos diferentes para cada solo, em que o grau de agregação era decrescente.

Os tratamentos foram utilizados em uma série de 16 experimentos. Cada experimento constou da verificação do comportamento dos tratamentos a uma determinada tensão de umidade. A faixa de tensão estudada através dos experimentos foi desde um ponto tomado como referência (0,001 atm) até 15 atm.

Verificou-se que as características de retenção de umidade dos solos estudados, mostraram diferenças altamente significativas para as tensões de umidade acima de 0,1 atm. A baixas tensões, houve efeito variável entre os solos, conforme a tensão aplicada.

O grau de agregação, representado pelo diâmetro máximo, teve um efeito altamente significativo para todas as tensões de umidade utilizadas, com exceção do representado por 0,02 atm, que foi apenas significativo.

As interações entre solo e grau de agregação foram altamente significativas para todas as tensões, excetuando-se 0,02 e 0,04 atm, que não foram significativas, e a referência (0,001 atm), que foi apenas significativa.

A análise estatística dos dados obtidos e a discussão dos resultados conduziram às seguintes conclusões:

1. Os tratamentos com amostras da série Iracema apresentaram

maior retenção de umidade que os da série Bairrinho, em virtude de um teor mais elevado em colóides.

2. A distribuição de poros nos tratamentos da série Iracema foi, em geral, menos uniforme que os da série Bairrinho.

3. A estrutura, conforme conceituada neste trabalho, afetou a retenção de umidade dos tratamentos, nas tensões abaixo de 0,1 atm.

4. A agregação, conforme conceituada neste trabalho, afetou a retenção de umidade dos tratamentos, em todas as tensões estudadas.

5. A um mesmo grau de agregação, solos de composição diferente podem apresentar características de retenção de umidade diferentes.

6. O aumento do grau de agregação diminuiu o teor de água disponível.

7. O aumento do grau de agregação elevou a porosidade de aeração.

VII - SUMMARY

Large samples collected from the Ap horizon of Bairrinho and Iracema soil series were subdivided into four equal parts each.

Each soil was subjected to four different treatments conferring a decreasing degree of aggregation due to treatments within each soil.

The treatments thus prepared were used in a group of 16 experiments. Each experiment aimed to verify the behavior of these treatments at a certain water tension. The tension range studied was from a reference point (roughly equivalent to 0,001 atmosphere) to 15 atmospheres.

It was found that the moisture retention characteristics of the soils studied differed significantly at the 1% level for tensions over 0,1 atm. At lower tensions the effect between soil was not consistent.

The degree of aggregation, represented by the maximum particle diameter in the treatment, showed a highly significant effect for all tensions, except for 0,02 atm which was significant at the 5% level.

The interactions between soil and degree of aggregation were highly significant for all tensions, except 0,02 and 0,04 atm which were non-significant and the reference point (0,001 atm) which was significant at the 5% level of probability.

The data was statistically analysed leading to the following conclusions.

1. Iracema series had a higher moisture retention than Bair-

rinho, due to a higher colloidal content, in all treatments.

2. Pore size distribution on Iracema series treatments were in general less uniform than those of Bairrinho series.

3. Structure, as defined in this work, affected the moisture retention in all treatments at tensions below 0,1 atm.

4. Aggregation, as defined in this work, affected moisture retention at all tensions studied.

5. For a given degree of aggregation, soils differing in their composition, may have different moisture retention characteristics.

6. Available water decreased as the degree of aggregation increased.

7. Air porosity increased with the degree of aggregation.

VIII - LITERATURA CITADA

1. ALDERFER, R.B. Physical Condition of the Soil Affects Fertilizer Utilization. Better Crops with Plant Food, 38 (10): 44-45. 1954.
2. ALEXANDER, L.T. & H.E. MIDDLETON. Soil as a Physical System. in Soil Physical Conditions and Plant Growth, Byron T. Shaw, Editor. Academic Press Inc., New York, N.Y. 1952.
3. ALLISON, L.E. Effect of Synthetic Polyelectrolytes on the Structure of Saline and Alkali Soils. Soil Science, 73: 443-454. 1952.
4. ALOV, A.S. Plant Nutrients in Structured Soils. Soviet Soil Science, (3): 327-333. 1958.
5. BAVER, L.D. Soil Physics. John Wiley & Sons Inc., New York. 3^a Ed. 489 p. 1956.
6. BAVER, L.D. & R.B. FARNSWORTH. Soil Structure Effects in the Growth of Sugar Beets. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 5: 45-48. 1940.
7. BOTELHO DA COSTA, J.V. e A.L. AZEVEDO. Algumas Considerações Sobre a Análise de Agregados. Anais do Inst. Sup. de Agronomia, 14: 83-90. 1943.
8. BOUYOCOS, G.J. The Ultimate Natural Structure of Soils. Soil Science, 28: 27-37. 1929.
9. BRADFIELD, R. & V.E. JAMISON. Soil Structure - Attempts at Its Quantitative Characterization. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 3: 70-76. 1939.
10. BREWER, R. & J.R. SLEEMAN. Soil Structure and Fabric: Their Definition and Description. Journal of Soil Science, 11 (1): 172-185. 1960.
11. CHAHAL, R.S. Validity of the Soil Water Characteristics Determined with the Pressurized Apparatus. Soil Science, 99: 98-103. 1965.

12. CHAHAL, R.S. Effect of Entrapped Air and Pressure on Matric Suction. *Soil Science*, 102: 131-134. 1966.
13. CHEPIL, W.S. A Compact Rotary Sieve and the Importance of Dry Sieving in Physical Soil Analysis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 26: 4-6. 1962.
14. COMISSÃO DE SOLOS DO C.N.E.P.A. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas, Rio de Janeiro, Boletim 12, 634 p. 1960.
15. CRONEY, D. & J.D. DOLEMAN. Soil Structure in Relation to Soil Suction (pF). *Journal of Soil Science*, 5 (1): 75-84. 1954.
16. EMERSON, W.W. The Structure of Soil Crumbs. *Journal of Soil Science*, 10 (2): 235-244. 1959.
17. FREIRE, O. Dispersão de Solos. Tese de Doutorado, E.S.A. "Luiz de Queiroz", mimeografado, 108 p. 1963.
18. GAREY, C.L. Properties of Soil Aggregates: I- Relation to Size, Water Stability and Mechanical Composition. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 18: 16-18. 1954.
19. GREWELLING, T. & M. PEECH. Chemical Soil Test. Cornell University Agr. Exp. Sta. Bull. nº 960, 54 p. 1960.
20. GROHMANN, F. Distribuição e Tamanho de Poros em Tres Tipos de Solos do Estado de São Paulo. *Bragantia*, 19: 319-328. 1960.
21. GROHMANN, F. Análise de Agregados do Solo. *Bragantia*, 19: 201-213. 1960.
22. GROHMANN, F., J.B. OLIVEIRA & J.P. QUEIROZ NETO. Influência da Adubação nas Características dos Agregados da Série Chapadão (Latosol Roxo). *Bragantia*, 25: 263-275. 1966.
23. GROHMANN, F. & J.P. QUEIROZ NETO. Efeito do Tamanho de Agregados Sobre o Crescimento e Sistema Radicular do Milho. *Bragantia*, 25: 253-262. 1966.
24. GUSSAK, V.B. & K.P. PAGANYAS. Some Results of Four-Year Experiments on Structural Improvement of an Irrigated Typical Sierozen. *Soviet Soil Science*, (5): 506-516. 1964.
25. HAISE, R.H., L.R. JENSEN & J. ALESSI. The Effect of Synthetic Soil Conditioners of Soil Structure and Production of Sugar Beets. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 19: 17-19. 1955.
26. HAMPTON, H.E. Lecture Summary for Soil Fertility. Texas A&M College, mimeografado, 173 p. 1954.
27. HELY, F.W., C. BONNIER & P. MANIL. Investigations Concerning Nodulation and growth of Lucerne Seedlings in a Loess Soil Artificially Aggregated to Various Levels. *Plant and Soil*, 5: 121-131. 1954.
28. JACKSON, M.L. *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J., 498 p. 1960.
29. JAMISON, V.C. Changes in Air-Water Relationships Due to Structural Improvement of Soils. *Soil Science*, 76: 143-151. 1952.

30. KELLEY, O.J. Requirement and Availability of Soil Water. in *Advances of Agronomy*, 6: 67-94. 1954.
31. KIRKHAM, D. Soil Physics 1936-1961 and a Look Ahead. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 25: 423-427.
32. LOW, A.J. The Study of Soil Structure in the Field and the Laboratory. *Journal of Soil Science*, 5 (1): 57-74. 1954.
33. MARTIN, J.P., W.P. MARTIN, J.B. PAGE, W.A. RANEY & J.D. DE MENT. Soil Aggregation. in *Advances in Agronomy*, 7: 1-37.
34. MARTIN, W.P., G.S. TAYLOR, J.C. ENGIBOUS & E. BURNETT. Soil Crop Responses from Field Applications of Soil Conditioners. *Soil Science*, 73: 455-473. 1952.
35. NAAR, J. & R.J. WYGAL. Water-Suction of Large Grained Aggregates. *Journal of Soil Science*, 13 (2): 198-201. 1962.
36. PENG, C.L. & G.M. BROWNING. Aggregate Stability in Relation to Pore Size Distribution. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 11: 67-73. 1946.
37. PIMENTEL GOMES, F. Curso de Estatística Experimental. E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, S.P. 2ª Ed. 384 p. 1963.
38. PLYUSNIN, I.I. Reclamative Soil Science. Foreign Language Publishing House, Moscow. Sem data.
39. PURI, A.N. & R. BALWANT. Physical Characteristics of Soils: VIII State of Aggregation. *Soil Science*, 57: 391-396. 1944.
40. QUEIROZ NETO, J.P. & F. GROHMANN. Estado de Agregação da Terra Roxa (Série Chapadão) num Ensaio de Adubação de milho. *Bragantia*, 22: 635-646. 1963.
41. QUEIROZ NETO, J.P., J.B. OLIVEIRA & F. GROHMANN. Características da Estrutura de um Podzólico Vermelho-Amarelo da Estação Experimental de Monte Alegre do Sul. *Bragantia*, 25: 117-128. 1966.
42. RANZANI, G., O. FREIRE & T. KINJO. Levantamento da Carta de Solos do Município de Piracicaba. E.S.A. "Luiz de Queiroz", mimeografado, 85 p. 1963.
43. RANZANI, G. Origem e Desenvolvimento do Solo. E.S.A. "Luiz de Queiroz", mimeografado, 2 volumes, 433 p. 1967.
44. RICHARDS, L.A. Pressure Membrane Apparatus, Construction and Use. *Agricultural Engineering*, 28: 451-454. 1947.
45. RICHARDS, L.A. & M. FIREMAN. Pressure-plate Apparatus for Measuring Moisture Sorption and Transmission by Soils. *Soil Science*, 56: 395-404. 1943.
46. RICHARDS, L.A. & C.H. WADLEIGH. Soil Water and Plant Growth. in *Soil Physical Conditions and Plant Growth*, Byron T. Shaw, Editor. Academic Press Inc., New York, N.Y. 1952.
- RICHARDS, S.J., L.V. WEEKS & L.C. ERICKSON. Water Use by Young Lemon Trees in Relation to Soil Compaction and Tree Growth. *Soil Science*, 92: 347-350. 1961.
48. RUSSEL, E.W. Soil Structure. Imperial Bureau of Soil Science, Tech. Communication n^o 37, 42 p. 1938.

49. SHAW, B.T. Soil Physical Conditions and Plant Growth. Academic Press Inc., New York, N.Y. 1952.
50. SLATER, C.S. & A. RODRIGUEZ. Aspects of Structure that Affect Germination in a Silt Loam Soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 18: 8-11. 1954.
51. SNEDECOR, G.W. Statistical Methods. The Iowa State College Press, Ames, Iowa. 5th Ed. 534 p. 1956.
52. STAUFFER, L.H. Measurement of Physical Characteristics of Soils. Soil Science, 24: 373-379. 1927.
53. SYKES, D.J. & W.E. LOOMIS. Plant and Soil Factors in Permanent Wilting Percentages and Field Capacity Storage. Soil Science, 104: 163-173. 1967.
54. TROUSE, A.C. & R.P. HUMBERT. Some Effects of Soil Compaction on the Development of Sugar Cane Roots. Soil Science, 91: 208-217. 1961.
55. VLASOFF, P.I. Volume Change and Pore Space of Saturated and Dry Soil Clods in Relation to Different Soil Types and Land Utilization. Soil Science, 53: 187-193. 1942.
56. VEIHMEYER, F.J. & A.H. HENDRICKSON. Soil moisture in Relation to Plant Growth. Ann. Rev. Plant Physiology, 1: 285-304. 1950.
57. YODER, R.E. A Direct Method of Aggregate Analysis of Soils and a Study of the Physical Nature of Erosion Losses. Jour. Am. Soc. Agron., 28: 1. 1936.
58. ZUR, B. Selected Topics in Soil Physics. Cadeira de Física e Meteorologia, mimeografado, 71 p. 1966.