

A CARBOXIMETILCELULOSE E SEU EFEITO SOBRE ALGUMAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO^{1/}

Wesley Jorge Freire^{2/}

1. INTRODUÇÃO

A literatura chama de condicionadores do solo quaisquer aditivos que, de algum modo, modifiquem suas propriedades físicas.

Atuando como poderosos agentes agregativos do solo, modificando acentuadamente suas características de plasticidade e promovendo acentuada estabilidade estrutural, o efeito da aplicação dos condicionadores depende, todavia, das características do solo e das condições em que o produto foi aplicado, havendo absoluta necessidade de um contacto íntimo e completo dos dois.

Segundo O'BRIEN (8), a eficiência de um condicionador se mede pela proporção de agregados estáveis em água formados, sendo que solos com alto teor de argila são os que melhor respondem ao tratamento, ao passo que os arenosos são muito pouco influenciados; os solos siltosos situam-se numa posição intermediária. Solos muito argilosos, que apresentam problemas de compactação e encrustamento superficial ou exibem condições físicas indesejáveis, são, de acordo com SHERWOOD e ENGIBOUS (10), os que melhor respondem ao tratamento. Todavia, se o estado natural de agregação do solo for bastante desenvolvido, o efeito do condicionador não será tão acentuado como seria se o solo fosse mal estruturado, de acordo com SLATER (12).

Discorrendo sobre o papel da matéria orgânica como agente cimentante da estrutura do solo, SINGH (11) afirmou que esse fenômeno é (a) físico, em razão da presença de partículas finas, que ajudam a aglutinar os agregados do solo, e (b) químico ou físico-químico, provavelmente em razão da presença de poliuronídeos ou polissacarídeos, que alteram as propriedades hidrofílicas das partículas de argila; ao lado destes, os ésteres de celulose, tais como o acetado de celulose, a me-

^{1/} Recebido para publicação em 23-05-1978.

^{2/} Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas, «Campus» de Botucatu — UNESP, 18610 Botucatu — SP.

tilcelulose e a carboximetilcelulose, também melhoram a estrutura do solo.

GEOGHEGAN (5) relatou que a aplicação de 0,25% de carboximetilcelulose, calculada em relação ao peso do solo seco, aumenta significativamente a agregação do solo, o que foi confirmado por DOYLE (3), que verificou ser a carboximetilcelulose um eficiente agente agregativo de argilas caoliníticas, íliticas e montmoriloníticas; de acordo com MARTIN e ALDRICH (6), essa ação cimentante aumenta apreciavelmente com o aumento da acidez do solo.

O tratamento de uma pequena camada superficial de solo com 0,05% de carboximetilcelulose evita o encrostamento, conforme TAYLOR e MARTIN (14), facilitando, assim, a emergência de certas culturas.

A permeabilidade dos solos é muito sensível à adição de carboximetilcelulose, tendo TAYLOR e BALBRIDGE (13) mostrado que a aplicação de 0,05% desse produto aumenta dez vezes a permeabilidade de um solo argiloso e quatro vezes a de um barro limoso; ainda segundo esses autores, um teor de 0,1% de carboximetilcelulose aumenta, significativamente, o limite de plasticidade dos solos, ao passo que a umidade equivalente e o ponto de murchamento não são alterados.

QUASTEL (9) concluiu que a incorporação de 1% de carboximetilcelulose ao solo aumenta a sua porosidade. O solo tratado com condicionadores químicos mantém, conforme a observação de CARLETON (2), tanto o ar como a água em muito maior proporção que o solo não tratado.

Objetivou-se com este trabalho pesquisar o efeito do tratamento do solo com carboximetilcelulose sobre algumas de suas características físicas, a saber: distribuição em tamanho, estabilidade mecânica dos agregados, consistência, índices físicos e compactação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram pesquisados dois solos, pertencentes a classes texturais distintas, cujas amostras foram tomadas à profundidade média de 20 a 50 cm; suas principais características encontram-se no Quadro 1.

A carboximetilcelulose tem a fórmula geral $R_n.OCH_2COONa$ e é obtida tratando-se celulose alcalina com cloroacetato de sódio. Apresenta-se na forma de grânulos brancos e, segundo o The MERCK INDEX (7), sua solubilidade em água depende do grau de substituição; a presença de sais metálicos pouco altera sua viscosidade, sendo as soluções estáveis entre pH 2,0 e pH 10,0; abaixo de pH 2,0, a carboximetilcelulose precipita-se e, acima de pH 10,0, sua viscosidade decresce rapidamente.

As doses de carboximetilcelulose empregadas neste trabalho foram 0,1% e 0,25%, tomadas em relação ao peso do solo seco, sendo que os tratamentos foram aplicados em solos que, em todos os casos, compreenderam a fração de tamanho menor que 4,76 mm, no seu teor de umidade natural, e a eles incorporados, adicionando-se, em seguida, uma quantidade de água definida, calculada do modo descrito por FREIRE (4).

Após repouso em condições ambientais, pelo período de um dia, as amostras foram submetidas ao peneiramento a seco, determinando-se, simultaneamente, a distribuição em tamanho e a estabilidade mecânica dos agregados, conforme FREIRE (4). A partir dos dados obtidos, calculou-se, também, o Módulo de Finura dos agregados do solo, dividindo por 100 a somatória das porcentagens acumuladas nas peneiras consideradas.

Os ensaios de caracterização dos solos foram feitos de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, observando-se, para a análise granulométrica, o Método Brasileiro MB-32; os limites de liquidez e de plasticidade

QUADRO 1 - Características dos solos empregados

Solo		Argiloso	Arenoso
Composição textural (a) (%) em peso	Areia grossa	2,8	4,0
	Areia fina	25,6	73,4
	Silte	20,8	5,0
	Argila	50,8	17,6
Limite de Consistência (%)	Limite de liquidez	41,55	17,62
	Limite de plasticidade	28,29	NP
	Índice de plasticidade	13,26	NP
Classificação	AASHO	A ₇₋₆ (9)	A ₂₋₄ (0)
	USBS (b)	argila	barro arenoso
	Pedológica	TE(c)	LEa(d)
Propriedades químicas	Capac. troca cat., e.mg/100g, mé- todo do acetato de amônia a pH 7,0	7,41	2,73
	pH em água, relação 1:2,5	5,6	4,6
	Matéria orgânica, %, método de Walkley e Black	1,91	0,47
Composição mineralógica(e)	Caolinita	64,0-75,5	60,0-85,0
	Gibbsita	3,0-11,5	2,2-2,5
	Alófana	13,3-18,0	11,6-13,9

(a) Baseada na classificação da AASHO (American Association of State Highway Officials) da ASTM (American Society for Testing Materials): areia grossa: 2,00 a 0,42 mm; areia fina: 0,42 a 0,074 mm; silte: 0,074 a 0,005 mm; argila: inferior a 0,005 mm.

(b) United States Bureau of Soils, classificação trilinear.

(c) Terra Roxa Estruturada.

(d) Latossolo Vermelho-Escuro - fase arenosa.

(e) Até a profundidade de 2,5 mm.

foram determinados de acordo com os Métodos Brasileiros MB-30 e MB-31, respectivamente. A unidade natural do solo foi determinada pelo método da estufa, o peso específico dos sólidos pelo método do picnômetro e o índice de vazios e a porosidade de solo foram calculados a partir de fórmulas deduzidas de relações entre os índices físicos. O peso específico aparente seco foi determinado da maneira usual, e para o traçado da curva de compactação do solo empregou-se o ensaio normal de Próctor, de acordo com o Método Brasileiro MB-33.

O efeito de aplicação dos tratamentos, em seus diversos aspectos, foi avaliado por meio da análise estatística dos dados fornecidos pelo experimento; em razão da própria natureza dos dados, optou-se pela análise não-paramétrica, como a descreveu CAMPOS (1), sendo os testes de Friedman e de Kruskal-Wallis complementados com o emprego das comparações múltiplas correspondentes para localizar as diferenças significativas ocorridas entre pares de tratamento. Em todos os casos, o número de repetições foi igual a três.

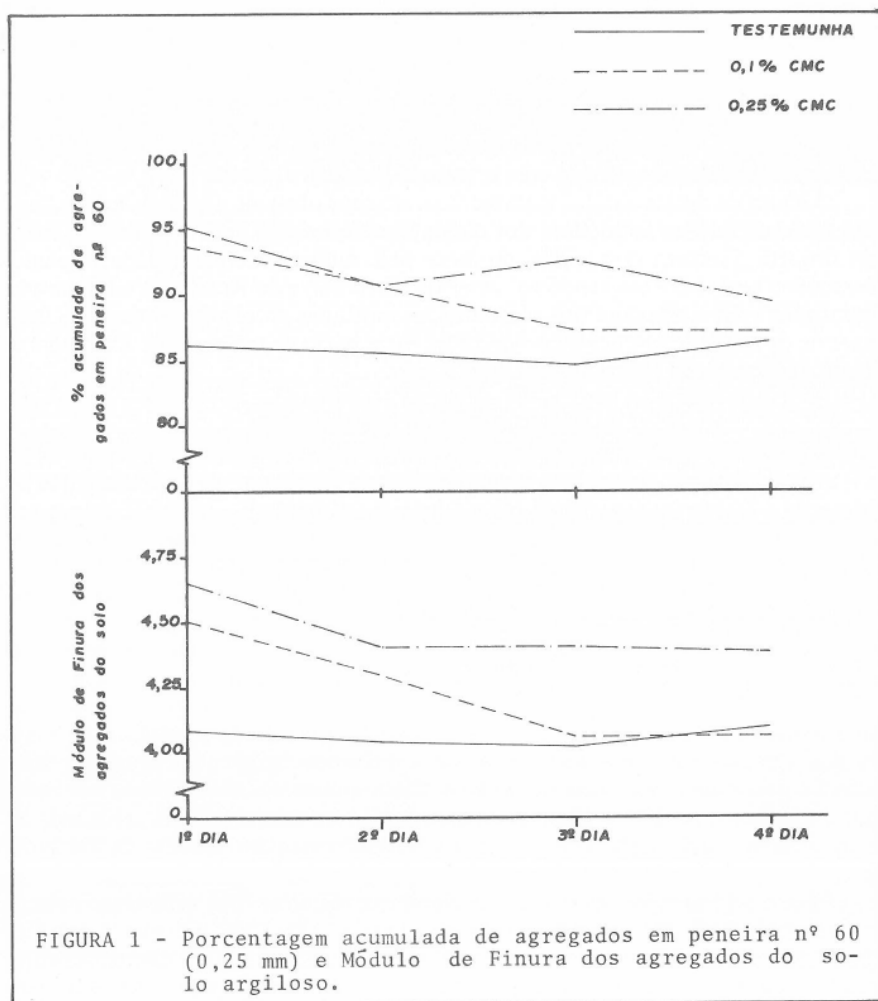
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A porcentagem acumulada de agregados em peneira n.º 60 (0,25 mm), que representa a fração do solo responsável pela sua estabilidade estrutural, bem como o Módulo de Finura dos seus agregados, está representada nas Figuras 1 e 2, para os solos argiloso e arenoso, respectivamente.

Estatisticamente, verificou-se que, no caso do solo argiloso, o quarto dia diferiu do primeiro, para os tratamentos com carboximetilcelulose, quando estes foram considerados separadamente; confrontados entre si, a análise revelou que apenas o tratamento 0,25% CMC (carboximetilcelulose) aumentou a porcentagem acumulada de agregados, embora ambos os tratamentos com carboximetilcelulose diferissem significativamente da Testemunha. Com relação ao Módulo de Finura dos agregados do solo argiloso, a única diferença significativa ocorrida entre dias foi provocada pelo tratamento 0,1% CMC (quarto e primeiro dias); por outro lado, o tratamento 0,25% CMC aumentou o Módulo de Finura dos agregados do solo, quando confrontado com os demais, diferindo estatisticamente da Testemunha.

Para o solo arenoso, as diferenças significativas entre dias ocorreram para os tratamentos 0,1% CMC (quarto e primeiro dias) e 0,25% CMC (terceiro e primeiro dias), quando considerados em separado; em conjunto, porém, as diferenças entre dias não foram localizadas. Apenas o tratamento 0,25% CMC aumentou a porcentagem acumulada de agregados em peneira n.º 60, quando comparado com os demais, diferindo estatisticamente da Testemunha. Em se tratando do Módulo de Finura, a análise estatística acusou diferença entre dias para os tratamentos Testemunha (quarto e terceiro dias) e 0,25% CMC (terceiro e primeiro dias), quando considerados isoladamente; tal resultado, considerado anormal para a Testemunha, deve-se, no entanto, à repetição da análise granulométrica (sobre cujos dados se aplicou o cálculo do Módulo de Finura), em razão da perda accidental dos dados originais. Por outro lado, constatou-se que o tratamento 0,25% CMC aumentou o Módulo de Finura dos agregados, em relação aos demais, diferindo estatisticamente da Testemunha.

Determinando-se a estabilidade estrutural dos agregados pelo método do peneiramento a seco e expressando os resultados por meio da porcentagem acumulada em peneira n.º 60, observou-se que os agregados formados pelo tratamento do solo argiloso com carboximetilcelulose podem ser revolidos, sem prejuízo da sua estabilidade estrutural, nos três primeiros dias, a partir da incorporação do aditivo. Expressa pelo Módulo de Finura, a estabilidade estrutural apresentou,



praticamente, o mesmo comportamento. No caso do solo arenoso, a resistência mecânica dos agregados formados variou de acordo com as doses empregadas, quer se expressasse a estabilidade estrutural por meio da porcentagem acumulada de agregados, quer por meio do Módulo de Finura.

Aumentando a porcentagem acumulada de agregados em peneira n.º 60, o tratamento 0,25% CMC aumentou a estabilidade estrutural e o Módulo de Finura dos agregados dos solos argiloso e arenoso utilizados neste trabalho. O Módulo de Finura dos agregados, determinado a partir dos dados fornecidos pelo peneiramento a seco, revelou-se um eficiente índice de estabilidade estrutural, acusando as mesmas diferenças estatísticas apontadas pela porcentagem acumulada de agregados em peneira de 0,25 mm e avaliando a formação de agregados, tanto maiores quanto maior fosse o seu valor.

Os resultados das análises granulométricas dos solos argiloso e arenoso estão representados na Figura 3. A análise estatística mostrou que apenas para o solo

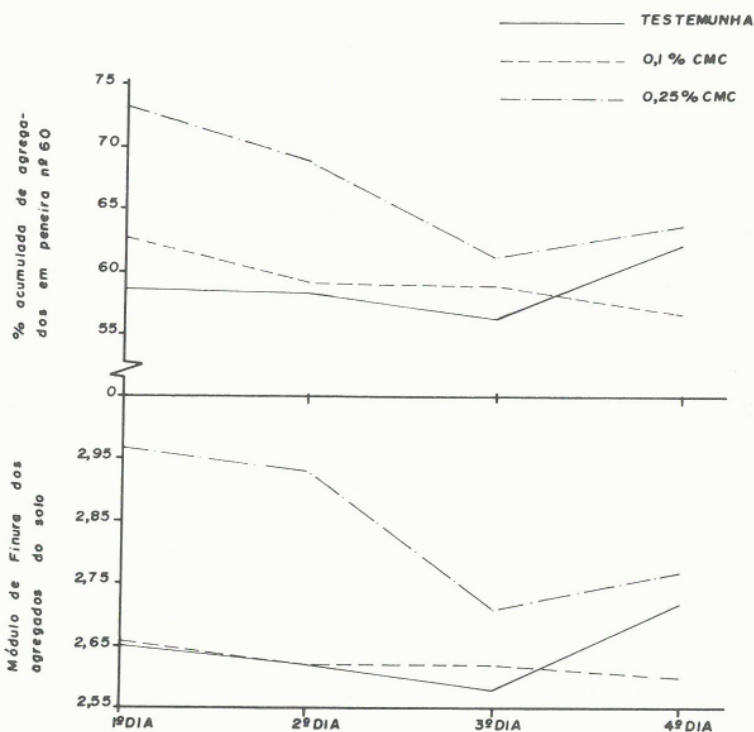
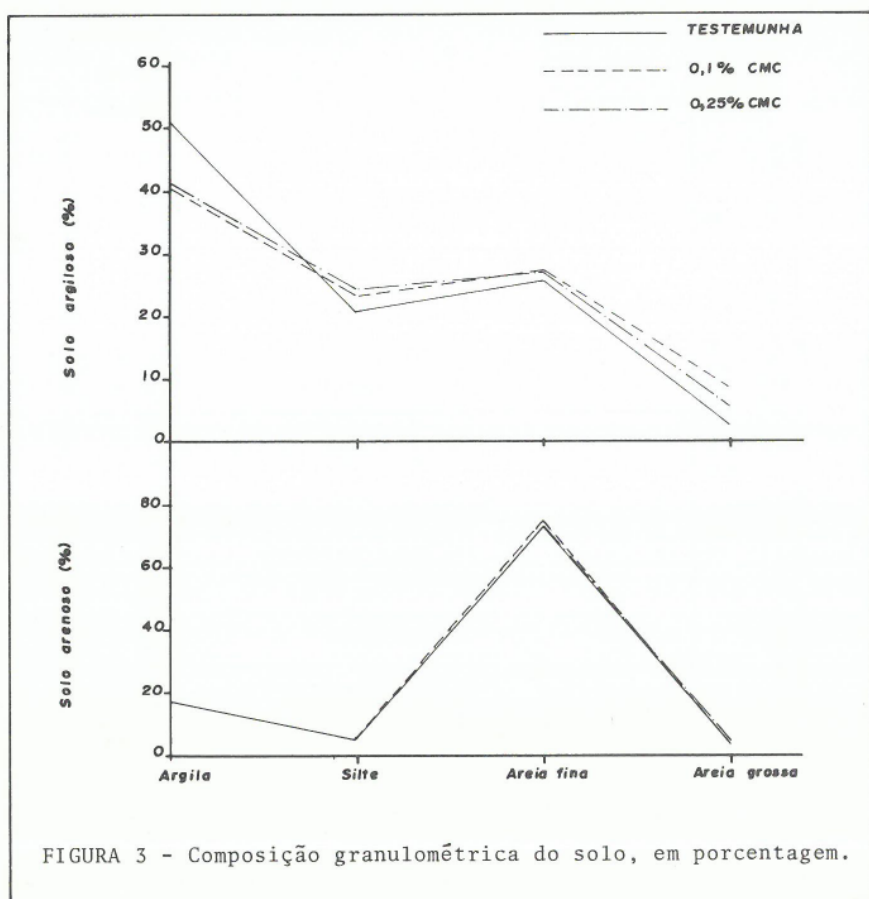


FIGURA 2 - Porcentagem acumulada de agregados em peneira nº 60 (0,25 mm) e Módulo de Finura dos agregados do solo arenoso.

argiloso ocorreram diferenças significativas, com o tratamento 0,1% CMC diminuindo o teor de argila e aumentando o teor de areia grossa, em relação à Testemunha, e o tratamento 0,25% CMC aumentando o teor de silte. Disso se depreende que a carboximetilcelulose exerceu forte poder agregativo sobre as partículas do solo de menor diâmetro, agrupando-as em classes de maior diâmetro.

O efeito da aplicação dos tratamentos sobre os limites de consistência do solo foi pesquisado, e os resultados acham-se relatados no Quadro 2. Após a aplicação da análise estatística, verificou-se que o tratamento 0,25% CMC aumentou os limites de liquidez e de plasticidade do solo argiloso, bem como o limite de liquidez do solo arenoso, diferindo estatisticamente da Testemunha; o mesmo tratamento diminuiu, ainda, o índice de plasticidade do solo argiloso, quando comparado com o tratamento 0,1% CMC.

Vêem-se no Quadro 3 os resultados obtidos pelo tratamento dos solos com carboximetilcelulose e seu efeito sobre os índices físicos. O tratamento 0,25% CMC diminuiu o peso específico aparente seco e aumentou o índice de vazios e a porosidade dos dois solos, diferindo estatisticamente da Testemunha. As implicações práticas decorrentes disso são muitíssimo importantes para a agricultura, pois, diminuindo o peso específico aparente seco e aumentando, conseqüentemente, o índice



ce de vazios e a porosidade dos solos, criam-se condições físicas mais favoráveis ao desenvolvimento vegetal, além de aumentar-se a permeabilidade. O tratamento 0,25% CMC aumentou, também, o peso específico dos sólidos do solo, diferindo estatisticamente da Testemunha; tal fato não tem explicação lógica, supondo-se que, de alguma maneira não determinada, o método tenha sido influenciado.

Os resultados do ensaio de compactação dos solos estudados, sob tratamento com carboximetilcelulose, estão relatados no Quadro 4. A análise estatística aplicada aos dados fornecidos pelo ensaio mostrou que nos dois solos os valores da densidade aparente máxima foram diminuídos pelo tratamento 0,25% CMC, quando comparado com a Testemunha; o mesmo tratamento aumentou o teor de umidade ótima do solo arenoso.

Um e outro solo foram influenciados pelo tratamento com carboximetilcelulose. Aumentando a estabilidade estrutural do solo, aglutinando as partículas de menor diâmetro em agregados maiores, aumentando seus limites de consistência, diminuindo a densidade aparente máxima e criando condições físicas favoráveis ao crescimento das plantas, a carboximetilcelulose revelou-se um aditivo de grandes possibilidades na agricultura, podendo seu uso ser ampliado e sua eficiência

QUADRO 2 - Limites de consistência do solo: LL (Limite de Liquidez), LP (Limite de Plasticidade), IP (Índice de Plasticidade)			
TRATAMENTOS	LIMITES DE CONSISTÊNCIA, %		
	L.L.	L.P.	I.P.
Solo argiloso			
TEST.	41,24	28,20	13,04
	42,22	28,50	13,72
	41,20	28,18	13,02
0,1% CMC	52,35	38,41	13,94
	50,88	37,78	13,10
	53,50	38,72	14,78
0,25% CMC	63,98	54,42	9,56
	60,15	52,28	7,87
	63,50	52,83	10,67
Solo arenoso			
TEST.	17,73	NP (*)	NP
	18,00	NP	NP
	17,14	NP	NP
0,1% CMC	20,32	NP	NP
	20,05	NP	NP
	19,73	NP	NP
0,25% CMC	28,95	25,28	3,67
	28,55	25,25	3,30
	28,53	24,48	4,05
(*) NP = Não Plástico. TEST. = Testemunha. CMC = Carboximetilcelulose.			

aproveitada para superar alguns problemas comumente associados aos solos agrícolas.

4. CONCLUSÕES

Resguardadas as condições do trabalho, os resultados obtidos, analisados e interpretados estatisticamente, permitiram que se chegasse às seguintes conclusões:

— o tratamento de ambos os solos com 0,25% CMC (carboximetilcelulose) aumentou a estabilidade estrutural dos seus agregados;

— o Módulo de Finura dos agregados do solo pode ser usado para representar a estabilidade estrutural;

— os agregados formados pelo tratamento do solo argiloso com carboximetilcelulose podem ser revolvidos, sem prejuízo da sua estabilidade estrutural, nos três primeiros dias, contados a partir da incorporação do aditivo; no caso do solo arenoso, esse período variou de acordo com as doses empregadas;

QUADRO 3 - Índices físicos do solo: δ_o (peso específico aparente seco, g/cm³), δ_s (peso específico dos sólidos, g/cm³), e (índice de vazios), n (porosidade, %)

TRATAMENTOS	ÍNDICES FÍSICOS			
	δ_o	δ_s	e	n
Solo argiloso				
TEST.	1,19	2,87	1,37	57,80
	1,19	2,80	1,37	57,80
	1,18	2,79	1,39	58,16
0,1% CMC	1,03	2,89	1,79	64,16
	1,03	2,89	1,79	64,16
	1,04	2,83	1,76	63,77
0,25% CMC	0,99	2,95	1,94	65,99
	1,00	2,86	1,91	65,63
	1,00	2,93	1,91	65,63
Solo arenoso				
TEST.	1,41	2,58	0,81	44,75
	1,42	2,56	0,80	44,44
	1,41	2,53	0,81	44,75
0,1% CMC	1,30	2,59	0,98	49,49
	1,30	2,57	0,98	49,49
	1,30	2,59	0,98	49,49
0,25% CMC	1,26	2,61	1,09	52,15
	1,25	2,61	1,10	52,38
	1,26	2,66	1,09	52,15

QUADRO 4 - Ensaio de compactação do solo: $\delta_{\text{máx.}}$ (densidade aparente máxima, g/dm³) e $h_{\text{ót.}}$ (umidade ótima, %)

Parâmetros do ensaio de compactação		TRATAMENTOS		
		TEST.	0,1% CMC	0,25% CMC
Solo Argiloso	$\delta_{\text{máx.}}$	1472	1467	1455
		1469	1459	1459
		1469	1462	1434
	$h_{\text{ót.}}$	30,8	31,0	30,6
		29,9	29,8	31,4
		30,1	31,2	31,7
Solo Arenoso	$\delta_{\text{máx.}}$	1932	1910	1830
		1930	1924	1826
		1928	1923	1828
	$h_{\text{ót.}}$	11,3	12,7	14,0
		11,8	12,1	13,8
		11,8	12,3	14,3

— a carboximetilcelulose exerceu forte poder agregativo sobre as frações do solo de menor diâmetro;

— o tratamento 0,25% CMC aumentou os limites de liquidez e de plasticidade do solo argiloso, bem como o limite de liquidez do solo arenoso; diminuiu, ainda, o índice de plasticidade do solo argiloso;

— o tratamento 0,25% CMC diminuiu o peso específico aparente seco e aumentou o índice de vazios e a porosidade de ambos os solos;

— o tratamento 0,25% CMC diminuiu a densidade aparente máxima do ensaio de compactação dos dois solos e aumentou o teor de umidade ótima do solo arenoso.

5. RESUMO

Dois solos, um argiloso e outro arenoso, foram tratados com carboximetilcelulose, a 0,1% e 0,25%, após o que as amostras foram submetidas ao peneiramento a seco e aos ensaios de caracterização e de compactação, de acordo com as normas. Aos dados obtidos aplicou-se uma análise estatística não-paramétrica, cujos resultados mostraram que o tratamento com carboximetilcelulose aumentou a estabilidade estrutural do solo, aglutinou as partículas de menor diâmetro, aumentou

seus limites de consistência, influenciou o ensaio de compactação e criou condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal.

6. SUMMARY

Two soils, a clay and a sandy loam, were treated with carboxymethylcellulose at the rates of 0.1% and 0.25%, after which the samples were submitted to dry sieving to soil characterization and compaction tests according regulations. The results showed that treatment with carboxymethylcellulose increased soil structural stability, aggregated soil particles of less diameter and augmented their physical constants, affected the moisture-density test and resulted in physical conditions of the soil favorable to plant growth.

7. LITERATURA CITADA

1. CAMPOS, H. *Estatística experimental não-paramétrica*. 2.^a ed. Piracicaba, ESALQ/USP, 1976. 332 p.
2. CARLETON, R.M. Understanding soil conditioners. *Horticulture* 31:365-389. 1953.
3. DOYLE, J.J. *Organo-clay relationships in soil aggregate formation*. Ohio State Univ., Ph. D. Thesis. 1952.
4. FREIRE, W.J. *Tratamento prévio do solo com aditivos químicos e seu efeito sobre a qualidade do solo-cimento*. Piracicaba, ESALQ/USP, 1976. 142 p. (Tese de doutoramento).
5. GEOGHEGAN, M.J. Aggregate formation in soil. Trans. 4th Int. Congr. Soil Sci. 1:198. 1950.
6. MARTIN, J.P. & ALDRICH, D.G. Influence of soil exchangeable-cation ratios on the aggregating effects of natural and synthetic soil conditioners. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 19:50-54. 1955.
7. The MERCK INDEX. 8th ed. New Jersey, Rahway, Merck and Co., Inc., 1968.
8. O'BRIEN, A.J. Five things you may know about soil conditioners. *Chem. Engng.* 59:311-312, 314-315. 1952.
9. QUASTEL, J.H. Synthetic soil conditioners and soil struture. *Sic. Progr.* (London) 40:385-402. 1952.
10. SHERWOOD, L.V. & ENGIBOUS, J.C. Status report on soil conditioning chemicals. II. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 17:9-16. 1953.
11. SINGH, R. A review on the use of synthetic soil conditioners. *Sci. and Cult.* 20 (10):483-486. 1955.
12. SLATER, C.S. Soil conditioners in soil conservation. *Agric. Engng.* 34(2):98, 100, 102. 1953.

13. TAYLOR, G.S. & BALBRIDGE, P.E. The effect of sodium carboximethylcellulose on some physical properties of Ohio soils. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 18(4):382-385. 1954.
14. TAYLOR, G.S. & MARTIN, W.P. Effect of soil-aggregating chemicals on soils. *Agric. Engng.* 34(8):550-554. 1953.