

O SILICATO DE SÓDIO E SEU EFEITO SOBRE O SOLO

Wesley Jorge Freire (1)

INTRODUÇÃO

Desde a descoberta do primeiro condicionador sintético do solo, há aproximadamente três décadas, intensificaram-se as pesquisas no sentido de separarem, de entre os muitos produtos testados, aqueles que, misturados com o solo em quantidades excepcionalmente pequenas, promoviam acentuada estabilidade estrutural.

Sabe-se, contudo, que o efeito global da adição de um condicionador ao solo depende das características do solo e das condições sob as quais o produto foi aplicado, havendo absoluta necessidade de um contacto íntimo e completo entre ambos.

O teor de umidade natural do solo, sua textura, seu aspecto físico e químico, bem como a concentração, forma e tipo do condicionador, são fatores que influenciam a intensidade e duração da resposta do solo à sua aplicação. Solos muito argilosos, que apresentam problemas de compactação e encrostamento superficial ou exibem condições físicas indesejáveis, são, segundo SHERWOOD & ENGIBOUS (1953), os que melhor respondem ao tratamento. Todavia, se o estado natural de agregação do solo for bastante desenvolvido, SLATER (1953) afirmou que o efeito do condicionador não será tão acentuado como seria se o solo fosse mal estruturado.

(1) Faculdade de Ciências Agronômicas. «Campus» de Botucatu, UNESP.

Embora os silicatos de sódio se mostrem promissores agentes de estabilização, os solos aos quais eles forem aplicados devem ser previamente estudados, uma vez que alguns deles respondem negativamente ao tratamento.

RUFF & DAVIDSON (1961) relataram que o exato mecanismo da estabilização com silicato de sódio não é, ainda, bem conhecido; segundo estes autores, o silicato de sódio reage com os sais de cálcio da solução do solo para formar silicato de cálcio hidratado, gelatinoso e insolúvel, agente cimentante comprovadamente eficiente, que preenche os vazios do solo, expulsando a água e melhorando a estabilidade estrutural.

À medida em que ocorre a formação do gel de silicato de sódio, o mesmo começa a absorver água e a se hidratar, endurecendo-se e alterando a aparência do solo cujas partículas são aglutinadas, mudando, assim, a granulometria da mistura e aumentando sua resistência à compactação; isto afeta não apenas a umidade ótima como, também, a própria densidade aparente seca máxima. Uma vez que a energia de compactação é mantida constante, no ensaio de compactação, um aumento na resistência do solo à compactação provocará um decréscimo na densidade.

Estudando a eficiência de alguns aditivos sódicos sobre tipos particulares de solo, MOH *et alii* (1962) concluíram que a eficiência de compostos sódicos decresce com o aumento da plasticidade e/ou teor de matéria orgânica do solo.

SINGH (1955) relatou que o efeito agregativo do silicato de sódio não é significativo quando o mesmo é aplicado em doses inferiores a 0,1%; por outro lado, quando aplicado em altas concentrações, JAMISON (1954) observou que o silicato de sódio desenvolve forte alcalinidade no solo.

Tanto os silicatos de sódio como os de potássio desenvolvem um grau satisfatório de agregação no solo, tendo LAWS & PAGE (1946) observado que os silicatos de sódio de alta relação sílica-álcali apresentam maior efeito agregativo que os silicatos de baixa relação; por outro lado, silicatos de potássio de relação $\text{SiO}_2:\text{K}_2\text{O}$ igual a 3,9:1,0, são mais eficientes que o equivalente em silicato de sódio. Segundo DUTT (1948), é a fração sílica dos silicatos solúveis que contribui para a formação de agregados estáveis em água.

A adição de 0,25% de silicato de sódio aumentou, de acordo com LAWS & PAGE (1946), o grau de agregação do solo barro siltoso Wooster de 12,1 para 80,1%, tendo os autores observado que os agregados formados eram semelhantes, em tamanho e forma, àqueles encontrados naturalmente no solo; o grau de agregação do solo barro siltoso Clermont, aumentou de 22,7 para 88,2% quando se aplicou 1,2% em peso, de silicato de sódio; no entanto, quando o silicato de sódio foi aplicado ao solo, naturalmente bem estruturado, o seu efeito foi negativo. Paralelamente, os autores observaram que houve considerável agregação de partículas primárias em partículas secundárias, estáveis em água, de diâmetro inferior a 0,25 mm.

A incorporação de uma solução de silicato de sódio a um solo argiloso que exibia características de materiais montmoriloníticos, fez com que este perdesse, segundo LAWS (1950), a maior parte das propriedades plásticas exibidas pelos solos muito argilosos e apresentasse propriedades comumente associadas aos solos barrentos; ocorreu, ainda, um notável aumento na friabilidade do solo que perdeu, também, muito da sua capacidade de contração e expansão.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram pesquisados dois solos, pertencentes a classes texturais distintas, cujas amostras foram tomadas à profundidade média de 20 a 50 cm, estando suas principais características descritas no quadro I.

O silicato de sódio, empregado neste trabalho, é neutro, de relação sílica-álcali igual a 3,2, contendo 30,1% de SiO_2 em peso, 9,4% de Na_2O e 60,5% de água; seu peso específico, a 20°C, é 42,7° Bé (densidade 1,42 g/cm³), e sua viscosidade média é da ordem de 900 centipóises; as doses empregadas foram 0,6% e 1,2%, em relação ao peso do solo seco.

Os tratamentos foram aplicados ao solo que, em todos os casos, compreendeu a fração menor do que 4,76 mm, no seu teor de umidade natural, e a ele incorporados, adicionando-se, em seguida, uma quantidade de água definida, calculada da maneira descrita por FREIRE (1976).

QUADRO I - 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
Limites de consistência (%)	Limite de liquidez	41,55	17,62
	Limite de plasticidade	28,29	NP
	Índice de plasticidade	13,26	NP
Classificação	AASHO	A7 - 6(9)	A2 - 4(0)
	USBS (b)	argila	barro arenoso
	Pedológica	TE (c)	LVE-ar(d)
Propriedades químicas	Capac. Troca Cat., e.mg/100g	7,41	2,73
	pH	5,6	4,6
	Matéria orgânica, %	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
	Alofana	13,3 - 18,0	11,6 - 13,9

(a) Baseada na classificação da AASHO (American Association of State Highway Officials) e ASTM (American Society for Testing Materials): areia grossa: 2,00 a 0,42 mm; areia fina: 0,42 a 0,074mm; 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) Latossol Vermelho Escuro fase arenosa

(e) Até a profundidade de 2,5 m

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 (1976). A partir dos dados obtidos, calculou-se, também, o Módulo

lo 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 foram determinados de acordo com os Métodos Brasileiros MB-30 e MB-31, respectivamente. A umidade 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 do 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 da aplicação dos tratamentos, sob seus diversos aspectos, foi avaliado através da análise estatística dos dados fornecidos pelo experimento; devido à própria natureza dos dados, optou-se pela análise não paramétrica tal como descrita por CAMPOS (1976), 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 tratamentos. Em todos os casos, o número de repetições foi igual a três.

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, estão representados 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 silicato de sódio, quando estes foram considerados separadamente; confrontados entre si, a análise revelou que os tratamentos 0,6% SS (silicato de sódio) e 1,2% SS aumentaram a porcentagem acumulada de agregados, diferindo ambos da Testemunha. Com relação ao Módulo de Finura dos agregados do solo argilo-

so, as diferenças significativas ocorridas entre dias foram provocadas pelos tratamentos 0,6% SS (terceiro e primeiro dias) e 1,2% SS (quarto e segundo dias); confrontados entre si, verificou-se que os tratamentos com silicato de sódio aumentaram o Módulo de Finura dos agregados do solo, diferindo ambos da Testemunha.

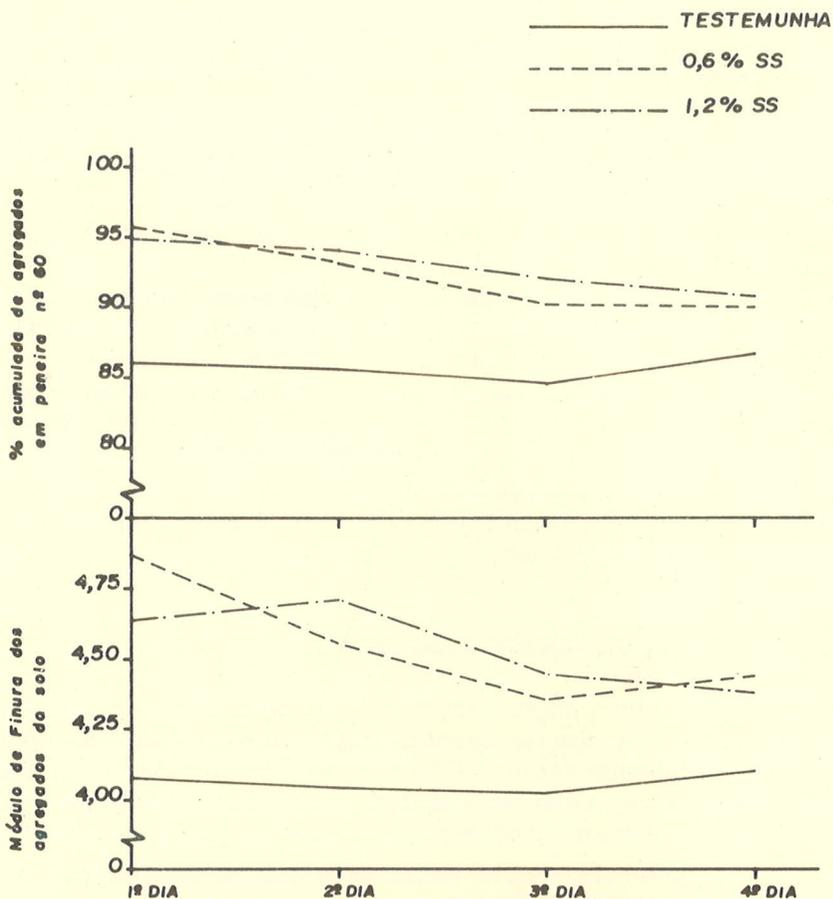


FIGURA 1 - Porcentagem acumulada de agregados, em peneira n.º 60 (0,25 mm) e Módulo de Finura dos agregados do solo argiloso.

Para o solo arenoso, a análise estatística revelou que não ocorreram diferenças significativas entre dias, quando os tra-

tamentos foram considerados isoladamente; em conjunto, porém, o teste foi significativo, embora as diferenças não tenham sido localizadas. Apenas o tratamento 0,6% SS aumentou a porcentagem acumulada de agregados em peneira n.º 60, diferindo da Testemunha, juntamente com o tratamento 1,2% SS. Em se tratando do Módulo de Finura, verificou-se que apenas o tratamento 0,6% SS teve efeito positivo, diferindo estatisticamente dos demais; constatou-se, também, que não houve diferença entre dias, quando os tratamentos eram considerados em separado.

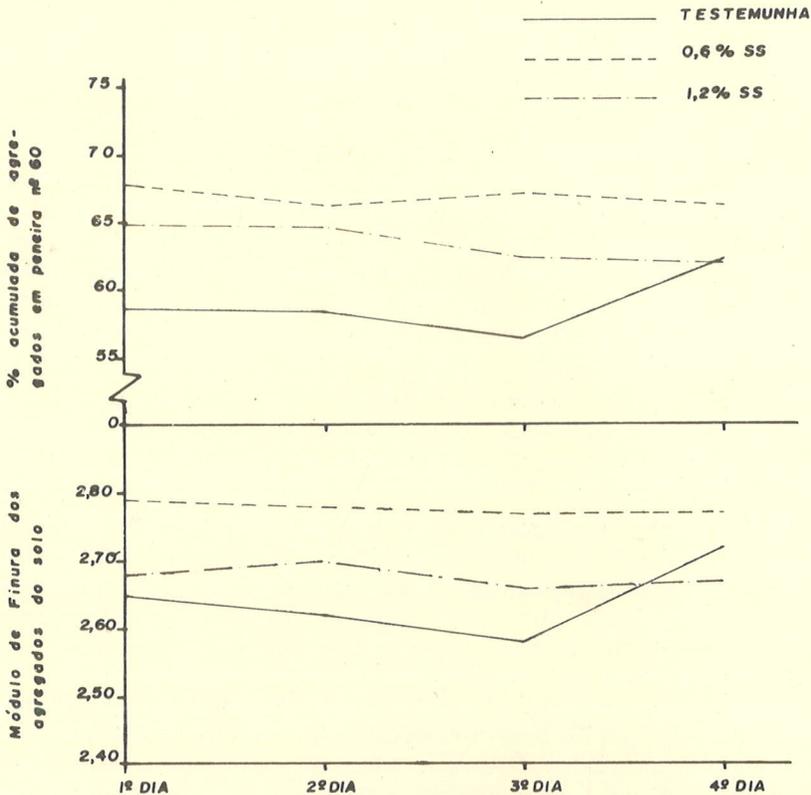


FIGURA 2 - Porcentagem acumulada de agregados, em peneira n.º 60 (0,25 mm) e Módulo de Finura dos Agregados do solo arenoso.

Determinando-se a estabilidade estrutural dos agregados pelo método do peneiramento a seco e expressando os resul-

tados através da porcentagem acumulada em peneira n.º 60, observou-se que os agregados formados pelo tratamento do solo argiloso com silicato de sódio podem ser revolvidos, sem prejuízo da sua estabilidade estrutural, nos três primeiros dias a partir da incorporação do aditivo; expressa através do Módulo de Finura, a estabilidade estrutural variou em função das doses empregadas. No caso do solo arenoso, pode-se afirmar que a resistência mecânica dos agregados formados não sofreu alteração alguma, quando os mesmos foram submetidos ao peneiramento a seco, resultado este que persistiu durante todo o período considerado neste trabalho.

Aumentando a porcentagem acumulada de agregados, em peneira n.º 60, o tratamento com silicato de sódio aumentou a estabilidade estrutural e o Módulo de Finura dos agregados do solo argiloso enquanto que, no solo arenoso, este efeito positivo se deveu apenas ao tratamento 0,6% SS. 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 for o seu valor.

Os resultados das análises granulométricas dos solos argiloso e arenoso estão representados na figura 3. Em ambos os solos, o tratamento 1,2% SS elevou, significativamente, o teor de silte, em relação à Testemunha; no solo arenoso, aquele tratamento diminuiu, ainda, o teor de argila e aumentou o teor de areia fina, quando comparado com a Testemunha e o tratamento 0,6% SS, respectivamente. Disso depreende-se que o tratamento 1,2% SS exerceu forte poder agregativo sobre as partículas de menor diâmetro do solo 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 II. Após a aplicação da análise estatística, verificou-se que o tratamento 1,2% SS diminuiu o limite de liquidez e σ índice de plasticidade do solo argiloso, diferindo estatisticamente da testemunha; por outro lado, o tratamento 0,6% SS diminuiu o limite de plasticidade do solo argiloso e o limite de liquidez do solo arenoso, quando comparado, em ambos os solos, com a testemunha.

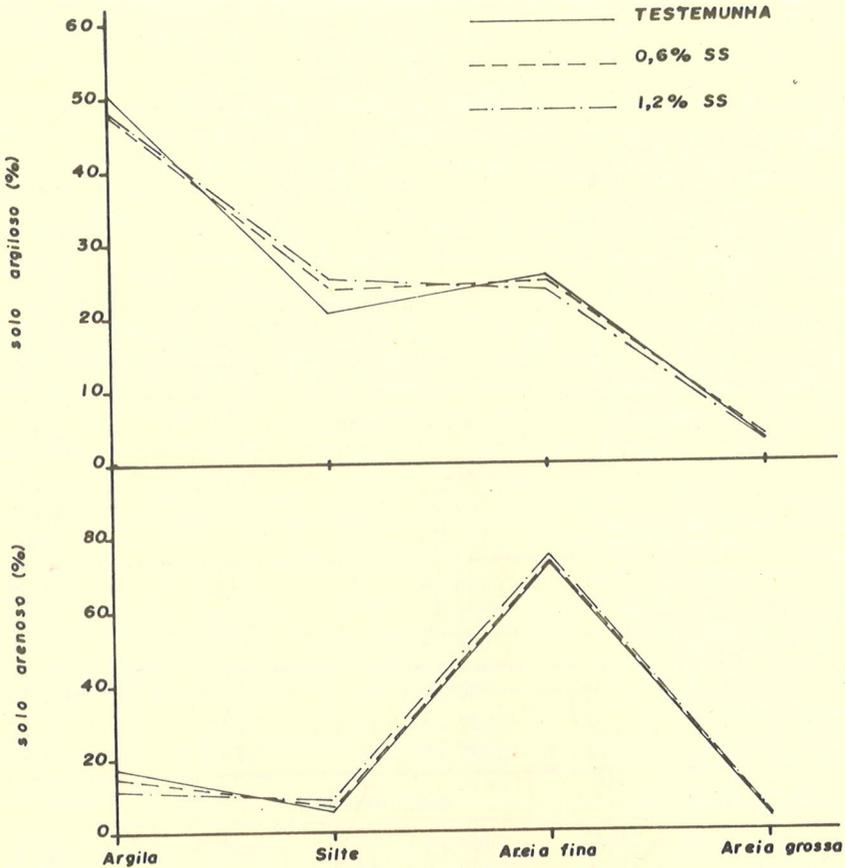


FIGURA 3 - Composição granulométrica do solo, em porcentagem.

O quadro III apresenta os resultados obtidos pelo tratamento dos solos com silicato de sódio e seu efeito sobre os índices físicos. O tratamento 1,2% SS diminuiu o peso específico aparente seco de ambos os solos e aumentou o índice de vazios e a porosidade do solo argiloso, diferindo estatisticamente da Testemunha. Tanto com relação ao índice de vazios como à porosidade, ocorreram diferenças significativas não localizadas entre os tratamentos do solo arenoso. As implicações práticas disso decorrentes são muitíssimo importantes para a agricultura, pois, diminuindo o peso específico aparente seco e aumentando, con-

sequentemente, o índice de vazios e porosidade dos solos, criam-se condições físicas mais favoráveis ao desenvolvimento vegetal, além de aumentar a permeabilidade.

QUADRO II - 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
0,6% SS	34,25	26,33	7,92
	34,90	27,53	7,37
	34,28	26,38	7,90
1,2% SS	33,38	28,94	4,44
	31,25	27,98	3,27
	31,18	27,66	3,52
Solo arenoso			
TEST.	17,73	NP ^(*)	NP
	18,00	NP	NP
	17,14	NP	NP
0,6% SS	12,70	NP	NP
	12,68	NP	NP
	12,90	NP	NP
1,2% SS	14,34	NP	NP
	14,34	NP	NP
	14,45	NP	NP

(*) NP = Não Plástico

TEST. = Testemunha

SS = Silicato de Sódio

QUADRO III - Índices físicos do solo: γ_0 (peso específico aparente seco, g/cm³), γ_s (peso específico dos sólidos, g/cm³) e (índice de vazios), n (porosidade, %).

TRATAMENTOS	ÍNDICES FÍSICOS			
	γ_0	γ_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
0,6% SS	1,06	2,82	1,66	62,41
	1,05	2,81	1,68	62,69
	1,07	2,82	1,63	61,98
1,2% SS	1,00	2,90	1,85	64,91
	1,01	2,86	1,82	64,54
	0,99	2,80	1,88	65,28
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
0,6% SS	1,34	2,61	0,92	47,92
	1,34	2,52	0,92	47,92
	1,34	2,58	0,92	47,92
1,2% SS	1,33	2,59	0,92	47,92
	1,33	2,56	0,92	47,92
	1,33	2,54	0,92	47,92

Os resultados do ensaio de compactação dos solos estudados, sob tratamento com silicato de sódio, estão relatados no quadro IV. A análise estatística aplicada aos dados fornecidos pelo ensaio mostrou que, em ambos os solos, a densidade aparente máxima não foi afetada pelo tratamento com o aditivo sódico.

co; com relação à umidade ótima, ocorreram diferenças significativas não localizadas apenas entre os tratamentos do solo arenoso.

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

Parâmetros do ensaio de compactação		TRATAMENTOS		
		TEST.	0,6% SS	1,2%SS
Solo argiloso	$\gamma_{\text{máx.}}$	1472	1481	1465
		1469	1488	1475
		1469	1472	1471
	$h_{\text{ót.}}$	30,8	30,2	31,0
		29,9	30,6	31,5
		30,1	30,6	30,6
Solo arenoso	$\gamma_{\text{máx.}}$	1932	1956	1957
		1930	1960	1964
		1928	1957	1953
	$h_{\text{ót.}}$	11,3	10,7	10,6
		11,8	10,0	10,5
		11,8	10,5	10,5

Ambos os solos foram afetados pelo tratamento com silicato de sódio. Aumentando a estabilidade estrutural do solo, aglutinando as partículas de menor diâmetro em agregados maiores, diminuindo os seus limites de consistência e criando condições físicas favoráveis ao crescimento das plantas, o silicato de sódio revelou-se um aditivo de grandes possibilidades na agricultura, podendo o seu uso ser ampliado e sua eficiência aproveitada para superar alguns problemas comumente associados aos solos agricultáveis.

CONCLUSÕES

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

— o tratamento do solo argiloso com silicato de sódio aumentou a sua estabilidade estrutural, enquanto que o tratamento 0,6% SS (silicato de sódio) aumentou a estabilidade estrutural do solo arenoso;

— 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 silicato de sódio podem ser revolvidos, sem prejuízos da sua estabilidade estrutural, nos três primeiros dias contados a partir da incorporação do aditivo; no caso do solo arenoso, em todo o período considerado;

— o tratamento 1,2% SS exerceu forte poder agregativo sobre as frações do solo de menor diâmetro;

— o tratamento 1,2% SS diminuiu o limite de liquidez e o índice de plasticidade do solo argiloso, enquanto que o tratamento 0,6% SS diminuiu o limite de plasticidade do solo arenoso e o limite de liquidez do solo argiloso;

— o tratamento 1,2% SS diminuiu o peso específico aparente seco de ambos os solos e aumentou o índice de vazios e a porosidade do solo argiloso;

— a densidade aparente máxima do ensaio de compactação não foi afetada pelo tratamento de ambos os solos com silicato de sódio.

RESUMO

Dois solos, um argiloso e outro barro arenoso, foram tratados com silicato de sódio (relação sílica-álcali igual a 3,2) em dois níveis (0,6% e 1,2%), 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 silicato de sódio aumentou a estabilidade estrutural do solo, aglutinou as partículas de menor diâmetro, diminuiu os seus limites de consistência e criou condições físicas favoráveis ao desenvolvimento vegetal.

SUMMARY

Two soils, a clayey and a sandy loam soil, were treated with sodium silicate (3.2 silica-to-soda ratio), in the dosage of 0.6% and 1.2%, being the samples submitted to dry sieving and to soil characterization and compaction tests according to regulations. The data were statistically analysed and the results showed that treatment with sodium silicate increased soil structural stability, aggregated soil particles of less diameter, diminished their physical constants and developed favourable soil physical conditions to plant growing.

LITERATURA CITADA

- CAMPOS, H., 1976. **Estatística experimental não-paramétrica**, 2.a edição, Piracicaba, ESALQ/USP, 332p.
- DUTT, A.K., 1948. Mechanism of aggregation of clay minerals by soluble silicates. **Soil Sci.** 65: 309-319.
- FREIRE, W.J., 1976. Tratamento prévio do solo com aditivos químicos e seu efeito sobre a qualidade do solo-cimento. Tese de doutoramento. Piracicaba, ESALQ/USP, 142p.
- JAMISON, V.C., 1954. The effect of some soil conditioners on friability and compactibility of soils. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 18: 391-394.
- LAWS, W.D., 1950. Water-soluble silicate application to a calcareous clay soil and effect on soil properties and nutrient uptake by plants. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 15: 89-92.
- LAWS, W.D. & J.B. PAGE, 1946. Silicate of soda as a soil-aggregating agent. **J. Amer. Soc. Agron.** 38: 95-97.
- MOH, Z.C.; T.W. LAMBE & A. MICHAELS, 1962. Improvement of soil-cement with chemical additives. **Highway Res. Board B.** 309: 57-76.
- RUFF, C.G. & D.T. DAVIDSON, 1961. Lime and sodium silicate stabilization of montmorillonite clay soil. **Highway Res. Board B.** 304: 76-92.
- SHERWOOD, L.V. & J.C. ENGIBOUS, 1953. Status report on soil conditioning chemicals. II. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 17: 9-16.
- SINGH, R., 1955. A review on the use of synthetic soil conditioners. **Sci. and Cult.** 20(10): 483-486.
- SLATER, C.S., 1953. Soil conditioners in soil conservation. **Agric. Engng.** 34(2): 98, 100, 102.