

Fatores que Afetam a Impermeabilização da Superfície dos Solos, Causada pelos Impactos dos Pingos de Chuvas

ALBERTO DAKER (*)

A impermeabilização da capa superficial do solo representa um importante problema agrícola, pois ela influencia os fatores de erosão, de umidade do solo e de lençóis d'água.

Consiste essa impermeabilização na formação de uma tênue camada de solo compacto ("seal"), causada pelo impacto dos pingos de chuva sobre a superfície do terreno. Essa compacta camada superficial é menos permeável à água do que o material imediatamente abaixo. Como resultado disso, a infiltração d'água através do perfil do solo é reduzida, sendo aumentada a perda por erosão.

Em 1877, Wolhy, citado por Ellison e Slater (1), reconheceu que o impacto da água de chuva sobre um terreno exposto pode reduzir sua permeabilidade. Desde então numerosos investigadores têm trabalhado em várias fases do problema em aprêço.

Kidder, Stauffer e Van Doren (2) em seus experimentos para determinar o efeito de uma cobertura (mulch) de palha de soja, restos de milho e palha de trigo no aumento de infiltração de um solo barro limoso, concluíram que a infiltração diminuiu rapidamente durante os primeiros 15 minutos de chuva nos lotes que não receberam "mulch". A aplicação de chuva artificial com regadores próprios em solos desprovidos de "mulch" (superfícies expostas), fez com que os poros da superfície se fechassem, dando em resultado uma alta percentagem de água que se perdia e, consequentemente, uma maior erosão.

"Mulches" de palha e resíduos de soja e milho protegendo a superfície do solo e criando pequenos reservatórios d'água, reduzem grandemente a área da superfície do solo que é fechada (comprimida) pela ação dispersiva dos pingos de chuva.

(*) Engenheiro Agrônomo, M. S., professor de Hidráulica do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura da Universidade Rural do Estado de Minas Gerais.

Estudando o efeito de resíduos de culturas e outras coberturas vegetais quando conservadas na superfície do terreno, Stallings (3) chegou à conclusão de que sua principal função na diminuição da erosão não é que êstes impedem o fluxo superficial da água, mas sim, que a cobertura vegetal tem ação na absorção da energia dos pingos d'água e na proteção do solo contra o impacto direto da chuva.

Quando conservados na superfície dos solos, a cobertura vegetal reduz a energia da queda das gotículas d'água, eliminando, por conseguinte, a destrutiva ação das reações em cadeia que a queda da chuva ocasiona em solos expostos.

Duley (4) no seu trabalho sôbre os fatores superficiais que afetam a passagem d'água através do perfil dos solos, concluiu que a rápida diminuição da infiltração em solos expostos, quando sujeitos à chuva, é acompanhada pela formação de uma tênue camada superficial de solo compacto, através da qual a água só consegue passar muito vagarosamente. Essa camada é o resultado de severo distúrbio estrutural, devido, em parte, à ação direta da batida das gotículas d'água sôbre as partículas do solo e, em parte, devido à ação d'água que escorre sôbre a superfície, levando pequenas partículas que vão preencher os espaços vazios deixados pelas partículas maiores, formando uma camada superficial quase impermeável.

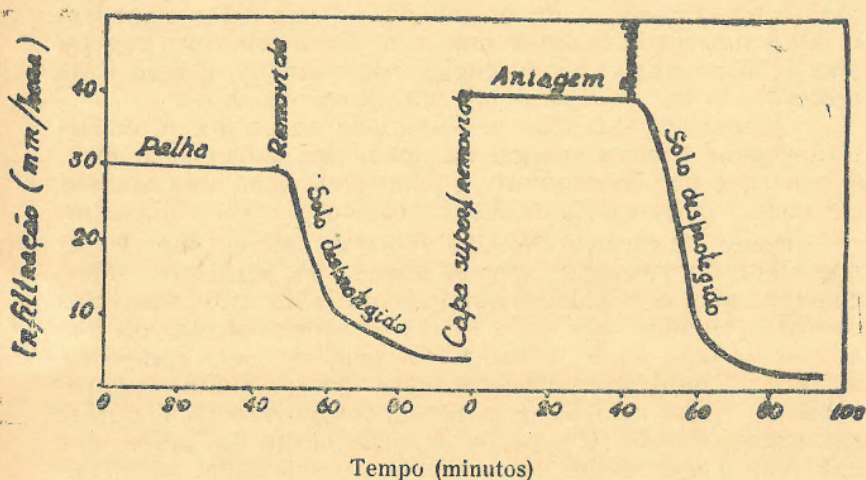
Duley (5) realizou testes de campo e de laboratório a fim de determinar a capacidade de infiltração num solo loessial. Os resultados indicaram que quando êsses solos estavam nús, a capa superficial impermeável era formada por ocasião das chuvas, reduzindo muito sua capacidade de infiltração, à semelhança do que acontece com outros solos. Da mesma maneira, a capacidade de infiltração pode ser muito aumentada cobrindo-se sua superfície com um "mulch" de palha.

Rapidez da Formação da Capa Impermeável

A fim de se determinar a rapidez com que os poros dos solos podem tornar-se saturados, numerosos estudos têm sido feitos, no laboratório e no campo, com um equipamento especial de aspersores de laboratório. Os tanques canteiros de laboratório eram de 40 x 180 cm.

Em um dos testes, um terreno limo-arenoso foi coberto com palha para protegê-lo do efeito dos pingos de chuva. O solo foi então aspergido por um período de cinco horas com uma rapidez superior à infiltração. Como se vê, pela primeira curva na Fig. 1, a rapidez de infiltração, finalmente, se tornou quase constante, com aproximadamente 30 mm/hora.

Fig. 1 — Efeito da remoção da proteção superficial na capacidade de infiltração de água pelo solo.



As duas curvas mostram o efeito da chuva sobre a capacidade de infiltração de água num solo limo-arenoso, quando o mesmo é protegido com palha ou aniagem e quando é desprotegido.

A palha foi depois removida, mas a aspersão continuou. Foi observado que a rapidez de infiltração, daí em diante, diminuiu rapidamente e depois de cerca de 30 minutos novamente se tornou quase constante, a uma velocidade grandemente reduzida de 6,25 mm/hora.

A camada superficial de 7,5 mm, que se tinha formado durante o 2º período de aspersão no solo desnudo, foi cuidadosamente removida, usando-se um garfo de mesa. O canteiro foi, então, coberto com aniagem para protegê-lo dos pingos de chuva e o processo de aspersão foi repetido. A rapidez de infiltração tornou-se então quase constante com 40 mm/hora, mostrando assim que o solo por baixo da camada delgada e compacta ainda estava em condições de permitir uma rápida penetração da água, ainda que completamente molhado, isto é, o encharcamento do solo, em si, não reduziu a rapidez do movimento da água a um ponto excessivamente baixo. Finalmente, sem interromper o processo de aspersão, a aniagem foi retirada e esta (aspersão) continuou. Depois de 20 a 30 minutos, a rapidez da absorção caiu novamente ao baixo nível anterior de cerca de 5 mm por hora. Nêsse teste a coluna de solo em estudo tinha 15

cm de espessura com drenagem por baixo. Tudo isto parece indicar, de modo definitivo, que a redução na velocidade da absorção é devida exclusivamente à mudança da tênue capa superficial do solo. Alguns trabalhos preliminares mostraram que esta camada compacta que se forma na superfície pode ser, não somente de maior peso específico do que o subsolo, mas, em muitos casos, contém uma percentagem mais alta de material grosso e mais baixa de matéria orgânica. Essas condições resultam do fato de que as partículas mais finas e a matéria orgânica entram em suspensão nas enxurradas superficiais e são arrastadas para baixo, deixando as partículas mais grossas e pesadas para traz. Este fenômeno pode ser facilmente observado quando se recolhe e se examina a água que corre na superfície. A formação da camada superficial compacta do solo não foi, por conseguinte, devido a um aumento de material fino na superfície mas, antes, pela estrutura compacta, formada pelo agrupamento de partículas menores em torno das maiores. Um grande número de outras experiências mostram que se a superfície é protegida por palha ou outros materiais, uma alta velocidade de absorção ou infiltração pode ser mantida por um período considerável.

Em conclusão, parece, pelos estudos realizados, que o principal problema concernente à infiltração de água é a condição da camada superficial e as condições que podem provocar mudanças superficiais. Tanto quanto os estudos provam, a fina camada compacta que se forma na superfície dos solos desnudos durante as chuvas têm um efeito maior sobre a absorção de água do que o tipo de solo, declividade, teor de umidade ou as características do perfil.

Para se manter uma alta velocidade de absorção de água pelo solo, precisa-se ter certeza de que a camada superficial esteja em condições de absorver água rapidamente. Na prática isto pode ser realizado mantendo-se o solo coberto com uma camada de matéria orgânica.

Experimentos Relatados por Ellison e Slater (1)

Os estudos sobre a impermeabilização da superfície, descritos nos trabalhos de Ellison e Slater (1), são baseados em experimentos onde foram aplicadas chuvas de intensidades variáveis à superfície do solo. Mediu-se a infiltração e calculado o solo carregado pela água "respingada".

Quatro tipos de solos foram empregados neste estudo.

e as diferenças na sua textura e agregação são mostradas pelas análises dadas nas Tabelas I e II.

TABELA I — Análise mecânica dos solos

Solo (nº)	2 a 0,05 mm	0,05 a 0,005 mm	0,0005 a 0,0002 mm	Menos que 0,0002 mm
	(%)	(%)	(%)	(%)
I	27,3	48,8	9,7	14,2
II	18,6	57,4	12,5	11,5
III	19,8	55,7	12,3	12,2
IV	29,3	54,4	10,3	6,0

TABELA II — Análise de agregados dos solos

Solo (nº)	MAIOR QUE 2 mm	2 a 1 mm	1 a 0,5 mm	0,5 a 0,25 mm	0,25 a 0,105 mm	Menos que 0,105 mm
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
I	7,3	8,0	7,9	8,0	13,1	55,7
II	1,1	17,9	20,5	13,9	13,5	33,1
III	23,7	19,5	16,0	11,2	10,0	19,6
IV	14,6	16,2	18,8	16,4	14,5	19,5

Os resultados dos testes de infiltração foram representados na Tabela III, referentes aos quatro solos mencionados nas Tabelas I e II.

Estes dados incluem observações para diferentes períodos de duração de chuva artificial, para cada um dos quatro tipos de solos, usando-se diferentes tamanhos e velocidades de pingos de chuvas e diferentes intensidades das mesmas.

TABELA III — Sumário dos dados de infiltração

Teste (No)	Solo (No)	Velocidade de queda (m/seg)	Diâmetro dos pingos (mm)	Intensidade da chuva (mm/h)	Capacidade de infiltração em :				Solo disper- so = E (Calculado em gramas)
					5 min.	15 min.	30 min.	60 min.	
1	II	0,00	5,1	165,0	101,6	94,0	86,4	78,7	0,0
2	II	0,00	5,1	170,2	88,9	81,3	76,0	71,1	0,0
3	II	3,06	5,1	162,6	45,7	17,8	15,2	15,2	34,1
4	III	6,12	5,1	147,3	35,6	0,0			643,0
5	III	0,00	5,1	172,7				170,2	0,0
6	III	0,93	5,1	109,2				66,0	0,2
7	III	0,93	5,1	175,3	144,8	116,8	88,9	68,6	0,2
8	III	0,93	5,1	289,6	104,9	109,2	88,9	76,0	0,3
9	III	0,93	3,5	111,8		106,7	88,9	68,6	0,1
10	III	0,93	3,5	167,6		129,5	96,5	71,1	0,1
11	III	1,83	5,1	165,1	124,5	68,6	53,3	50,4	3,7
12	III	3,06	5,1	83,8		35,6	25,4	20,3	22,0
13	III	3,06	5,1	119,4	81,3	38,1	27,9	25,4	28,0
14	III	3,06	5,1	119,4	91,4	38,1	27,9	25,4	28,0
15	III	3,06	5,1	170,2	50,8	25,4	17,8		35,0
16	III	3,06	5,1	176,3	53,4	33,0	30,5		36,0
17	III	3,06	5,1	307,3	88,9	38,1	30,5		52,0
18	III	3,06	3,5	119,4	86,4	35,6			19,0
19	III	3,06	3,5	172,7	66,0	40,6			24,0
20	III	3,06	3,5	172,7	17,8	7,6	35,6	33,0	24,0
21	IV	6,12	5,1	165,1					692,0
22	IV	0,00	5,1	167,6	165,1	162,5	160,0	154,9	0,0
23	IV	0,93	5,1	162,6	160,0	132,0	111,8	94,0	0,2
24	IV	3,06	5,1	165,1	91,4	53,3	45,7		34,0
25	IV	6,12	5,1	165,1	38,1	17,8	17,8		733,0
26	I	0,00	5,1	175,3	61,0	58,4	55,8	50,8	0,0
27	I	0,93	5,1	170,2	55,9	40,6	35,6	33,0	0,2
28	I	0,93	5,1	177,8	50,8	40,6	35,6	30,5	0,2
29	I	3,06	5,1	172,7	35,6	5,1	0,2		36,0

A quantidade de solo transportada pelo respingo das gotas de chuva, representada pela letra E na Tabela III, foi determinada pela fórmula de erosão por respingo que é: $E = KV^{4,33} d^{1,07} I^{0,65}$, onde "K" é uma constante, "V" é a velocidade dos pingos de chuva em pés/seg, "d" é o diâmetro dos pingos de chuva em mm e "I" é igual à intensidade de precipitação em polegadas/hora. Esta fórmula foi obtida experimentalmente, empregando-se um solo barro limoso eroso, o qual era semelhante aos solos I e II. Para se determinar a possibilidade de aplicação da fórmula ao solo IV, foram feitos, mais tarde, três idênticos testes nesse solo e os resultados foram iguais aos obtidos pela fórmula.

Efeitos da Duração da Chuva sobre a Impermeabilização da Superfície

Os dados do quadro 3 mostram que, quando $E = 0$, um pequeno grau de impermeabilização da superfície ocorre nos 4 tipos de solos estudados, sem que haja impacto dos pingos de chuva.

Isto é mostrado pelos testes 1, 2, 22 e 26. Esta impermeabilização está relacionada com os efeitos de encharcamento, de dispersão e com o arranjo das partículas superficiais do solo, sob a influência da água superficial. A capacidade de infiltração diminui lenta e uniformemente durante um longo período.

Grandes reduções na velocidade de infiltração, como mostram os testes 4, 21 e 25, estavam invariavelmente relacionadas com os maiores valores de E.

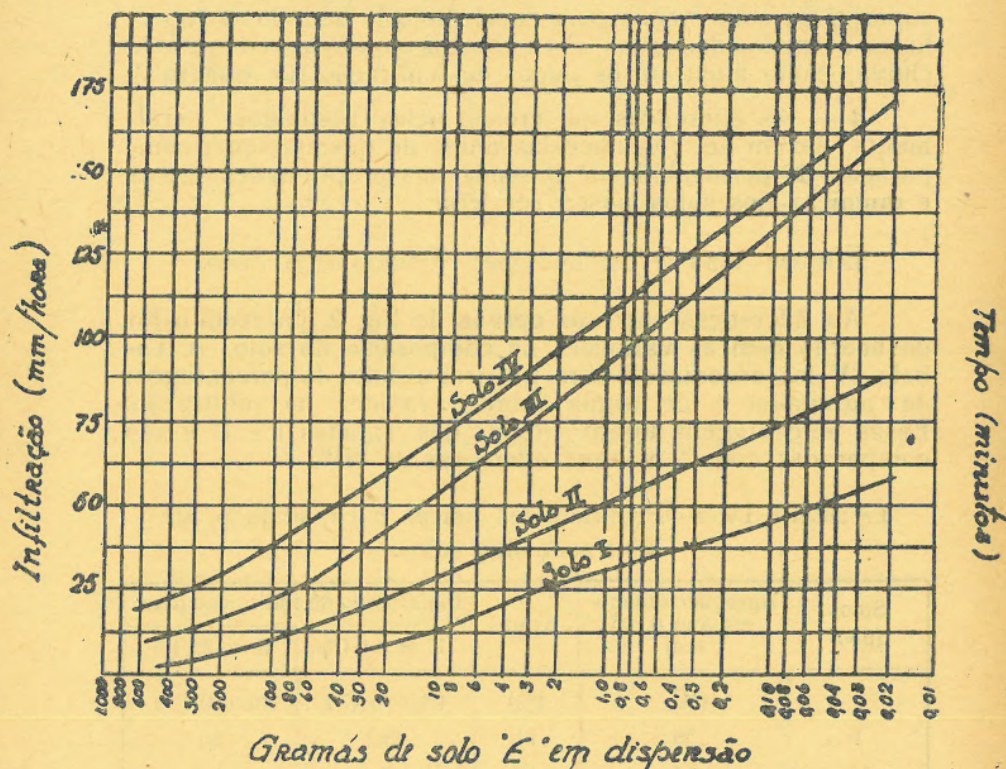
Aqui, os graus de impermeabilização foram os maiores, no começo da tempestade, e uma grande parte da impermeabilização ocorreu durante os primeiros cinco minutos da chuva. Desde que o grau de impermeabilização da superfície do solo varia com a duração e com o impacto dos pingos de chuva, é importante que as diferenças, em períodos de tempo, sejam consideradas em estudos dos dados.

Efeitos dos Respingos das Gotas de Chuva

Os valores calculados para o solo carregado pelo respingo das gotas de chuva foram confrontados com as velocidades de infiltração observadas, a fim de se verificar o efeito geral de "E" sobre as velocidades de infiltração. De-

pois de se fazer gráficos para todos os períodos, uma curva suave foi desenhada para cada tipo de solo por meio de vários grupos de pontos. As curvas foram determinadas gráficamente e os resultados aparecem na Fig. 2. Estes resultados

Fig. 2 — Curvas médias para todos os períodos de tempo, mostrando a relação entre a dispersão dos solos "E", causada pelo impacto dos pingos de chuva, e a infiltração.



permitem tirar quatro conclusões, as quais, resumidamente, são:

1 — As velocidades de infiltração são altamente sensíveis às mudanças em "E" (quantidade de solo transportada pelos respingos das gotas de chuva). As baixas velocidades de infiltração estão relacionadas com os elevados valores de "E".

2 — As relações de "E" com a infiltração são diferentes para cada um dos quatro solos usados na experiência,

mostrando assim que as propriedades dos solos têm uma função importante no processo de impermeabilização.

3 — As capacidades de infiltração destes quatro solos, ainda que muito diferentes quando "E" é muito pequeno, vão se tornando quase iguais à medida que se aproximam de zero, com valores crescentes de "E".

Isto mostra que o solo mais permeável testado neste trabalho (solo IV) terá uma capacidade de infiltração pouco superior ao solo menos permeável (solo I) quando as superfícies desnudas de ambos são expostas ao impacto de pesada chuva, como mostram os dados de infiltração no quadro 3.

4 — As diferenças na erosão pelos respingos, geralmente, devem ser reconhecidas antes de que qualquer comparação de permeabilidade baseada nas propriedades físicas e químicas dos solos possa ser feita.

Efeitos das Propriedades Físicas dos Solos

As diferenças entre as curvas da Fig. 2, parecem estar de acordo com as variações na composição do solo. A Tabela IV foi organizada para mostrar o efeito da percentagem de agregados e de argila sobre a rapidez de infiltração. Essas percentagens foram tiradas das Tabelas I e II e são comparadas com 2 valores diferentes de "E".

TABELA IV — Propriedades físicas e capacidade de infiltração dos solos.

Solos (nos)	Agregados menores que 0,105 mm	Argila	Capacidade de infiltração para:	
			E = 0,1 (*)	E = 35 (*)
	(%)	(%)	(mm/h) (**)	(mm/h) (**)
I	56	14	43,2	5,1
II	33	12	71,1	17,8
III	20	12	132,0	35,6
IV	20	6	144,8	53,1

(*) A quantidade de solo disperso é função do tempo, sendo que os valores de "E", nesta tabela, foram baseados na média do intervalo de 30 minutos.

(**) A capacidade de infiltração é representada pela média de todos os intervalos de tempo mostrados na Tab. III. Essa média é de 25 a 30 minutos para cada teste.

O exame da Tabela IV revela que a permeabilidade da crosta superficial, expressa em termos de velocidade de infiltração, é muito sensível às percentagens de pequenos agregados e de argila nos solos. Para cada diminuição no teor de argila do solo, pode ser observado um aumento correspondente em permeabilidade, em qualquer nível de "E". Os dois solos (II e III), tendo o mesmo teor de argila, apresentaram permeabilidades diferentes, o que reflete o efeito de variações em agregados dos 2 solos. Do mesmo modo, os dois que têm a mesma percentagem de agregados, mostram permeabilidades diferentes de acordo com o teor de argila.

Supõe-se que, aumentando o número de partículas dispersas de argila, diminuiria a permeabilidade da crosta formada. Todavia, a simples presença de grandes quantidades de argila em qualquer destes solos não garante uma crosta superficial altamente impermeável.

Há algumas indicações de que uma alta percentagem de agregados grandes, de mais de 1 mm, pode ter função importante no processo de infiltração quando "E" é muito pequeno, o que é mostrado na Fig. 2, onde as curvas para os solos III e IV convergem para os valores mais baixos de "E". O solo III tem 43,2% de agregados maiores do que 1 mm e o solo IV tem apenas 30,8% destes agregados (Ver a Tabela II). Provavelmente, estes agregados grandes não são soltos por um impacto leve, permanecendo as partículas de argila presas a eles. Nestas condições, a velocidade de infiltração não deve desviar muito da capacidade normal de percolação do solo.

Pode-se concluir que as quatro variáveis: (a) duração da precipitação; (b) solo transportado pelos respingos das gotas de chuva; (c) percentagem de agregados e (d) teor de argila do solo, são os fatores principais que influenciam na velocidade de infiltração. Outras propriedades dos solos podem ter algum efeito sobre a impermeabilização de sua superfície, embora os seus efeitos não tenham sido marcantes nêstes testes. Os quatro solos usados nêstes estudos eram muito semelhantes para que pudessem aparecer os efeitos de todas as diferentes propriedades dos solos, as quais possivelmente têm alguma influência na impermeabilização da superfície. Descobriu-se, porém, que o teor de argila e de pequenos agregados têm um efeito tão importante que parece ser evidente a função de relêvo que eles têm em todos os processos de impermeabilização da superfície dos solos.

REFERÊNCIAS

- (1) Ellison, W. D., e Slater, C. S.
Factors that Affect Surface Sealing and Infiltration of Exposed Soil Surfaces. Agr. Eng. Vol. 26, N° 4, pp. 156-157. Abril. 1945.
- (2) Kidder, E. H., Stauffer, R. S., e Van Doren, C. A.
Effect on Infiltration of Surface Mulches of Soybean Residues, Corn Stover, and Wheat Straw. Agr. Eng. Vol. 24, N° 5, pp. 155-159.
- (3) Stallings, J. H.
Keep Crop Residues on the Surface of the ground. U.S.D. A. Soil Conservation Service. SCS-TP-80 — May. 1949.
- (4) Duley, F. L.
Surface Factors Affecting the Rate of Intake of Water by Soils. Soil Science Soc. Amer. Proc. 4. 60-64. 1939.
- (5) Duley, F. L.
Infiltration into Loess Soil. Am. Jour. of Sci., Vol. 243, May. 1945, pp. 279-282.