

Março e Abril de 1983

VOL. XXX**N.º 168**

Viçosa — Minas Gerais

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**INFLUÊNCIA DE SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO NO FLUXO GASOSO¹⁾**

Bairon Fernandes ²⁾
Harry M. Galloway ³⁾
Roy D. Bronson ³⁾
Jerry V. Mannering ³⁾

1. INTRODUÇÃO

A permeabilidade do solo ao ar é um parâmetro que indica a capacidade do solo para transmitir gases, quando há diferença de pressão entre dois pontos. A quantidade, o tamanho e a continuidade dos poros livres d'água determinarão a eficiência da movimentação desses gases.

A difusão é considerada o principal processo que governa a aeração do solo (7, 13). Sendo assim, o conhecimento da relação entre a porosidade e a taxa de difusão poderá ser importante para que se possa entender melhor a influência dos sistemas de manejo do solo no crescimento vegetal.

Extensivas investigações das relações existentes entre a difusão de gases através de um meio poroso (D), o coeficiente de difusão do gás no ar (D_o) e a porosidade livre de água (S) têm sido matéria de estudo de vários pesquisadores. Diferentes gases, como, por exemplo, dióxido de carbono, oxigênio, dissulfeto de carbono, acetona e vapor de álcool, têm sido usados como material de difusão em diferentes meios porosos inertes, bem como em solos com diferentes estádios de agregação. As medições

¹⁾ Parte da tese de Ph.D. apresentada pelo primeiro autor à Purdue University, West Lafayette.

Recebido para publicação em 28-10-1982.

²⁾ Departamento de Solos da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

³⁾ Agronomy Department, Purdue University, W. Lafayette, Indiana, 47907 — USA.

têm sido feitas por técnicas em que se usam gradientes de concentração constante ou variável. A porosidade estudada tem-se mantido entre 10% e 60%. Vários estudos foram sumariados por BAKKER e HIDDING (1).

Teoricamente, a taxa de difusão, em equilíbrio dinâmico, através de um sólido é expressa pela equação (2)

$$\frac{dq}{dt} = \frac{D}{B} \cdot A \cdot \frac{P_1 - P_2}{l}$$

na qual dq/dt representa a taxa de difusão; A, a área da secção transversal do sólido; D, a constante de difusão; l, o comprimento do sólido; B, uma constante de proporcionalidade e P_1 e P_2 a pressão parcial do vapor em cada lado do comprimento do sólido.

Todavia, caso se considere a área efetiva da secção transversal para a difusão, bem como a distância real que a molécula deve percorrer, a equação será (2)

$$\frac{dq}{dt} = \frac{D_o}{B} \cdot A \cdot S \cdot \frac{P_1 - P_2}{l_e},$$

em que D_o representa o coeficiente de difusão do gás no ar, S a porosidade livre de água e l_e a distância efetiva de caminhamento da molécula através do sólido.

Desse modo, comparando as duas equações, tem-se

$$D = D_o S \frac{1}{l_e} \quad \text{ou} \quad \frac{D}{D_o} = S \frac{1}{l_e}$$

Verifica-se, pois, que o valor da relação $1/l_e$ expressa o grau de facilidade com que um gás vai movimentar-se de um ponto para o outro do solo, em condições específicas.

Vários dos valores da relação D/D_o encontrados por diferentes pesquisadores foram: PENMAN (10), $D/D_o = 0,66 S$; BLAKE e PAGE (4), $D/D_o = 1,3 S$, para o solo Paulding, e $D/D_o = 0,71 S$, para o solo Brookston; VAN BAVEL (15), $D/D_o = 0,60 S$; WESSELING (16), $D/D_o = 0,90 S - 0,1$. BERTRAND e KOHNKE (3) e GRABLE e SIEMER (6) encontraram que $D/D_o = 0,02$ começava a ser valor crítico para o alongamento do sistema radicular do milho (*Zea mays L.*). O valor dessa relação tem sido independente do tipo de gás utilizado (10), bem como do método de molhamento ou drenagem (12).

A relação entre fluxo e porosidade livre de água tem sido, em vários casos, linear. Todavia, DE VRIES (5) mostra que poderá ser não-linear, exceto como primeira aproximação de um intervalo de porosidade. O desvio da linearidade poderá ser atribuído, parcialmente, à forma, ao tamanho e ao arranjo das partículas. Quanto maior for o afastamento da geometria esférica, mais curvilínea será a relação.

A taxa de difusão, geralmente, chega ao valor zero, quando o valor de S é maior que zero (4, 11, 14). Por essa razão, tem sido sugerido que a porosidade de arejamento deva ser mantida num valor acima de 10%, a fim de evitar possíveis problemas para o desenvolvimento vegetal (3, 6, 9, 17).

Admitindo que o manejo do solo poderá alterar a geometria dos poros, este trabalho teve como principal objetivo estudar a influência de três sistemas de manejo, utilizados durante sete anos consecutivos, na cultura do milho, no fluxo gasoso de dois solos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Solos: As amostras foram coletadas em dois solos. O solo pertencente à série «Runnymede loam» (Typic Argiaquoll) apresenta relevo plano, drenagem deficiente e lençol freático elevado. O pertencente à série «Tracy sandy loam» (Typic Hapludalf) apresenta boa drenagem interna, relevo ligeiramente plano e elevado teor de areia.

Sistemas de manejo: As amostras foram coletadas nos seguintes sistemas:

a) *Convencional*: a aradura era feita com arado de aiveca, regulado para trabalhar à profundidade aproximada de 20 cm, seguida de duas gradagens. O plantio era feito em operação separada.

b) «*Chisel*»: o arado de aiveca era substituído pelo «chisel», com as pontas espaçadas entre si de 37 cm e reguladas para trabalhar a uma profundidade aproximada de 20 cm. A aradura era feita logo após a colheita. Na época do plantio, as pontas eram trocadas por ancinhos, que trabalhavam na frente da plantadeira, preparando uma faixa com profundidade aproximada de 5 a 10 cm. Não era utilizada a gradagem.

c) «*Coulter*»: não se usavam nem aradura nem gradagem. A faixa de plantio era preparada por intermédio de um disco corrugado, colocado na frente da plantadeira. Essa faixa tinha aproximadamente 7 cm de profundidade e 6 cm de largura. Todos os anos, o plantio era repetido na mesma faixa.

Amostragem: Os solos foram amostrados até a profundidade de 50 cm, dentro de um tubo de PVC, usando-se, para isso, um método semelhante ao descrito por MIELKE (8). A amostragem foi feita antes das operações que antecediam o plantio, entre as fileiras do plantio anterior. No sistema «Coulter», foram tomadas amostras nas faixas trafegadas e não trafegadas pela maquinaria.

No laboratório, os tubos foram seccionados em segmentos de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm de tamanho, a partir da superfície do solo. As medições foram realizadas nesses segmentos.

Medição: A taxa de movimentação gasosa através da amostra, com estrutura indeformada, foi medida por método similar ao usado por PENMAN (10). O tubo com a amostra foi selado sobre um reservatório que continha éter etílico, e o peso do conjunto foi medido periodicamente. Na ausência de uma troca no teor de umidade, a perda de peso do conjunto representava a quantidade de vapor de éter que se tinha movimentado através da coluna de solo.

A primeira medida foi feita aproximadamente 24 horas após a montagem do conjunto, para permitir o equilíbrio dinâmico («steady-state»). A seguir, fizeram-se mais oito medições, durante um período de 46 horas. O experimento foi conduzido dentro de uma câmara com umidade relativa de $75 \pm 5\%$, para manter a evaporação da água a taxa insignificante. A temperatura ambiente era de $20 \pm 2^\circ C$.

Para ter uma idéia da quantidade de água que poderia ser perdida por evaporação, foram feitas curvas de calibração para cada amostra, antes do uso do éter, medindo-se, também, o potencial de evaporação da água livre. Desse modo, os dados experimentais poderiam ser ajustados às perdas d'água, caso fosse necessário.

O movimento de vapor do éter através da coluna de solo (D) foi calculado pelas equações

$$\frac{dI}{dt} = \frac{D}{B} \cdot P_a \ln \left| \frac{(P_a - P_{vp})/P_a}{1} \right| \quad (\text{Eq. I})$$

$$\frac{dq}{dt} = \frac{D}{B} \cdot \frac{P_{vp}}{1} \quad (\text{Eq. II})$$

em que

dq/dt = fluxo de vapor, em $\text{g}/\text{cm}^2/\text{seg}$.

- Pa = pressão barométrica, em mm Hg.
 Pvp = pressão de vapor saturado, em mm Hg.
 l = comprimento da coluna, em cm.
 B = $R_v T$, em mm Hg. cc/g.
 Rv = constante dos gases, em mm Hg. cc/ $^{\circ}$ K/g.
 T = temperatura absoluta, em $^{\circ}$ K.
 | cc significa cc do meio poroso,
 o que faz R_v inversamente proporcional à porosidade, outros fatores
 permanecendo constantes (15).

A Equação I foi proposta por VAN BADEL (15) e a Equação II, usada por vários dos pesquisadores anteriormente citados, é geralmente conhecida como equação de Fick.

O fluxo gasoso foi medido em três níveis de umidade das amostras, expressos pelos potenciais matriciais de -0,1, -5 e -15 bars.

Procedimento estatístico — Os experimentos de campo, dos quais as amostras foram coletadas, tinham delineamento experimental em blocos casualizados, com 4 repetições, tendo sido coletada uma amostra por parcela, em 3 profundidades. Para a análise de variância dos dados, utilizou-se um «split plot» para o efeito de profundidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação da perda de éter, como uma indicação do movimento gasoso, nos três estádios de umidade pode ser vista no Quadro 1. O efeito de solo foi estatisticamente significante ($P < 0,05$) somente para o potencial matricial de -15 bars. A profundidade mostrou efeito altamente significante ($P < 0,01$) para todos os potenciais estudados. O efeito da interação solo x profundidade foi significante ($P < 0,05$) para -5 e -15 bars.

Na profundidade de 0 a 10 cm, com potencial matricial de -0,1 bar, o «chisel» apresentou taxa de movimentação três vezes superior à do sistema convencional e nove vezes superior à do «coulter», no solo Tracy. Entretanto, no solo Runnymede, a taxa foi apenas 1,4 e 2,0 vezes superior, quando comparado com o convencional e com o «coulter», respectivamente. As diferenças decresceram com o aumento do potencial matricial. Todavia, o valor numérico dependeu do solo, ocorrendo uma redução mais acentuada no Tracy, com o uso do sistema «coulter».

Nenhum movimento gasoso foi detectado quando a porosidade livre de água atingiu valores abaixo de 12%. Foi essa a razão para a não perda de vapor de éter às profundidades de 10 a 20 e 20 a 30 cm, quando o potencial matricial era de -0,1 bar.

Na profundidade de 20 a 30 cm, os resultados foram bastante próximos num e outro solo. Isso pode ter refletido o efeito das condições naturais do solo, que não foram alteradas pelos sistemas.

Considerando que o movimento gasoso tem mostrado boa correlação com a porosidade livre de água, a relação entre potencial matricial e movimento gasoso é de alcance limitado, uma vez que o efeito da porosidade não pode ser claramente visualizado. Para solucionar esse problema, foi feita uma regressão linear simples, considerando a porosidade livre de água e o fluxo de vapor de éter. Em razão de o sistema de manejo não ter apresentado teste de «F» significante, somente o parâmetro solo foi considerado na regressão mostrada na Figura 1. Os coeficientes da regressão foram altamente significantes ($P < 0,01$), 0,96 para o solo Tracy e 0,90 para o solo Runnymede. Sendo assim, a porosidade livre de água explica 92% e 81% da variabilidade

QUADRO 1 - Fluxo de vapor de éter, $\text{mg.cm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, considerando o sistema de manejo e o potencial matricial, em três profundidades dos solos Tracy e Runnymede

Sistema	Profundidade (cm)	Tracy			Runnymede		
		- 0,1	- 5	- 15	Potencial matricial (bar)	- 0,1	- 5
Convenional	0 - 10	0,6	8,8	11,4	1,1	8,8	9,5
	10 - 20	0	6,1	8,7	0	5,2	5,7
	20 - 30	0	6,4	9,7	0	4,3	7,1
"Chisel"	0 - 10	1,8	12,2	14,1	1,5	11,1	13,0
	10 - 20	0	8,5	9,9	0	5,5	8,1
	20 - 30	0	6,3	8,7	0	6,3	7,0
"Coulter"	0 - 10	0,2	8,4	9,9	0,7	5,9	7,7
	10 - 20	0	6,5	8,6	0	5,9	6,9
	20 - 30	0	7,8	9,6	0	5,6	7,2

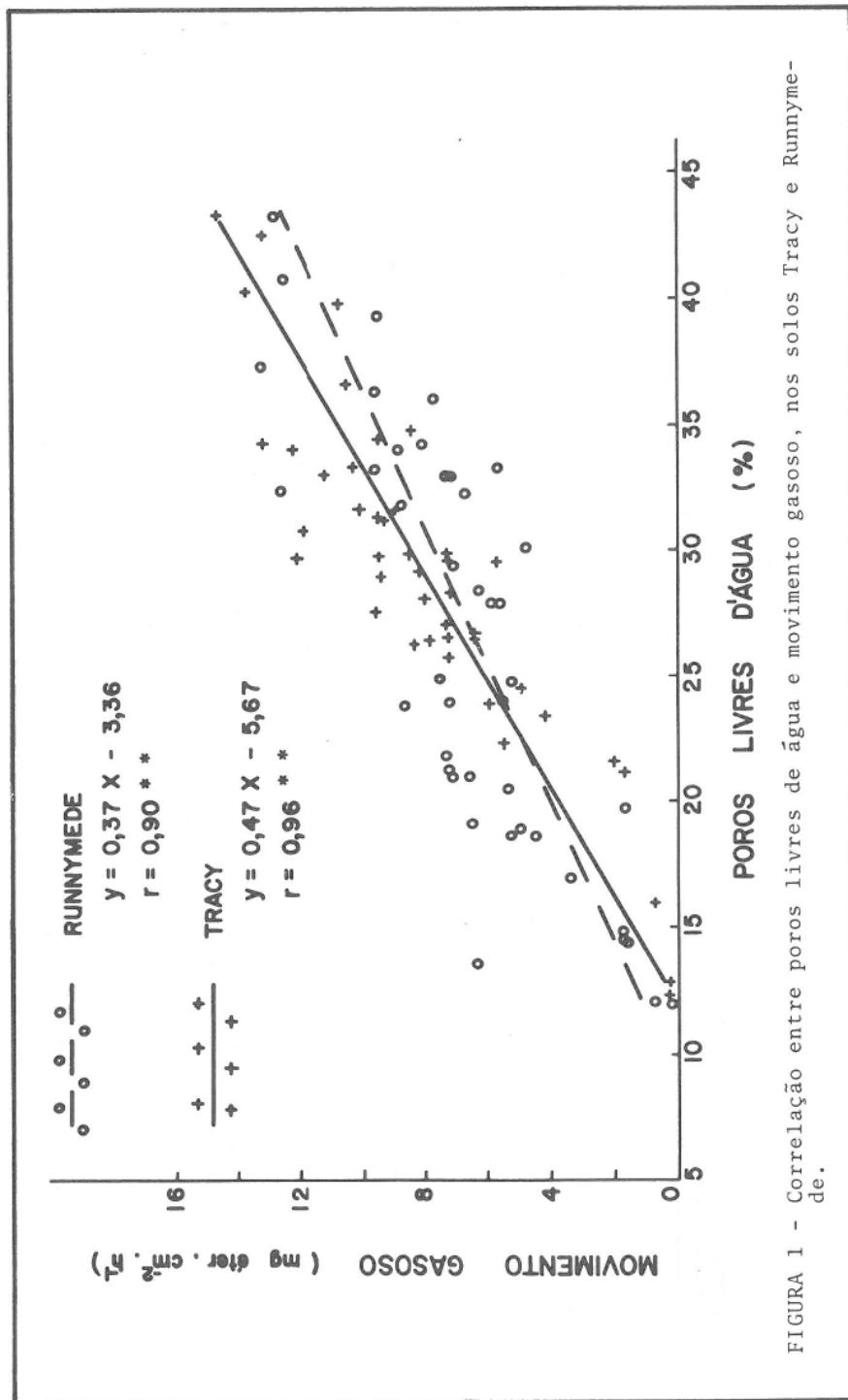


FIGURA 1 - Correlação entre poros livres de água e movimento gasoso, nos solos Tracy e Runnymede.

do fluxo de vapor de éter ocorrida nos solos Tracy e Runnymede, respectivamente, sendo o declive da reta mais acentuado no primeiro solo.

Levando em consideração que a análise de variância mostrou efeito altamente significativo ($P < 0,01$) de profundidade, a regressão foi desmembrada (Figuras 2 e 3). Verificou-se que, no solo Tracy, os valores de r^2 foram de 0,94, 0,96 e 0,94, para as profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, respectivamente. Para o solo Runnymede, de 0,92, 0,97 e 0,77, para as mesmas profundidades.

Uma vez que r^2 representa a quantidade do fluxo de vapor de éter que está relacionada com o espaço poroso livre de água, pode-se admitir que o efeito significante verificado na análise de variância represente o efeito diferencial das profundidades do solo Runnymede.

Provavelmente, a geometria dos poros, dada pelo arranjo natural, é o principal fator que influencia o movimento gasoso, nas profundidades estudadas, pelo bloqueamento parcial da continuidade dos poros livres da água, o que aumenta a tortuosidade do sistema.

Os resultados da relação D/Do, para um intervalo de S entre 13% e 43%, encontram-se no Quadro 2. Verifica-se que os valores da relação D/Do calculados pela equação proposta por VAN BAVEL (15) são inferiores aos calculados pela equação de Fick. Isso se deve ao fato de a equação de Van Bavel considerar somente o efeito da difusão gasosa, enquanto a outra equação, do modo como foi utilizada, mede o transporte do vapor devido à difusão e ao fluxo da mistura (15).

Os valores médios da razão D/Do, quando D foi calculado pela Equação I, foram de 0,25 e 0,28, para os solos Runnymede e Tracy, respectivamente. Esses valores são inferiores ao encontrado por VAN BAVEL (15), que trabalhou com meio poroso artificial. Entretanto, a diferença entre esses valores e o do citado autor poderá representar o efeito da tortuosidade do sistema poroso, resultante do arranjo interno das partículas primárias e secundárias do solo.

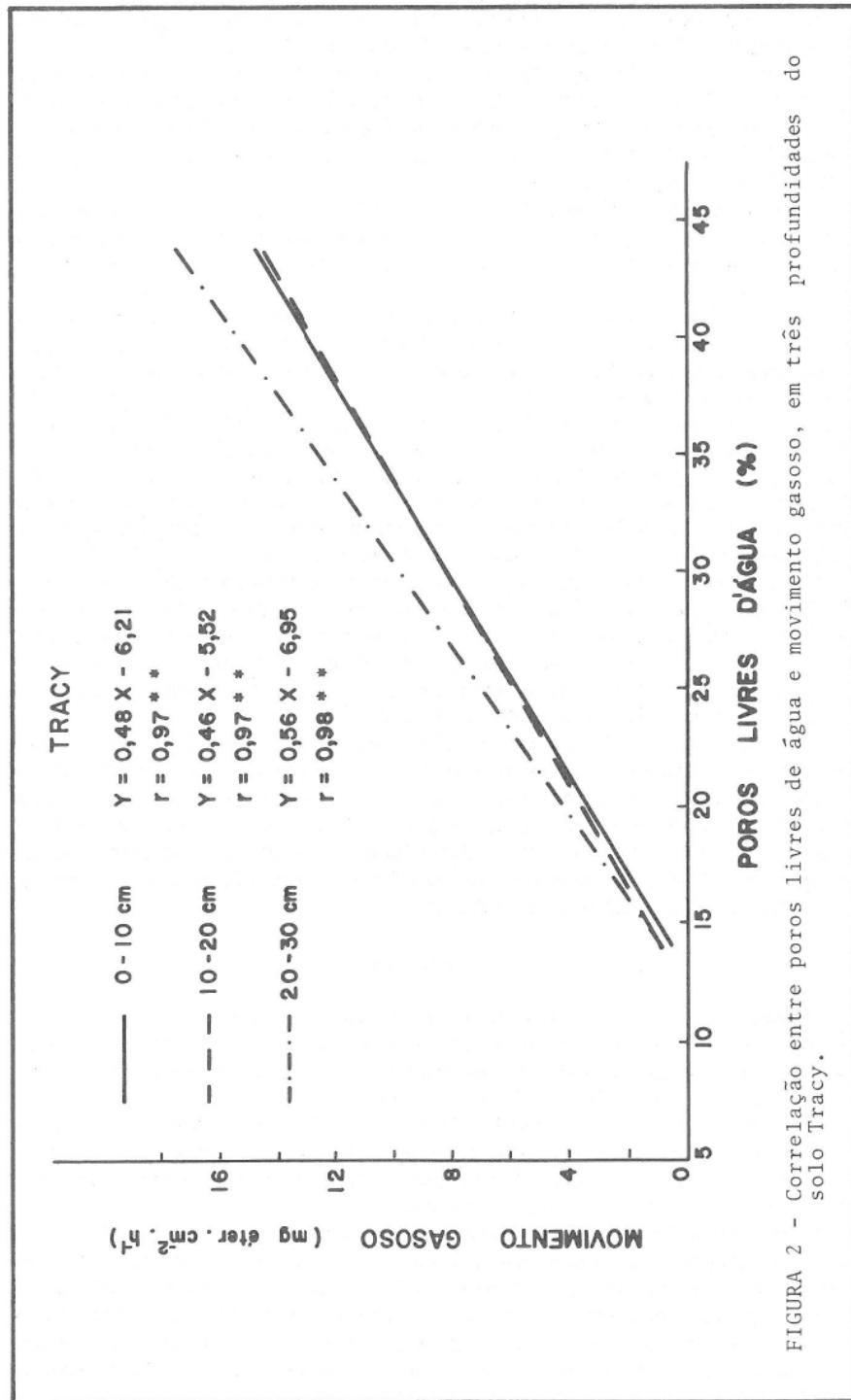
Quando a Equação II foi usada, os valores médios da razão D/Do foram de 0,39 e 0,44, para Runnymede e Tracy, respectivamente. Esses valores são também inferiores aos encontrados por alguns pesquisadores (4, 10, 16), com o emprego da mesma equação. Porém, deve-se ressaltar que eles trabalharam com meio poroso artificial ou com solo sem estrutura natural. Entretanto, os resultados experimentais de BLAKE e PAGE (4), que trabalharam em condições naturais de campo, mostram valores inferiores aos obtidos neste trabalho.

4. RESUMO

O estudo foi realizado em amostras com estrutura não deformada, vindas de três sistemas de manejo que estavam sendo testados havia sete anos consecutivos, na cultura do milho, nos solos «Runnymede loam» e «Tracy sandy loam», amostrados às profundidades de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm.

A perda de vapor de éter foi utilizada como medida da capacidade dos solos para transmitir gás. O sistema empregado para medir o fluxo gasoso foi semelhante ao usado por PENMAN (10). As medições foram feitas nas amostras submetidas a potenciais matriciais de -0,1, -5,0 e -15,0 bars.

Para a mesma profundidade e mesmo potencial matricial, os sistemas de manejo não diferiram estatisticamente, a 5%. Os efeitos nos solos acentuaram-se com o decréscimo do potencial matricial, apresentando-se estatisticamente diferentes a -15 bars. A regressão linear entre o fluxo gasoso e a porosidade livre de água apresentou coeficiente altamente significativo para os dois solos. Os valores médios da razão D/Do variaram conforme o solo e maneira de calcular D, sendo, entretanto, sempre mais baixos no solo Runnymede, em qualquer situação.



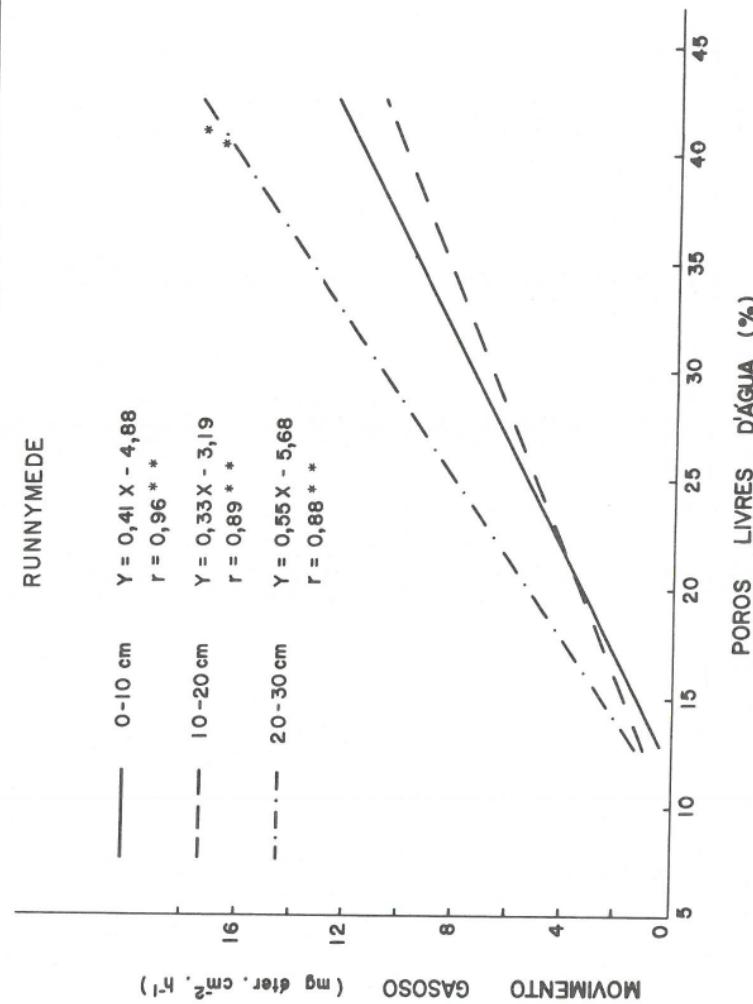


FIGURA 3 - Correlação entre poros livres de água e movimento gasoso, em três profundidades do solo Runnymede.

QUADRO 2 - Razão D/Do, considerando a porosidade livre d'água (s) e o sistema de manejo, em três profundidades dos solos Tracy e Runnymede

Sistema	Profundidade (cm)	Tracy				Runnymede			
		S		D/Do		S		D/Do	
		EQ. - I	EQ. - II	EQ. - I	EQ. - II	EQ. - I	EQ. - II	EQ. - I	EQ. - II
Convenциonal	0 - 10	13,4	0,081	0,128	14,1	0,044	0,065	0,253	0,417
	"	32,8	0,221	0,389	33,0	0,253	0,425	0,425	0,610
	37,7	0,296	0,443	35,2	0,206	0,338	0,338	0,369	0,531
	21,7	0,200	0,353	28,0	0,369	0,404	0,404	0,312	0,496
	25,8	0,261	0,390	30,5	0,369	0,452	0,452	0,583	0,649
	20 - 30	17,7	0,312	24,4	0,246	0,392	0,392	0,389	0,563
"Chisel"	"	21,4	0,389	27,6	0,392	0,392	0,392	0,369	0,563
	0 - 10	17,0	0,092	0,145	21,4	0,101	0,151	0,275	0,476
	"	36,9	0,244	0,431	40,1	0,275	0,428	0,428	0,615
	"	40,2	0,381	0,571	42,8	0,269	0,441	0,382	0,548
	10 - 20	26,9	0,175	0,308	29,9	0,234	0,384	0,316	0,557
	"	29,6	0,336	0,503	33,8	0,234	0,392	0,369	0,563
"Coulter"	20 - 30	17,2	0,316	24,7	0,246	0,392	0,392	0,369	0,563
	"	22,4	0,369	0,553	28,8	0,392	0,392	0,369	0,563
	0 - 10	14,7	0,104	0,165	12,4	0,028	0,042	0,276	0,454
	"	29,7	0,164	0,289	28,5	0,408	0,587	0,408	0,587
	"	33,5	0,268	0,401	31,4	0,228	0,375	0,375	0,530
	10 - 20	28,0	0,173	0,306	26,5	0,369	0,465	0,283	0,465
	"	32,6	0,248	0,372	30,1	0,283	0,465	0,423	0,601
	20 - 30	19,0	0,242	0,428	25,6	0,423	0,423	0,423	0,601
	"	25,9	0,325	0,486	29,6	0,423	0,423	0,423	0,601

5. SUMMARY

This study was carried out with core samples taken from a seven year study area of tillage systems for corn on two soil types. The soils were Runnymede loam (Typic Argiaquoll), a black, poorly-drained soil with a high water table; and, Tracy sandy loam (Typic Hapludalf), a well-drained soil. The three tillage systems studied were: conventional spring plowed; chisel plowed; and, coulter planted.

The soils were sampled with the Gidding soil coring machine in a system similar to that used by MIELKE (8). Samples were taken between rows, before spring farm field work. For the coulter system, the samples were taken between rows without wheel traffic. Three samples depths were considered in this study.

The chisel system had the highest rate of ether loss at the 0-10 cm depth and at the 10-20 cm depth, at all tensions used, except for 5 bar tension at the 10-20 cm on Runnymede loam where the coulter system had the highest value. The regression analysis between free pore space and gaseous movement rate had highly significant ($P < 0.01$) regression coefficients, being 0.96 on Tracy sandy loam and 0.90 on Runnymede loam. The average numerical values for D/Do ratios were lower than some values found by previous researchers working with artificially-packed materials.

6. LITERATURA CITADA

1. BAKKER, J.W. & HIDDING, A.P. The influence of soil structure and air content on gas diffusion in soils. *Neth. J. Agric. Sci.* 18:37-48. 1970.
2. BAVER, L.D., GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. *Soils Physics*. 4 th. ed. New York, John Wiley & Sons, 1972. 498 p.
3. BERTRAND, A.R. & KOHNKE, H. Subsoil conditions and their effects on oxygen supply and the growth of corn roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 21:135-140. 1957.
4. BLAKE, G.R. & PAGE, J.B. Direct measurement of gaseous diffusion in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 15:37-42. 1948.
5. DE VRIES, D.A. Some remarks on gaseous diffusion in soils. *Trans. 4 th. Intern. Congr. Soil Sci.* 2:41-43. 1950.
6. GRABLE, A.R. & SIEMER, E.G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials, and elongation of corn roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32:180-186. 1968.
7. KOHNKE, H. *Soil Physics*. New York, McGraw-Hill Book Co. 1968. 224 p.
8. MIELKE, L. Encasing undisturbed soil cores in plastic. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 37:325-326. 1973.
9. MILLER, R.D. & JOHNSON, D.D. The effect of soil moisture tension on carbon dioxide evolution, nitrification, and nitrogen mineralization. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28:644-647. 1964.
10. PENMAN, H.L. Gas and vapor movement in the soil. I — The diffusion of vapors through porous solids. *J. Agr. Sci.* 30:437-461. 1940.

11. RANEY, W.A. Field measurements of oxygen diffusion through soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 14:61-65. 1949.
12. SHEARER, R.C., MILLINGTON, R.J. & QUIRK, J.P. Oxygen diffusion through sands in relation to capillary hysteresis. *Soil Sci.* 101:361-365 e 432-436. 1966.
13. TALSMAN, T. & FLINT, S.E. Some factors determining the hydraulic conductivity of subsoils with special reference to tile drainage problems. *Soil Sci.* 85:198-206. 1958.
14. TAYLOR, G.S. & ABRAHAMS, J.H. A diffusion equilibrium method for obtaining soil gases under field conditions. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 17:201-206. 1952.
15. VAN BAVEL, C.H.M. Gaseous diffusion and porosity in porous media. *Soil Sci.* 73:91-104. 1952.
16. WESSELING, J. Some solutions of the steady-state diffusion of carbon dioxide through soils. *Neth. J. Agr. Sci.* 10:109-117. 1962.
17. WESSELING, J. & VAN WIJK, W.R. Soil physical conditions in relation to drain depth. In: LUTHIN, J.N. ed. *Drainage of agricultural lands*. Agron. 7. Madison, Am. Soc. Agron. 1957. p. 461-504.