



Ciência Rural

ISSN: 0103-8478

cienciarural@mail.ufsm.br

Universidade Federal de Santa Maria

Brasil

Klein, Vilson Antonio; Libardi, Paulo Leonel

Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um latossolo roxo

Ciência Rural, vol. 30, núm. 6, diciembre, 2000, pp. 959-964

Universidade Federal de Santa Maria

Santa Maria, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33113580006>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe , Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## FAIXA DE UMIDADE MENOS LIMITANTE AO CRESCIMENTO VEGETAL E SUA RELAÇÃO COM A DENSIDADE DO SOLO AO LONGO DO PERFIL DE UM LATOSSOLO ROXO

### THE LEAST LIMITING WATER RANGE AS RELATED TO THE SOIL BULK DENSITY ALONG THE SOIL PROFILE OF AN OXISOL

Vilson Antonio Klein<sup>1</sup> Paulo Leonel Libardi<sup>2</sup>

#### RESUMO

Quando um solo sofre qualquer tipo de manejo, sua estrutura é afetada, acarretando, normalmente, aumento na sua densidade com consequente diminuição da sua porosidade e alteração na distribuição do diâmetro dos seus poros. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito da densidade do solo sobre a disponibilidade de água às plantas. As atividades de campo foram realizadas em uma área localizada no município de Guaíra - SP em um Latossolo roxo ácrico de textura argilosa. Para avaliação, três áreas adjacentes com os seguintes usos e manejos foram selecionadas: mata, plantio direto sequeiro e plantio direto irrigado. Coletaram-se amostras de 0,1 m a 1,0m de profundidade. Essas amostras foram submetidas a diferentes tensões para determinação da retenção de água e, posteriormente, submetidas à avaliação da resistência à penetração. Para o cálculo da água disponível, utilizou-se o conceito de faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal (FUML) em cuja quantificação se consideram, além da capacidade de campo e do ponto de murchamento permanente, também as unidades correspondentes aos valores limitantes da resistência à penetração e da porosidade de aeração do solo. Os resultados indicaram que o aumento na densidade do Latossolo Roxo até 1,11Mg m<sup>-3</sup> aumenta a armazenagem de água no solo, bem como a sua disponibilidade às culturas; para valores superiores de densidade diminuem a disponibilidade de água.

**Palavras-chave:** densidade do solo, água disponível, resistência à penetração.

#### SUMMARY

When a soil is managed, its structure is affected, usually increasing the bulk density, decreasing the porosity and modifying the distribution of porous diameter distribution. This investigation was carried out with the objective of evaluating the effect of soil bulk density on water availability to the plants. The experiment was conducted in Guaira (SP), Brazil in an Oxisol (typic Acorthox). Three adjacent areas under different

management systems were selected: no-tillage-non-irrigated, no-tillage-irrigated and natural forest. Undisturbed soil samples were collected at soil depth increments of 0.1m up to 1.0m depth. These samples were submitted to different tensions to determine the water retention and, subsequently the penetration resistance. The least limiting water range concept was used, to calculate the available water, which is based not only on field capacity and permanent wilting point, but also on the limiting resistance to penetration and the limiting aeration porosity. Results indicated that the increase of the soil bulk density up to 1.11Mg m<sup>-3</sup>, increases the soil water storage and also the available water to the crops; higher values of bulk density decrease the soil water availability.

**Key words:** soil density, available water, penetration resistance.

#### INTRODUÇÃO

O solo, reservatório de água para as plantas, é afetado pelo seu manejo e por práticas culturais com consequente alteração da dinâmica e retenção de água nos poros. Os fatores que afetam a disponibilidade de água às culturas são: a estrutura do solo, por determinar o arranjo das partículas e, por consequência, a distribuição do diâmetro dos poros; a textura, o tipo e quantidade de argila e o teor de matéria orgânica. A interação entre esses fatores é bastante complexa e muito difícil de ser prevista. Nesse contexto, o estudo da distribuição do diâmetro dos poros do solo é muito importante.

Os Latossolos são, normalmente, argilosos, mas muitos deles possuem fortes microagregados que lhes conferem um comportamento distinto. Nesse sentido, KERTZMANN (1996) afirma ainda

<sup>1</sup>Professor Titular, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, CP 611, 99001-970, Passo Fundo, RS. E-mail: vaklein@upf.br. Autor para correspondência.

<sup>2</sup>Professor Titular, bolsista do CNPq, Departamento de Ciências Exatas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz -USP.

que a água retida dentro dos microagregados pode ser extraída do solo apenas com tensões muito elevadas, devido ao diminuto diâmetro dos poros, o que a torna praticamente indisponível para as plantas; no entanto, trata-se de um teor de água sempre presente no solo, conferindo-lhe uma umidade permanente, mesmo que reduzida. Essa umidade tem papel importante na condutividade hidráulica e térmica do solo.

A compactação do solo afeta, principalmente, os poros interagregados. Estudos demonstram que essa compactação pode afetar a água disponível para as plantas, pois, em função da diminuição da macroporosidade e aumento da microporosidade ocorre um aumento da tensão com que essa água está retida nos poros (BAUMER & BAKERMAN, 1973). TOGNON (1991) e KERTZMANN (1996) relatam que, na região de Guaira-SP, com a intensificação do cultivo, principalmente em áreas irrigadas, o volume de macroporos foi diminuído, ficando o espaço poroso reduzido e os poros mais irregulares.

O conceito de água disponível para as plantas, como aquela contida no solo entre a capacidade de campo (quando excesso de água tenha drenado) e o ponto de murcha permanente (1,5MPa), embora controvertido (VEIHMEYER & HENDRICKSON, 1949; SYKES, 1969 e REICHARDT, 1988), mas se usado com bom senso, é de grande utilidade no entendimento da dinâmica da água e sua disponibilidade às culturas. Por outro lado, outros fatores físicos do solo podem afetar o desenvolvimento das plantas, na faixa de umidade entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, como a falta de aeração do sistema radicular (SOJKA, 1992) e o excesso de resistência mecânica à penetração das raízes (WEAICH *et al.*, 1992), fatores esses que impedem o crescimento normal das raízes afetando o desenvolvimento das plantas.

O conceito de faixa de umidade do solo menos limitante ao crescimento vegetal (FUML), proposta por LETEY(1985), sugere que para o cálculo da água disponível às culturas se utilizem, além dos valores da capacidade de campo e do ponto de murchamento permanente, os valores limitantes da resistência do solo à penetração e da porosidade de aeração. ERICKSON (1982) afirma que a porosidade de aeração mínima necessária para o desenvolvimento normal da maioria das culturas é em torno de  $0,1\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$  e a resistência à penetração limitante, embora variando de acordo com o tipo de solo e espécies cultivadas, segundo TAYLOR & GARDNER (1963); TAYLOR *et al.* (1966) e NESMITH(1987) este valor se situa em torno de 2MPa.

Trabalhando com este conceito, de faixa de umidade ótima para o crescimento das plantas, DA SILVA & KAY (1997) observaram que a

FUML era negativamente afetada pelo aumento da densidade e teor de argila dos solos. TORMENA *et al.* (1998), trabalhando em Latossolo Roxo, observaram que a FUML foi positivamente afetada pelo aumento da densidade até uma densidade crítica de  $1,1\text{Mg m}^{-3}$ , diminuindo após. DA SILVA & KAY (1996) observaram correlação negativa entre o rendimento de milho e a freqüência de dias em que o conteúdo de água no solo ficou fora da FUML.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito dos diferentes sistemas de uso e manejo na estrutura do solo e sobre a disponibilidade de água às plantas, a partir de dados de um perfil de solo homogêneo de 1m de profundidade.

## MATERIAL E MÉTODOS

As atividades de campo foram realizadas em área localizada no Município de Guaira, na região norte de São Paulo ( $20^{\circ}27' S$ ,  $48^{\circ}18' W$ , 518m). O clima da região, segundo Köppen, é classificado como subtropical com inverno seco (Cwa). Essa região apresenta uma expressiva área irrigada por aspersão, possuindo aproximadamente 200 sistemas pivôs centrais. As culturas predominantes na região são o milho, o feijão e a soja, as quais alcançam elevado rendimento de grãos devido à disponibilidade de água às plantas, bem como à elevada quantidade de insumos utilizados. A principal característica na área irrigada é a elevada intensidade de cultivo (5 safras em 2 anos).

O solo da área estudada é um latossolo roxo ácrico (Typic Acorthox), textura argilosa, profundo, argiloso e bem drenado (TOGNON, 1991; IPT, 1995).

Três sistemas de uso e manejo do solo, situados em áreas adjacentes, foram selecionados para o estudo. Mata: representado pela mata secundária. O solo não sofreu qualquer tipo de manejo. As propriedades físico-hídricas desse solo foram consideradas como referência para comparação com os outros dois sistemas. Sequeiro: Área desmatada em 1959 e desde então usualmente cultivada com duas culturas anuais, uma no período chuvoso (novembro até fevereiro) e outra na de safrinha (março até julho). No período 1959 até 1991, o solo da área foi manejado no sistema convencional de preparo do solo e, após esse período, foi utilizado o sistema de manejo conservacionista, intercalando plantio direto e preparo reduzido. Irrigado: Área desmatada em 1981 para instalação de sistema de irrigação por pivô central e cultivada com culturas anuais em sistema de manejo conservacionista, com plantio direto intercalado com aração profunda, quando da instalação da cultura do tomate (aração profunda em 1990 e 1992).

Para cada sistema de manejo, foram abertas três trincheiras com 1m de profundidade, no período de maio a junho, sendo que no sequeiro

estava implantada a cultura do milho e no irrigado, feijão. A densidade do solo e da resistência mecânica do solo à penetração foram determinadas em amostras coletadas nas seguintes profundidades, sempre considerando o centro do anel: 0,036; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 e 1m, utilizando amostrador do tipo Uhland, com anéis de alumínio de dimensões de 7,3cm de diâmetro e 7,2cm de altura (301cm<sup>3</sup>). Para a determinação da retenção de água no solo, utilizaram-se conjuntos de três anéis, com altura de 2,39 cm cada, no mesmo tipo de amostrador, coletados nas mesmas profundidades. A amostragem foi feita de tal maneira que o plano horizontal que divide o anel central em duas partes iguais ficasse na profundidade de coleta. Somente o anel central foi usado, os extremos foram descartados.

Utilizaram-se funis de placa porosa para determinação da retenção de água nas amostras do solo nas tensões de 0,5; 1; 2; 3; 5; 8; 10 e 15kPa e câmaras de pressão de Richards para as tensões 30; 50; 100; 300; 500 e 1500kPa. Cada ponto da curva de retenção foi feito utilizando-se amostras diferentes, para diminuir o efeito da variabilidade espacial.

A resistência do solo à penetração foi determinada em laboratório, utilizando um penetrômetro eletrônico desenvolvido no Laboratório de Física de Solos do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP, com base no descrito por BRADFORD (1986). É equipado com atuador linear-Electrak 2000 e célula de carga (981 N) acoplada, por meio de uma interface, a um microcomputador que utiliza software AQDXy (Lynx). Obtém-se uma velocidade constante de penetração de 0,167mm s<sup>-1</sup>, num cone com 4mm de diâmetro da base (12,56mm<sup>2</sup>) e ângulo sólido de 60°, armazenando um dado a cada segundo. A resistência à penetração foi obtida pelo quociente da força aplicada ao cone, medida pela célula de carga, pela área da base do cone ( $N\ m^{-2} = Pa$ ).

Para o cálculo da FUML, inseriram-se linhas de tendência, minimizando a soma dos quadrados dos desvios, dos valores de umidade volumétrica em função da densidade do solo, para cada limite definido. Para a resistência à penetração, um modelo não linear foi ajustado (KLEIN *et al.* 1998) em função da variação da umidade e densidade do solo. A capacidade de campo e a umidade correspondente à porosidade de aeração foram definidas como limitantes na parte úmida do intervalo, enquanto que o ponto de murchamento permanente

e a umidade correspondente à resistência à penetração limitante, na parte seca. O menor intervalo entre esses valores limitantes foi definido como a FUML.

Neste trabalho, utilizou-se para capacidade de campo a umidade correspondente a 8kPa ( $\approx 48$  horas drenagem); para ponto de murchamento permanente, a umidade correspondente a 1500kPa; para resistência à penetração limitante, o valor de 2MPa (TAYLOR *et al.*, 1966 e NESMITH, 1987) e para porosidade de aeração limitante, o valor de 0,10m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (SOJKA, 1992).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da densidade do solo da mata apresentaram diferenças significativas somente para a camada 0,00 - 0,03m (Tabela 1), demonstrando a homogeneidade desse solo em profundidade, sem camadas de impedimento ou de acúmulo de argila. A área de sequeiro e de irrigado, em função dos manejos adotados, tiveram a sua estrutura modificada, com alterações significativas na densidade até a profundidade de 0,4m, sendo que, abaixo desta profundidade não se detectaram alterações nesses manejos em relação à mata. Esses resultados concordam com os relatados por TOGNON (1991) e KERTZMAN (1996) em trabalhos realizados no mesmo tipo de solo e região de Guaira- SP.

Para o solo da mata (Figura 1a), observa-se que em nenhum momento a resistência à penetração ou a porosidade de aeração foram limitantes e a FUML variou, positivamente, de 0,0467 a 0,1121m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> com o aumento da densidade do solo de 0,92 a

Tabela 1 - Densidade do solo, em profundidade, para mata, sequeiro e irrigado.

Prof(m)	Mata				Sequeiro				Irrigado	
									Mg m <sup>-3</sup>	
0,036	B	0,924	b	AB	1,068	cd	A	1,213	bc	
0,10	B	0,986	ab	A	1,212	a	A	1,299	A	
0,20	C	1,025	a	B	1,076	ab	A	1,255	Ab	
0,30	C	1,014	a	B	1,185	b	A	1,228	Abc	
0,40	C	1,016	a	B	1,146	c	A	1,161	cd	
0,50	A	1,027	a	A	1,077	c	A	1,104	de	
0,60	A	1,023	a	A	1,039	cde	A	1,051	ef	
0,70	B	1,002	a	B	1,014	de	A	1,058	ef	
0,80	A	1,007	a	A	1,018	cde	A	1,022	ef	
0,90	A	1,027	a	A	0,983	e	A	1,019	f	
1,00	A	0,996	a	A	1,006	e	A	0,999	f	
Média	C	1,004		B	1,078		A	1,128		
CV(%) tratamentos		3,92				2,90			3,99	
CV(%) geral		3,67								

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, nas colunas, e antecedidas pelas mesmas letras maiúsculas, nas linhas, não diferem significativamente entre si, em nível de 5%, pelo teste de Duncan.

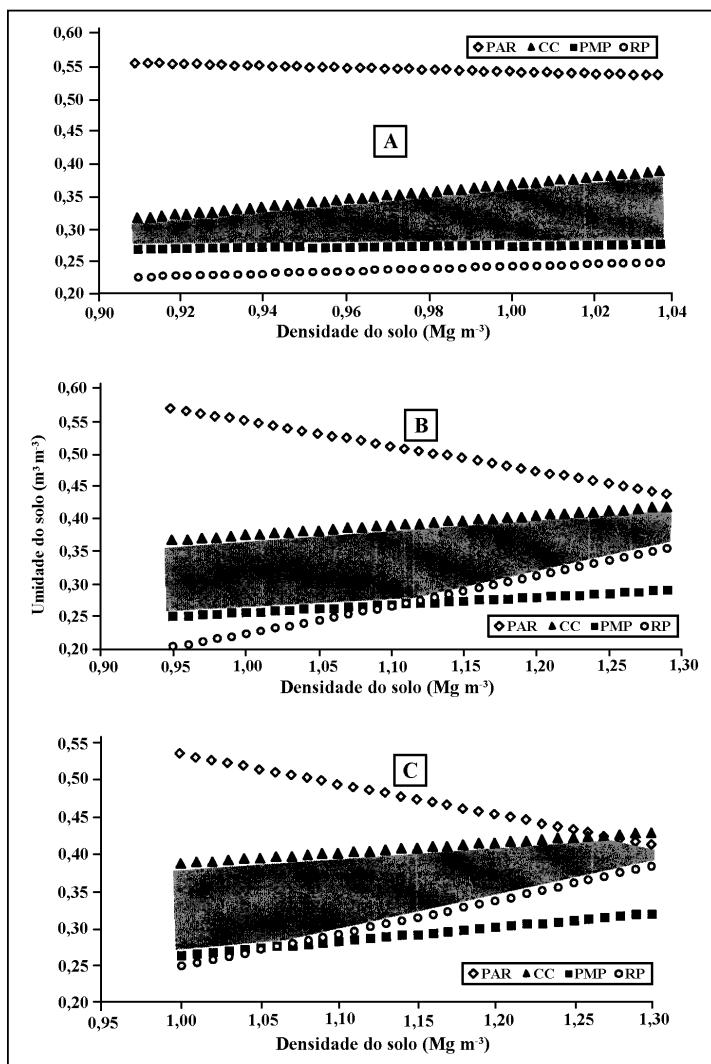


Figura 1 - Variação da umidade volumétrica do solo em função da densidade do solo para os níveis críticos da porosidade de aeração de 10% (PAR), capacidade de campo (CC) umidade correspondente a 8KPa, ponto de murchamento permanente (PMP) umidade correspondente a 1500Kpa e resistência à penetração de 2MPa (RP), para mata (A), sequeiro (B) e irrigado (C). Altura da área hachurada para cada densidade = FUML.

$1,03\text{Mg m}^{-3}$ . No solo de sequeiro (Figura 1b), a FUML foi afetada no seu limite inferior pela resistência à penetração a partir da densidade de  $1,11\text{Mg m}^{-3}$ , enquanto que a porosidade de aeração em nenhum momento foi limitante. A FUML variou de  $0,1172$  a  $0,0897\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  e a densidade de  $0,98$  a  $1,21\text{Mg m}^{-3}$ .

Na área irrigada (Figura 1c), houve limitação tanto da resistência à penetração como da porosidade de aeração sobre a FUML. A resistência à penetração passou a ser limitante na densidade do solo de  $1,06\text{Mg m}^{-3}$ , enquanto que a porosidade de

aeração a partir de  $1,27\text{Mg m}^{-3}$ . A FUML variou de  $0,123$  a  $0,0276\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  enquanto a densidade variou de  $1,00$  a  $1,30\text{Mg m}^{-3}$ , isto indica que valores de densidade acima de determinado valor diminuem drasticamente o volume de água disponível as plantas.

Analizando os três manejos em conjunto, observa-se que no irrigado se obteve a maior variação nos valores de FUML (variação de  $0,0954\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), enquanto no sequeiro a menor variação (variação de  $0,0275\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ). Na área de mata (variação de  $0,0654\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), o valor máximo de FUML foi menor do que no sequeiro e irrigado.

Para a área de sequeiro sob plantio direto, o valor da densidade na qual a resistência do solo à penetração se tornou limitante,  $1,11\text{Mg m}^{-3}$ , foi praticamente igual a encontrada por TORMENA *et al.* (1998), trabalhando no mesmo tipo de solo, também sob plantio direto na região de Guaira, mas apenas com amostras da camada superficial do solo. Esses resultados comprovam a influência do manejo e a repetibilidade dos resultados, afirmando essa metodologia, como bom indicador para determinação das condições físico-hídricas do solo.

O solo da mata apresenta valores de densidade do solo menores na superfície (Tabela 1), o que, de acordo com a figura 1a, é prejudicial para a armazenagem da água bem como para a FUML, pois em função da elevada macroporosidade retém pouca água.

Com o aumento da densidade, até um limite de  $1,1\text{Mg m}^{-3}$ , aumenta-se a FUML de um latossolo roxo, como é o caso do solo de sequeiro, que apresenta uma densidade intermediária entre a mata e o irrigado, apresentando, consequentemente, um maior FUML e menor variação.

Plotando-se a FUML em função da densidade do solo (Figura 2), definiu-se um valor ou uma faixa de densidade como ideal, em função da maior disponibilidade de água às plantas, concordando com SWAN *et al.* (1987) os quais afirmam que um nível de compactação intermediária é benéfico para a produção das culturas, por aumentar a disponibilidade de água às plantas. Neste sentido, para o solo estudado, pode-se afirmar que uma densidade entre 1 a  $1,1\text{Mg m}^{-3}$  seria o ideal, pois nessa condição a

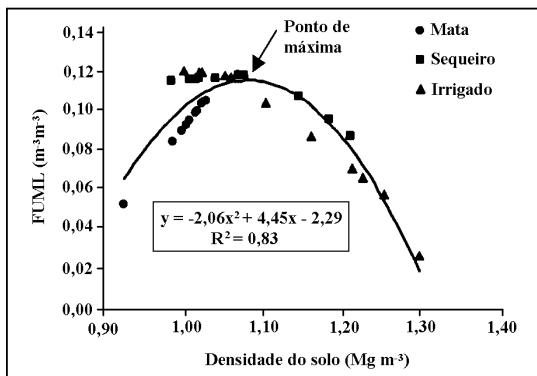


Figura 2 – Variação da faixa de umidade menos limitante (FUML) em função da densidade do solo nos três sistemas de manejo estudados.

FUML seria o máximo, em torno de  $0,12\text{m}^3\text{ m}^{-3}$ , condição em que a água disponível às plantas é 20% superior àquela apresentada por VAN WAMBEKE (1974) o qual afirma que para oxissóis existe uma razão de 1mm de lámina de água disponível por 10mm de profundidade.

SIDIRAS & VIEIRA (1984) também observaram que uma certa compactação do solo, ocasionada pelo tráfego de um trator, proporcionou incrementos na retenção de água no solo, no crescimento e rendimento das culturas de trigo, soja e nabo forrageiro.

Analizando o comportamento da FUML em profundidade (Figura 3), na qual se apresenta os limites inferior (ponto de murcha permanente ou resistência à penetração) e superior (capacidade de campo ou porosidade de aeração), observam-se as

diferenças que existem na amplitude da faixa de água disponível entre os manejos em profundidade. Constatou-se que, principalmente no sistema irrigado, ocorre uma diminuição dessa faixa, principalmente na profundidade de 0,1m, profundidade com maior densidade do solo. Essa constatação é muito importante pois é nessa profundidade que, segundo MERTEN & MIELNICZUK (1991), 70% do sistema radicular de culturas anuais está concentrado.

## CONCLUSÕES

- O valor máximo da faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal (FUML) de um latossolo roxo é obtido quando sua densidade se encontra em torno de  $1,10\text{Mg m}^{-3}$ .

- Em solos texturalmente homogêneos ao longo do perfil, como o estudo, a metodologia utilizada para a estimativa da FUML mostrou-se eficiente em situações em que diferentes manejos conferem alterações diferenciadas da densidade do solo ao longo do perfil.

- A porosidade de aeração e a resistência à penetração são as propriedades que mais variaram com as mudanças na densidade do solo.

- A capacidade de campo é o fator mais limitante no limite superior de umidade. No limite inferior, o ponto de murcha permanentemente foi limitante em valores baixos de densidade, enquanto que a resistência à penetração foi em altas densidades do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

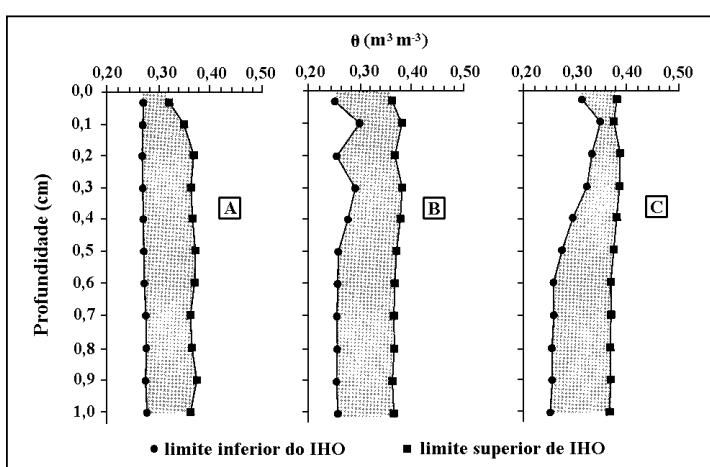


Figura 3 – Variação da faixa de umidade menos limitante ao desenvolvimento das plantas, em profundidade, para os manejos mata (A), sequeiro (B) e irrigado (C).

BAUMER, K., BAKERMAN, W.A.P. Zero-tillage. *Advances in Agronomy*, New York, v.25, p.77-125, 1973.

BRADFORD, J.M. Penetrability. In: KLUTE, A., (ed.) *Methods of soil analysis, physical, chemical and mineralogical methods*. Madison: America Society of Agronomy, 1986. p.463-478.

DA SILVA, A.P., KAY, B.D. The sensitivity of shoot growth of corn to the least limiting water range of soils. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.184, p.323-329, 1996.

DA SILVA, A.P., KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soil from properties and management. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.61, p.877-883, 1997.

ERICKSON, A.E. Tillage Effects on Soil Aeration. Predicting tillage effects on infiltration. In: ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY AND SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, Detroit, 1980.

- Predicting tillage effects on soil physical properties and processes...** Madison: ASA: SSSA, 1982. cap.6, p.91-104. (ASA. Special Publication, 44).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Áreas de conflito de uso das terras do município de Guáira - SP.** São Paulo : IPT, 1995. 60p. (Relatório Técnico nº 33042).
- KERTZMANN, F.F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um latossolo roxo provocadas pela compactação.** São Paulo, 1996. 153p. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1996.
- KLEIN, V.A., LIBARDI, P.L., SILVA, A.P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.18, n.2, p.45-54, 1998.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advances in Soil Science**, New York, v.1, p.277-294, 1985.
- MERTEN, G.H., MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em Latossolo Roxo, sob dois sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p.369-374, 1991.
- NESMITH, D.S. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, p.183-186, 1987.
- REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, p.211-216, 1988.
- SIDIRAS, N., VIEIRA, M.J. Comportamento de um Latossolo roxo distrófico compactado pelas rodas do trator na se-meadura, rendimento de três culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, p.1285-1293, 1984.
- SOJKA, R.E. Stomatal closure in oxygen-stressed plants. **Soil Science**, Baltimore, v.154, p.269-280, 1992.
- SWAN, J.B., MONCRIEF, J.F., VOORHEES, W.B. **Soil compaction: causes, effects and control.** Minneapolis: Minnesota Extension Service, 1987. 11p. (Bulletin, 3115).
- SYKES, D.J. Reconsideração do conceito da umidade de murchamento permanente. **Turrialba**, San Jose, v.19, p.525-530, 1969.
- TAYLOR, H.M., GARDNER, H.R. Penetration of cotton seedlings taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength soil. **Soil Science**, Baltimore, v.96, p.153-156, 1963.
- TAYLOR, H.M., ROBERTSON, G.M., PARKER, J.J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v.102, p.18-22, 1966.
- TOGNON, A.A. **Propriedades físico-hídricas do Latossolo Roxo da região de Guáira-SP sob diferentes sistemas de cultivo.** Piracicaba, 1991. 85p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas) - ESALQ/USP, 1991.
- TORMENA, C. A., SILVA, A.P., LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.573-581, 1998.
- VAN WAMBEKE, Management properties of ferrasols. **FAO**, Roma, Soil Buletin, v.23, p.129, 1974.
- VEIHMEYER, V.J., HENDRICKSON, A.H. Methods of measuring field capacity and wilting percentage of soils. **Soil Science**, Baltimore, v.68, p.75-94, 1949.
- WEAICH, K., BRISTOW, K.L., CASS, A. Preemergent shoot growth of maize under different drying conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p.1272-1278, 1992.