

Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de um Latossolo sob diferentes níveis de compactação

Kaiser, D.R.¹; Dettmer, M.²; Reinert, D.J.³; Collares, G.L.⁴; Reichert, J.M.³.

¹Universidade Federal de Santa Maria. Bolsista da CAPES. E-mail: kaiser@mail.ufsm.br

²UFSM. Bolsista PIBIC/CNPq. E-mail: mayradet@hotmail.com. Apresentadora.

³ UFSM. E-mail: dalvan@ccr.ufsm.br ; reichert@smail.ufsm.br

⁴CAVG/UFPEL. E-mail: collares@ufpel.tche.br

Introdução

As propriedades físicas do solo são variáveis no tempo e no espaço, sendo afetadas pelas condições de manejo do solo e pelas variações climáticas ocorridas no período. O revolvimento ou a compactação do solo são as principais formas de alterar a estrutura do solo, refletindo-se em modificações na sua densidade (Streck, 2003) e na quantidade, continuidade e tamanho dos poros do solo. Devido a essas alterações, o solo apresentará um comportamento diferenciado na resistência ao crescimento das raízes, nas trocas gasosas e na retenção e disponibilidade de água. Uma determinada condição pode se tornar limitante ao crescimento das plantas dependendo do conteúdo de água no solo e do período fenológico em que a planta se encontra. Em condições de alta umidade do solo, a aeração pode ser deficiente e prejudicar as trocas gasosas e a respiração das raízes das plantas (Morard & Silvestre, 1996). Em condições de solo seco, o crescimento radicular pode ser restringido a determinadas camadas (Montagu et al., 2001) ou em fissuras ou bioporos do solo, devido à alta resistência oferecida pelas camadas compactadas.

Vários parâmetros podem ser utilizados para caracterizar e qualificar a estrutura do solo, mas a resposta das plantas dependerá da interação entre os parâmetros (Reichert et al., 2007). Visando integrar as principais propriedades físicas do solo determinantes do crescimento das plantas, Silva et al. (1994) propuseram o intervalo hídrico ótimo (IHO) do solo baseado nos pressupostos de Letey (1985), como um índice para avaliar a qualidade física do solo. A densidade crítica obtida através do IHO pode ser considerada como um “semáforo” indicativo da qualidade do solo e auxilia na tomada de decisões frente às condições de manejo adotadas ou serem adotadas em determinado solo.

A densidade crítica é variável em função do nível de compactação e da textura do solo (Reichert et al., 2007), sendo que solos com alta densidade atingem níveis de resistência alto com menor variação de umidade, reduzindo o crescimento radicular das plantas. Além disso, as plantas, quando encontram condições adequadas de crescimento no início do seu ciclo vegetativo, tendem a manter o sistema radicular superficialmente. No entanto, a partir do momento que ocorrem períodos de estiagem, o acesso a água é limitado, pois o solo seco e compactado oferece alta resistência à penetração das raízes (Clark et al., 2003), não permitindo o aproveitamento adequado da água armazenada abaixo da camada de maior resistência. Quando a umidade do solo fica fora dos limites do IHO durante o seu ciclo vegetativo, ocorre menor crescimento radicular e da parte aérea (Collares et al., 2006), com redução na produtividade das culturas.

O estudo teve com objetivo determinar o intervalo hídrico ótimo, considerando diferentes valores de resistência crítica, para um Latossolo Vermelho sob diferentes níveis de compactação.

Material e Métodos

Para a realização deste estudo, amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas num experimento instalado na área do Campo Experimental da Agronomia da UNICRUZ, no município de Cruz Alta, no Rio Grande do Sul (Collares et al., 2008). O solo foi um Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 1999) com 607 g kg^{-1} de argila, 176 g kg^{-1} de silte e 217 g kg^{-1} de areia nos primeiros 0,5 m de profundidade. O experimento foi conduzido sob o delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições, e os tratamentos foram: PD - plantio direto continuado seis anos, PDc - plantio direto com compactação adicional por 4 passadas de uma pá-carregadeira e Esc – escarificação efetuada após seis anos sob PD. No experimento, foi implantada a cultura do feijoeiro em janeiro de 2003 e em sucessão a cultura do trigo (Collares et al., 2008).

Para determinar a curva de resistência do solo à penetração, 107 amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas com anéis de Uhland de 7,5 cm de diâmetro e altura, nas camadas de 0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m, nos diferentes tratamentos, obtendo-se uma variação da densidade das amostras. Para obter variação de umidade, as amostras foram coletadas em diferentes épocas, conforme a ocorrência de ciclos de umedecimento e secagem do solo. No laboratório, essas amostras foram preparadas e submetidas ao teste de resistência à penetração utilizando-se um penetrômetro com taxa constante de penetração e com área basal de 129 mm^2 , diâmetro da base de 12 mm e ângulo de 30° .

Os dados de resistência do solo à penetração foram ajustados em função da densidade do solo e da umidade volumétrica, utilizando-se o modelo não linear e seguindo-se os procedimentos descritos em Silva et al. (1994). Para definir o intervalo hídrico ótimo, utilizaram-se os valores 2,0 e 3,0 MPa como valores limitantes de resistência à penetração, obtendo-se, dessa forma, uma densidade crítica para cada curva de resistência obtida. A definição desses limites permite obter diferentes valores de densidade crítica, que podem se tornar referência conforme a susceptibilidade das diferentes espécies agrícolas às restrições ao seu crescimento radicular.

Para determinar a curva de retenção de água e definir a umidade na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, as amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas nas camadas de 0 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,15; 0,20 a 0,25 e 0,30 a 0,35 m, com anéis de 0,054 m de diâmetro e 0,03 m de altura. Foram utilizadas três técnicas para obtenção dos pontos da curva de retenção de água: a mesa de tensão para os potenciais de -1, -6 e -10 kPa, a câmara de pressão de Richards (painéis de pressão) para os potenciais de -10, -33 e -100 kPa e o WP4 Dewpoint PotentialMeter para os potenciais de -500 e -1500 kPa. A partir da curva de retenção de água, obteve-se a umidade do solo na capacidade de campo (-0,01 kPa) e no ponto de murcha permanente (-1,5 kPa). No entanto, como a umidade no potencial de -1,5 kPa foi obtida a partir de amostras deformadas e em base gravimétrica, multiplicou-se o seu valor pela densidade do solo para obter-se a umidade volumétrica. A umidade do solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente foram ajustados em função da densidade do solo através de regressões, utilizando-se o pacote estatístico SAS (SAS, 1995).

Resultados e Discussão

Os parâmetros físicos do solo avaliados para determinação do intervalo hídrico ótimo (IHO) encontram-se na Tabela 1. A maior variação (CV) ocorreu na resistência à penetração devido à variação da densidade e da umidade do solo. O coeficiente de variação encontrado é menor que os observados em trabalhos onde o gradiente de umidade é condicionado em laboratório (Tormena et al., 1998).

Tabela 1. Estimadores dos parâmetros para as variáveis físicas do solo determinadas nas amostras com estrutura preservada.

Variável	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	CV
RP	1,758	0,496	0,814	3,080	28,15
Ds	1,290	0,051	1,140	1,410	3,930
θ	0,350	0,028	0,211	0,412	7,864

RP = resistência do solo à penetração (MPa); θ = umidade volumétrica do solo (m^3m^{-3}); Ds = densidade do solo (Mg m^{-3}); CV = coeficiente de variação (%); n = 107.

O modelo de resistência à penetração ajustado (Equação 1), na sua forma linearizada, explicou 33 % da variação obtida na resistência do solo à penetração, sendo todos os parâmetros de ajuste altamente significativos. Para este modelo, obteve-se um coeficiente de variação de 46,5 % e o erro padrão da estimativa (S_{xy}) foi de 0,011.

$$RP = 0,07912 Ds^{4,0123} \times \theta^{-1,9328} \quad (1)$$

Para a umidade na capacidade de campo (-0,01 MPa), o modelo linear gerado explicou 15 % da variabilidade (equação 2), enquanto que o modelo linear obtido para estimar a umidade no ponto de murcha permanente (-1,5 MPa) explicou 50 % da variabilidade (equação 3).

$$\theta_{cc} = 0,2494 + 0,1222 Ds \quad (2)$$

$$\theta_{PMP} = -0,04513 + 0,19819 Ds \quad (3)$$

A resistência do solo à penetração tem sido apontada como a principal restrição física ao crescimento radicular das plantas (Streck, 2003; Collares et al., 2006), mas o seu efeito sobre o sistema radicular só tem sido verificado quando os períodos de alta resistência do solo ocorrem antes do florescimento das plantas que corresponde à fase de maior crescimento das raízes. As raízes das plantas exercem uma pressão de crescimento de 0,2 a 1,2 MPa (Clarck et al., 2003; Bengough & Mullins, 1990). A capacidade de uma planta vencer a resistência do solo depende da espessura da raiz e da sua habilidade em sintetizar substâncias mucilaginosas na coifa, que atuarão como lubrificantes facilitando o crescimento (Bengough et al., 2006) e, dessa forma, o valor de 2 MPa corriqueiramente adotado como restritivo (Silva et al., 1994; Collares et al., 2006) pode não representar restrições às plantas (Klein & Camara, 2007).

O IHO para o Latossolo em estudo está representado pela área hachurada na figura 1, que indica a amplitude de umidade do solo em que são mínimas as limitações ao desenvolvimento das plantas. Os limites para cada valor de densidade foram definidos pela resistência crítica adotada. Em condições estruturais naturais, o solo apresenta, como limite superior, a umidade na capacidade de campo (θ_{cc}) e, como limite inferior, a umidade no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) (Letey, 1985). A densidade crítica corresponde ao

valor de densidade no qual o IHO é nulo, sendo definida pela interseção das equações que determinam os limites superiores e inferiores, do IHO.

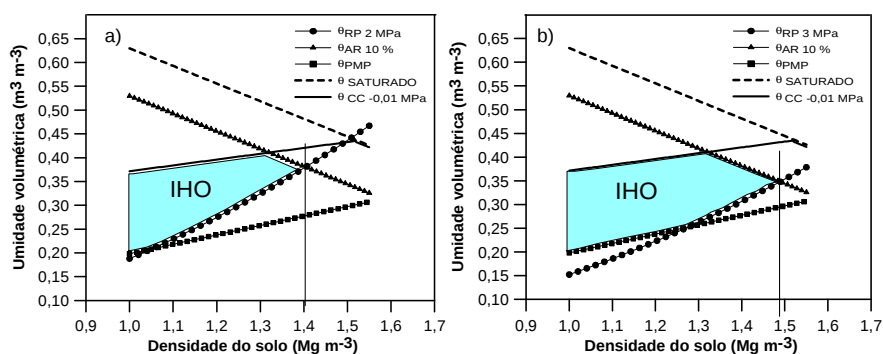


Figura 1. Variação do intervalo hídrico ótimo (IHO) em função da resistência do solo à penetração considerado crítico.

Quando a RP crítica é 2 MPa o IHO passa a ser nulo com densidades acima de $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$, sendo que a RP é o limite inferior e o limite superior é θ_{CC} até a densidade de $1,32 \text{ Mg m}^{-3}$. Quando a RP crítica é 3 MPa o IHO passa a ser nulo com densidades acima de $1,49 \text{ Mg m}^{-3}$ e a θ_{PMP} é o limite inferior até a densidade de $1,28 \text{ Mg m}^{-3}$ e a partir daí a RP passa a ser o limite inferior.

Em períodos de maior umidade, os solos compactados, por possuírem menor quantidade e continuidade de poros, podem apresentar deficiência de oxigênio para as raízes das plantas. Além da falta de oxigênio, o aumento na concentração de CO_2 no ambiente radicular afeta as plantas (Greenway et al., 2006). Nesse Latossolo, para densidades acima de $1,32 \text{ Mg m}^{-3}$, o espaço aéreo passa a ser o limite superior do IHO, o que indica que, a partir desse valor, a porosidade do solo começa a ser afetada pela compactação, principalmente os macroporos. Estes são os principais condutores de ar no solo, podendo limitar as trocas gasosas e prejudicar as plantas pela deficiência de oxigênio ou excesso de CO_2 .

Quando transferimos o conceito e os limites do IHO para o perfil do solo no campo, observamos que, quando a RP crítica adotada é 2 MPa, em todas as condições de manejo do solo ocorre uma camada onde o IHO é nulo (Figura 2), diferenciando-se apenas o início e a espessura dessa camada e a variação do IHO. O PD apresentou a menor camada limitante e a maior variação entre os limites do IHO, enquanto que com a compactação do solo (PDC) observa-se uma antecipação e um aumento na profundidade da camada limitante, o que se deve aumento da densidade do solo devido ao tráfego de máquinas (Collares et al., 2008). Essa camada limitante, ocasionada pela compactação, também aparece na área escarificada, podendo isso ser atribuído à dificuldade de coleta de amostras com estrutura preservada em condições de solo mobilizado.

Ao adotarmos o valor de 3 MPa como resistência limitante, observamos que, apenas com a compactação do solo (PDC), o IHO é nulo na camada de 0,05 a 0,15 m de profundidade (Figura 3), indicando a degradação da estrutura pela ação das pressões dos pneus. No entanto, em todos os manejos, ocorre a amplificação do IHO ao mudarmos a RP crítica, semelhante ao observado por Klein & Camara (2007) em solo sob plantio direto e escarificação.

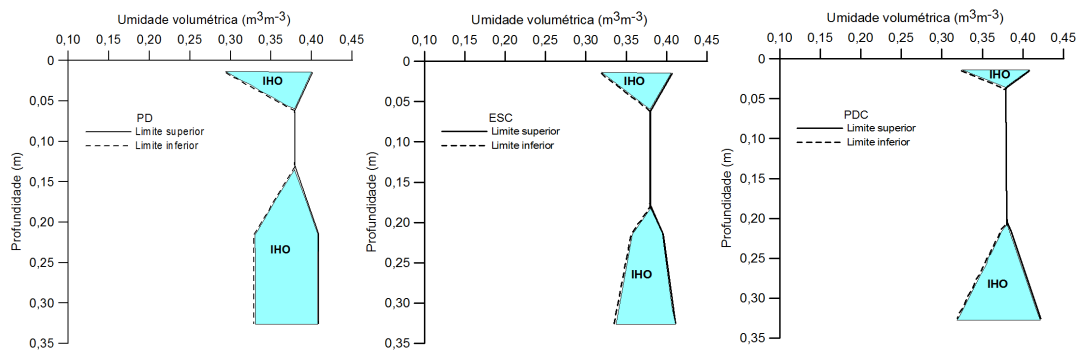


Figura 2. Variação do intervalo hídrico ótimo (IHO) no perfil do solo considerando 2 MPa como a resistência limitante.

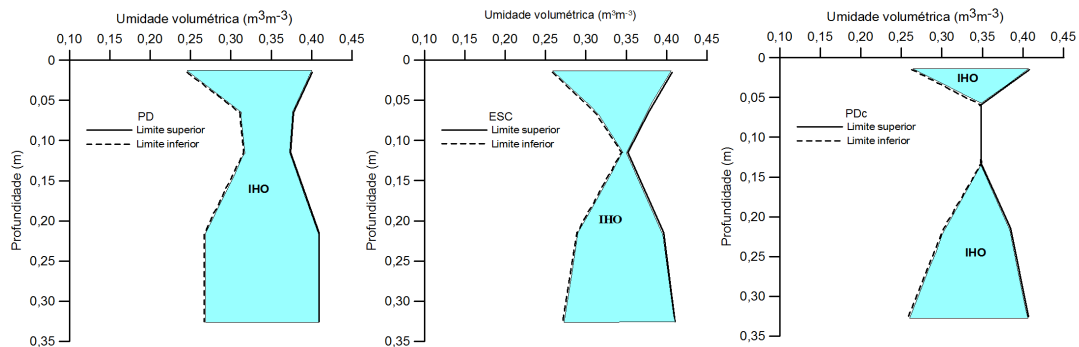


Figura 3. Variação do intervalo hídrico ótimo (IHO) no perfil do solo considerando 3 MPa como a resistência limitante.

No entanto, mesmo que o solo apresente seus limites fora do IHO nas camadas de 5 a 15 cm no PD e ESC, (Collares et al., 2008) observou que houve crescimento de raízes abaixo dessas camadas (Figura 4). Isso indica, que o valor de 2 MPa pode não restringir o crescimento radicular quando o solo apresenta macroporos contínuos, que são o caminho preferencial para o crescimento de raízes (Rasse & Smucker, 1998), infiltração e aeração do solo.

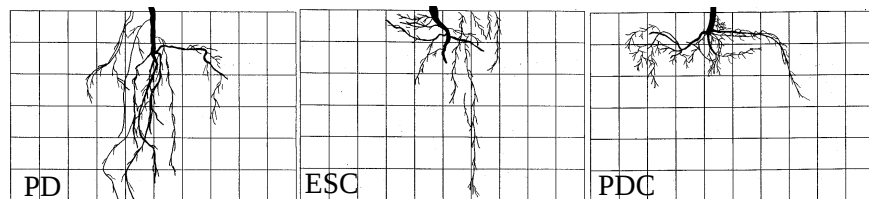


Figura 4. Distribuição radicular do feijoeiro sob diferentes níveis de compactação (Collares et. al., 2008).

Apenas o PDC restringiu o crescimento radicular até a camada onde o IHO é nulo (Collares et al., 2008). As camadas compactadas e com baixa porosidade definem o limite do crescimento radicular das plantas (Montagu et al., 2001). Solos bem estruturados, por terem uma maior quantidade de poros grandes e contínuos, podem apresentar menor quantidade de água retida na capacidade de campo (-0.01 kPa) e, nestas condições, o intervalo do IHO poderá ser reduzido nas amostras, mas poderá não representar restrições no campo.

Conclusões

A densidade crítica do IHO é dependente do valor de resistência à penetração considerado limitante, sendo de $1,40$ e $1,49 \text{ Mg m}^{-3}$ para valores de RP de $2,0$ e $3,0 \text{ MPa}$, respectivamente.

A aeração do solo passa ser limitante com densidades acima de $1,32 \text{ Mg m}^{-3}$.

A compactação do solo reduz o IHO do solo na camada próxima aos 0,10 m de profundidade.

Quando adotamos a resistência crítica de 2 MPa, o IHO é nulo na camada de 0,05 a 0,12 m no plantio direto, dos 0,05 a 0,17 m no plantio direto escarificado e entre 0,03 e 0,22 m no plantio direto compactado.

Com a utilização de 3 MPa como resistência crítica, ocorre a ampliação do IHO no perfil do solo, sendo o IHO nulo apenas na camada de 0,05 a 0,15 m do plantio direto compactado.

Literatura citada

- BENGHOUGH, A.G.; BRANSBY, M.F.; HANS, J.; McKENNA, S.J.; ROBERTS, T.J.; VALENTINE, T.A. Root responses to soil physical conditions: Growth dynamics from field to cell. *J. Exp. Bot.*, 57: 437-447, 2006.
- BENGHOUGH, A.G.; MULLINS, C.E. Mechanical impedance to root growth: A review of experimental techniques and root growth responses. *J. Soil Sci.*, 41:341-58, 1990.
- CLARK, L.J.; WHALLEY, W.R.; BARRACLOUGH, P.B. How do roots penetrate strong soil ? *Plant and Soil*, 255: 93-104, 2003.
- COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. *Pesq. Agrop. Bras.*, v.41, p.1663-1674, 2006.
- COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:933-942, 2008.
- GREENWAY, H.; ARMSTRONG, W.; COLMER, T.D. Conditions leading to high CO_2 in waterlogged – flooded soils and possible effects on root growth and metabolism. *Annals of Botany*, 98: 9-32, 2006.
- KLEIN, V.A.; CAMARA, R.K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:221-227, 2007.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. *Adv. Soil Sci.*, 1: 277-294, 1985.
- MONTAGU, K.D; CONROY, J.P.; ATWELL, B.J. The position of localized soil compaction determines root and subsequent shoot growth responses. *J. Exp. Botany*, 52: 2127-2133, 2001.
- MORARD, P.; SILVESTRE, J. Plant injury due to oxygen deficiency in the root environment of soilless culture: a review. *Plant and Soil*, 184: 243-254, 1996.
- RASSE, D.P; SMUCKER, A.J.M. Root recolonization of previous root channels in corn and alfalfa rotations. *Plant Soil*, v. 204, p.203-213, 1998.
- REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação In: CERRETA, C.A; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M. **Tópicos em Ciência do Solo – Vol. 5**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG. 2007. P. 49 – 134.
- SAS INSTITUTE. Statistical Analysis System Institute – **SAS/STAT Procedure guide for personal computers**. Version 5, SAS Inst. Cary, NC. 1991.
- SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58: 1775-1781, 1994.
- STRECK, C.A. Compactação do solo e seus efeitos no desenvolvimento radicular e produtividade da cultura do feijoeiro e da soja. Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 83 p. (Dissertação de Mestrado).
- TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:573-581, 1998.