



Ciência Rural

ISSN: 0103-8478

cienciarural@mail.ufsm.br

Universidade Federal de Santa Maria
Brasil

Michelon, Cleudson Jose; Carlesso, Reimar; Petry, Mirta Teresinha; De David, Gustavo; Santa,
Cleiton Dalla

Qualidade física de solos irrigados do Estado do Rio Grande do Sul
Ciência Rural, vol. 37, núm. 5, setembro-outubro, 2007, pp. 1308-1315
Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33137514>

- 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

Qualidade física de solos irrigados do Estado do Rio Grande do Sul

Physical quality of irrigated soil of Rio Grande do Sul State-Brazil

Cleudson Jose Michelin^I Reimar Carlesso^{II} Mirta Teresinha Petry^{III}
Gustavo De David^{III} Cleiton Dalla Santa^{IV}

RESUMO

As áreas irrigadas caracterizam-se pela intensificação dos cultivos e, por consequência, por uma intensa utilização do solo. Isso resulta em uma maior pressão de degradação da estrutura do solo, ocasionando muitas vezes a compactação dos solos. O objetivo deste trabalho foi realizar a caracterização física dos solos irrigados de algumas regiões do Estado do Rio Grande do Sul, com vistas a promover uma base de informações para orientar a tomada de decisões relativas ao manejo de áreas irrigadas. Os perfis dos solos foram divididos em três camadas: (superficial, intermediária e inferior), nas quais determinaram-se a textura do solo, a densidade do solo (Ds) e de partículas e porosidade. Os solos foram agrupados em faixas de teor de argila, sendo que, para cada faixa de teor de argila, estabeleceu-se um valor crítico de densidade do solo (Ds) e de macroporosidade (Macro). As amostras com valores DS maiores que o valor crítico e com valores de macro menores que o valor crítico foram caracterizados com indicação de compactação. As amostras de solo coletadas foram classificadas, com maior frequência na faixa de 400-500g kg⁻¹ de argila, nas camadas superficial e intermediária e na faixa de argila superior a 700g kg⁻¹ na camada inferior. Do total das áreas amostradas, 66,5% apresentaram indicação de compactação do solo na camada superficial, 20,5% na camada intermediária e 9,5% na camada inferior.

Palavras-chave: compactação, densidade do solo, macroporosidade.

ABSTRACT

Irrigated areas are characterized by an intensification of the land use, and as consequence, an intense

use of the soil. This usually results in a higher pressure of the soil structure degradation, causing many times soil compaction. The objective of this study was to conduct a soil physical characterization of irrigated areas of Rio Grande do Sul State-Brazil and collect informations necessary to guide soil management decisions. The soil profile was divided in to three soil layers: superficial, intermediate and inferior. The following determinations were conducted: soil texture, bulk density (Bd), particles density and soil porosity. Soil types were grouped in ranges of clay content. For each clay content, a critical value of Bd and soil macroporosity (Macro) were established (when the result of soil was the Bd and below the macro) to classify the soil as compacted. The majority of soil samples collected was classified in the range of 400-500 g Kg⁻¹ of clay content in the superficial and intermediate soil layers and in the range higher than 700 g Kg⁻¹ in the inferior soil layer. Considering the entire area sampled, 66.5% of the samples presented indication of soil compaction in the superficial layer, 20.5% in the intermediate layer and 9.5% in the inferior layer.

Key words: compaction, bulk density, macroporosity.

INTRODUÇÃO

Nos sistemas agrícolas, a água é essencial ao crescimento e desenvolvimento das plantas e regula os demais fatores físicos do solo, que influenciam diretamente o crescimento e a produtividade das culturas (FORSYTHE, 1967; LETEY, 1985). A disponibilidade de água às culturas é variável de acordo com as características do solo, condições climáticas e

^IPrograma de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: cleudsonjose@gmail.com.

^{II}Departamento de Engenharia Agrícola, UFSM, Campus universitário, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: carlesso@ccr.ufsm.br. Autor para correspondência.

^{III}Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência (FATEC), Sistema Irriga, Santa Maria, RS, Brasil.

^{IV}Curso de Agronomia, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.

necessidade da planta. Além disso, o aumento ou a redução da disponibilidade hídrica estão muito relacionados com o manejo dado ao solo.

As lavouras irrigadas caracterizam-se pela intensificação dos cultivos e, por consequência, por uma intensa utilização do solo. Devido a isso, atenção especial deve ser dada ao manejo do solo, das culturas e da água da irrigação, para evitar que ocorram alterações nas características do solo que causem a degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas, afetando a produtividade das culturas.

Um dos principais problemas enfrentados nas áreas irrigadas do Estado do Rio Grande do Sul é a degradação da estrutura do solo, resultando no aumento da compactação do mesmo. O principal efeito refere-se ao tráfego de maquinários, que, além de ser mais intenso, ocorre em solo com maior conteúdo de água, mais suscetível à compactação. A compactação altera as características do solo, diminuindo a aeração e a infiltração de água no solo, aumentando a resistência mecânica à penetração, dificultando assim o crescimento e o desenvolvimento dos vegetais.

Agricultores de todo o Brasil informaram que a compactação do solo tem sido uma das principais restrições para o estabelecimento e a continuidade do plantio direto em suas áreas (Plataforma plantio direto, SILVA, 2003). De acordo com WATANABE et al. (2000), no sistema plantio direto, a ausência de revolvimento do solo, aliada ao tráfego intenso de máquinas, promove a compactação superficial e modificações na distribuição dos tamanhos de poros do solo. TORMENA & ROLOFF (1996) constataram que o tráfego de máquinas num solo sob plantio direto ocasiona reduções drásticas no volume de macroporos do solo, com valores próximos de zero na entrelinha tráfegada. Segundo REINERT et al. (2001), o maior estado de compactação de solos sob sistema de cultivo plantio direto, indicado pela D_s , ocorre de 8cm até aproximadamente 15cm de profundidade.

A avaliação da qualidade estrutural dos solos requer estudos e determinações de limites críticos de diversas propriedades do solo, as quais podem variar de ano para ano, dependendo das condições climáticas, do manejo do solo e do tipo de cultura implantada. A mensuração dos limites críticos das propriedades físicas do solo ao desenvolvimento das plantas é difícil de ser realizada, pois os mesmos interagem entre si e com as condições climáticas, por isso necessitam ser analisados de maneira conjunta. O conteúdo e o potencial de água no solo interagem com as propriedades físicas do solo que afetam diretamente a produtividade das culturas. Conhecendo-se os limites críticos, pode-se delimitar faixas de umidade do solo

onde os fatores físicos diretamente relacionados à produção das plantas são nulos ou sem restrições econômicas à produtividade das culturas.

Os índices de qualidade estrutural devem ser sensíveis a variações no sistema de manejo do solo e ser aptos para indicar a necessidade de alterações no manejo atual do solo, quando esse apresentar restrições à produtividade das culturas, para torná-lo adequado ao desenvolvimento das plantas. Neste estudo, foram utilizados índices de D_s e de macro, em função do teor de argila nas diferentes camadas do perfil do solo, para estabelecer parâmetros indicativos na avaliação da qualidade estrutural dos solos agrícolas irrigados, principalmente em relação aos parâmetros físico-hídricos do solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar algumas características físico-hídricas de solos irrigados do Estado do Rio Grande do Sul, com vistas a estabelecer uma base de informações para orientar a tomada de decisões relativas ao manejo de áreas irrigadas, além de identificar o nível de compactação restritiva à produtividade das culturas dos solos irrigados, através das propriedades físicas D_s e macro, e a variabilidade textural de alguns solos irrigados por aspersão.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em áreas irrigadas sob pivô central nas regiões das Missões e no Planalto do Estado do Rio Grande do Sul, no ano agrícola de 2004-2005. Nessas regiões predominam os cultivos de trigo, aveia e cevada no inverno e de milho, soja, feijão e girassol no verão. Foram selecionados pivôs representativos de uma propriedade com base nas características morfológicas do solo. Estabeleceu-se que, nos pivôs que possuíam áreas uniformes em relação à textura do solo, fosse realizada uma amostragem a cada 40ha de área. Nos pivôs que apresentaram áreas desuniformes em relação à textura do solo, realizou-se uma amostragem em cada ponto que apresentava diferença expressiva de textura. Foram amostrados 86 pivôs, cavadas 191 trincheiras e coletadas 1.337 amostras de solo, representando uma área de 6.627,7ha.

As amostragens foram realizadas no último, penúltimo e antepenúltimo lance dos pivôs, pois esses locais representam a maior área irrigada por lance do pivô. Nos pivôs que apresentavam desuniformidade em relação às características morfológicas do solo, realizou-se uma amostragem em cada local que apresentava diferença de textura do solo, independentemente da sequência de lances do pivô.

Para a coleta das amostras, foram cavadas trincheiras de aproximadamente 80cm de comprimento,

60cm de largura e 75cm de profundidade. Os perfis dos solos foram divididos em três camadas, em função da morfologia do solo, assim descritas: camada superficial, camada intermediária e camada inferior. A camada superficial variou de 0 a 25cm de profundidade entre os perfis amostrados, a camada intermediária variou de 15 a 50cm e a camada inferior variou de 35 a 75cm de profundidade.

As amostras de solo foram coletadas nas profundidades correspondentes à porção mediana de cada camada. Em cada trincheira foram coletadas sete amostras de solo, sendo três na camada superficial, duas na camada intermediária e duas na camada inferior. Coletaram-se amostras com estrutura preservada, com o auxílio de um extrator, no qual era acoplado um cilindro de metal de volume conhecido, para a determinação da porosidade e D_s .

Para as análises granulométricas e densidade de partículas (D_p), foram coletadas aproximadamente 1.000 gramas de solo com estrutura deformada, na porção mediana de cada camada do perfil do solo. Determinações analíticas de textura, D_p , D_s e porosidade foram realizadas conforme métodos descritos pela EMBRAPA (1997). A textura do solo foi determinada através do método da pipeta (GEE & BAUDER, 1986). A D_p foi obtida pelo método do balão volumétrico e a D_s pelo método do anel volumétrico.

No laboratório, as amostras de solo não-deformadas foram saturadas e colocadas na mesa de

tensão -0,006MPa por 48 horas. A umidade correspondente à tensão de -0,006 MPa correspondeu ao percentual de microporos desse solo. A porosidade total (P_t) foi calculada a partir da D_s e da D_p , através da seguinte expressão: $P_t = (D_p - D_s)/D_p$. A macro foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a micro (EMBRAPA, 1997).

Para a avaliação de compactação dos solos utilizou-se como parâmetros a D_s e a macro. As amostras de solo coletadas foram agrupadas em faixas de teor de argila, sendo estabelecido um valor crítico de D_s e macro para cada faixa de teor de argila, conforme descritos em MICHELON (2005) e apresentados na figura 1.

Foram coletadas amostras preliminares em algumas regiões, para a verificação da amplitude de variação da textura do solo, bem como dos valores de D_s e de macro. Os limites críticos de D_s foram estabelecidos em função de dados existentes na literatura e dos dados obtidos na avaliação das amostras coletadas preliminarmente. REINERT et al. (2001) citam como macro crítica aquela inferior a 0,10 dm dm^{-1} para todos os tipos de solos. Entretanto, neste trabalho, foram atribuídos valores críticos de macro em função do teor de argila dos solos, pois, se fosse utilizado o valor de 0,10 dm dm^{-1} como crítico, praticamente todas as amostras da camada superficial estariam compactadas em relação à macro.

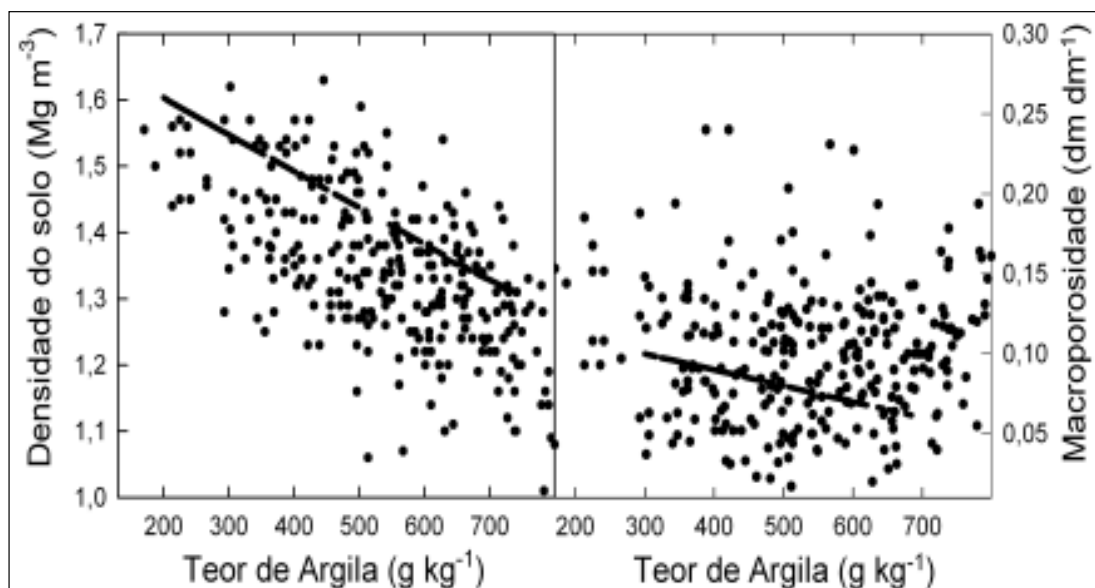


Figura 1 - Valores de densidade do solo (D_s) e macroporosidade (macro) em função do teor de argila, das amostras de solo coletadas em solos irrigados da região das Missões e do Planalto do Estado do Rio Grande do Sul, nas três camadas do perfil do solo (superficial, 0 a 25cm; intermediária, 15 a 50cm e inferior, 35 a 75cm). As linhas no interior de cada gráfico significam os limites críticos de D_s e macro utilizados (MICHELON, 2005). Santa Maria, RS, 2006.

A partir dos resultados observados de Ds e macro as amostras de solo foram classificadas, em relação à indicação de ocorrência de compactação, em níveis assim descritos: NC: não compactada: quando a amostra de solo apresentava Ds inferior e macro superior aos níveis críticos estabelecidos para cada faixa de argila; CD: compactada em função da Ds: quando as amostras de solo apresentavam valores de Ds e macro superiores aos níveis críticos estabelecidos para cada faixa de argila; CM: compactada em função da macro: quando as amostras de solo apresentavam valores de macro e Ds inferiores aos níveis críticos estabelecidos para cada faixa de argila; CDM: compactada em função da Ds e macro: quando a amostra de solo apresentava Ds superior e macro inferior aos níveis críticos estabelecidos para cada faixa de argila.

Os dados foram agrupados por camada do perfil de solo e classes de argila onde foram calculadas as frequências percentuais para cada parâmetro. As frequências foram analisadas através do cálculo da porcentagem.

Tabela 1 - Frequência absoluta, frequência relativa, frações texturais e classe textural das amostras de solo coletadas na região das Missões e do Planalto do Estado do Rio Grande do Sul, em cada faixa de teor de argila, nas três camadas do perfil de solo (superficial, 0 a 25cm; intermediária, 15 a 50cm e inferior, 35 a 75cm). Santa Maria, RS, 2006.

Faixas de argila (g kg ⁻¹)	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frações texturais (g kg ⁻¹)			Classe textural
			Areia	Silte	Argila	
Camada superficial						
0-200	5	2,62	720,20	160,00	119,80	Franco-arenoso
200-300	11	5,76	565,80	176,40	257,80	Franco-argilo-arenoso
300-400	37	19,37	426,30	216,10	357,60	Franco-argiloso
400-500	52	27,23	314,70	230,00	455,30	Argiloso
500-600	26	13,61	266,50	187,70	545,80	Argiloso
600-700	41	21,46	138,90	209,10	652,00	Muito argiloso
>700	19	9,95	94,00	180,40	725,60	Muito argiloso
Total	191	-	-	-	-	-
Camada intermediária						
0-200	5	2,63	662,00	164,60	173,40	Franco-arenoso
200-300	9	4,74	539,60	180,20	280,20	Franco-argilo-arenoso
300-400	21	11,05	413,60	223,60	362,80	Franco-argiloso
400-500	44	23,16	329,70	218,90	451,40	Argiloso
500-600	38	20,00	247,80	210,90	541,30	Argiloso
600-700	37	19,47	142,00	200,00	658,00	Muito argiloso
>700	36	18,95	78,70	165,70	755,60	Muito argiloso
Total	190	-	-	-	-	-
Camada inferior						
0-200	-	-	-	-	-	-
200-300	7	3,68	592,90	164,40	242,70	Franco-argilo-arenoso
300-400	14	7,37	459,40	191,80	348,80	Franco-argilo-arenoso
400-500	24	12,63	350,60	193,80	455,60	Argiloso
500-600	41	21,58	274,80	182,80	542,40	Argiloso
600-700	39	20,53	201,70	161,90	636,40	Muito argiloso
>700	65	34,21	78,50	162,00	759,50	Muito argiloso
Total	190	-	-	-	-	-

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras de solo coletadas no RS se concentraram em áreas irrigadas do planalto médio, região onde predominam solos com teor de argila superior a 400g kg⁻¹. Isso contribuiu para que a maioria das amostras coletadas se enquadrassem nas faixas de 400-500, 500-600, 600-700 e >700g kg⁻¹ de argila. Observa-se um incremento do teor de argila no solo com o aumento da profundidade do perfil (Tabela 1), evidenciado pela maior frequência de amostras incluídas nas faixas de 500-600, 600-700 e >700g kg⁻¹ de argila, para as camadas intermediária e inferior.

As áreas amostradas apresentaram na camada superficial teores médios de areia, silte e argila de 293,4g kg⁻¹, 206,8g kg⁻¹ e 499,8g kg⁻¹ respectivamente (Figura 2). Na camada intermediária as amostras apresentaram textura média de 259,4g kg⁻¹, 199,3g kg⁻¹ e 541,3g kg⁻¹ para as frações de areia, silte e argila, respectivamente. A camada inferior apresentou textura média de 239g kg⁻¹, 164g kg⁻¹ e 597g kg⁻¹ para as frações areia, silte e argila,

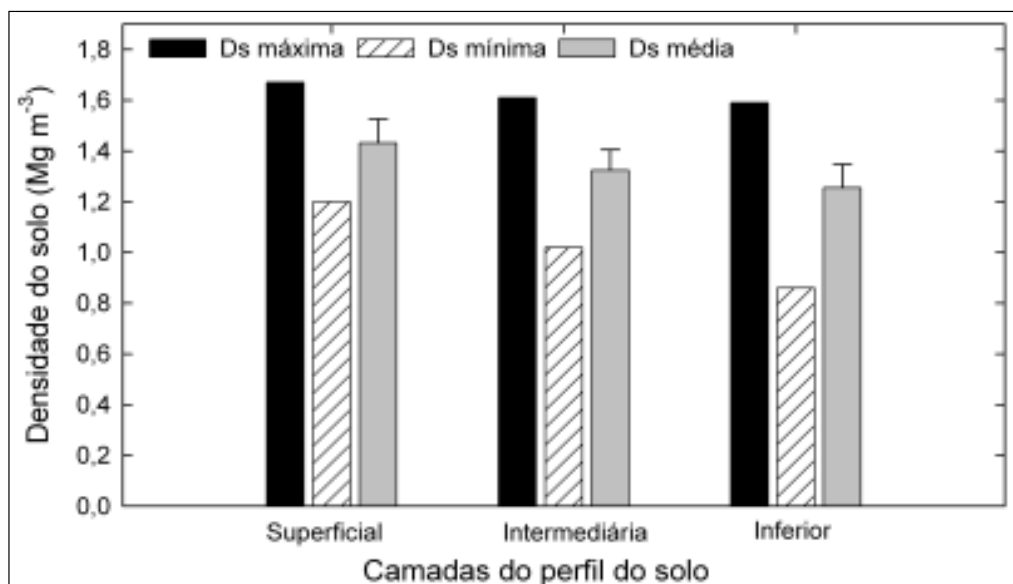


Figura 2 - Frações texturais médias, para as camadas superficial (0 a 25cm), intermediária (15 a 50cm) e inferior (35 a 75cm), observadas nas amostras de solo coletadas em áreas irrigadas da região das Missões e do Planalto do Estado do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2006. As barras verticais representam o desvio padrão.

respectivamente. Observou-se um incremento do teor de argila, com o aumento da profundidade do perfil de solo.

A textura do solo é uma das principais características dos horizontes (OLIVEIRA et al., 1992), e, juntamente com a estrutura, são os principais parâmetros que afetam a porosidade do solo. Segundo CARLESSO & ZIMMERMANN (2000), em solos de textura média e argilosa onde são comuns a ocorrência de agregados porosos e o elevado teor de matéria orgânica, os espaços porosos por unidade de volume são elevados. Já em solos de textura arenosa, a porosidade total é reduzida.

Na camada superficial, observou-se que os valores de macro e porosidade total foram inferiores àqueles das demais camadas do perfil do solo, enquanto que a microporosidade foi semelhante nas três camadas do perfil do solo (Figura 3). Um dos primeiros indicativos da ocorrência do processo de compactação é a redução do tamanho de poros (SILVA, 2003). A estrutura é modificada, sendo os macroagregados destruídos, e o solo se transforma numa estrutura maciça (TAVARES FILHO et al., 1999). Segundo SOANE & OUWERKERK (1994), um solo compactado apresenta aumento de sua densidade e resistência mecânica à penetração, além de redução na porosidade, principalmente na macro ou porosidade de aeração.

A macro média apresentada pelos solos na camada superficial foi de 0,074dm dm⁻¹. Esse valor é

inferior ao valor de 0,10dm dm⁻¹, indicado como crítico por REINERT et al. (2001). Segundo esses autores, em solos irrigados, quando o espaço aéreo do solo for inferior a 0,10dm dm⁻¹, a disponibilidade de oxigênio para as raízes é reduzida, implicando redução de geração de energia para as plantas.

O percentual médio de argila dos solos do RS para a camada superficial foi 499,8g kg⁻¹ (Figura 2). Para essa faixa de argila, o valor crítico de macro estabelecido nesse trabalho foi de 0,08dm dm⁻¹. Dessa forma, pode-se dizer que, em termos de macro, as amostras de solo coletadas na camada superficial dos solos irrigados do RS, apresentaram situação crítica.

A Ds média das amostras coletadas na camada superficial foi de 1,43Mg m⁻³ (Figura 4). Esse valor foi inferior ao limite de 1,45Mg m⁻³, estabelecido como crítico para amostras de solo pertencentes à faixa de 400 a 500g kg⁻¹ de argila (Figura 1). Entretanto, a Ds máxima observada nessa camada foi de 1,67Mg m⁻³, indicando que existem áreas compactadas em função da Ds, na camada superficial dos solos irrigados do RS. As camadas intermediária e inferior apresentaram Ds média de 1,32Mg m⁻³ e 1,26Mg m⁻³, respectivamente (Figura 4). Esses valores foram inferiores ao limite de 1,40Mg m⁻³ estabelecido como crítico para as amostras de solo pertencentes à faixa de 500 a 600g kg⁻¹ de argila (Figura 1). No entanto, a Ds máxima observada nessas camadas foi superior ao limite crítico estabelecido, indicando que algumas

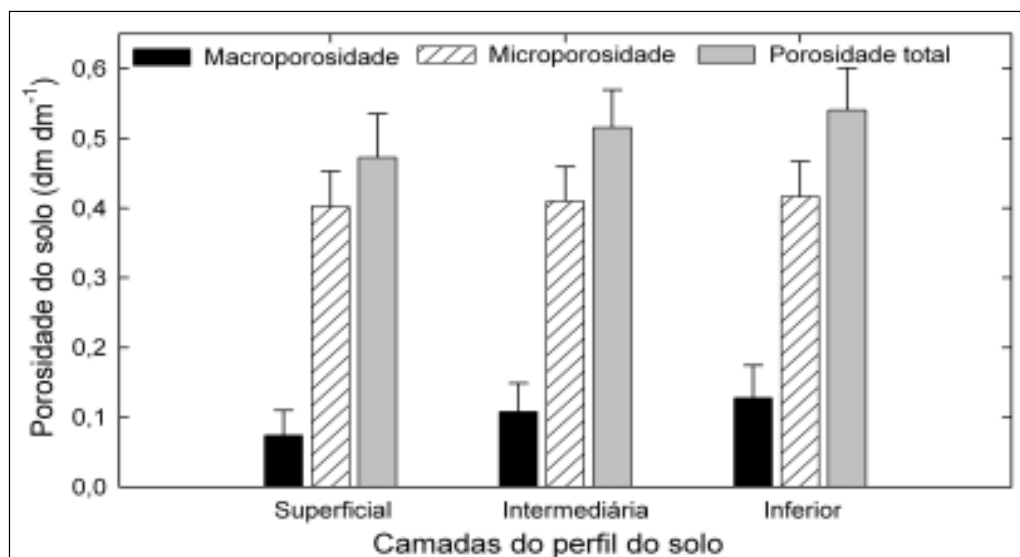


Figura 3 - Macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo, nas camadas superficial (0 a 25cm), intermediária (15 a 50cm) e inferior (35 a 75cm), de amostras de solo coletadas em áreas irrigadas da região das Missões e do Planalto do Estado do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2006. As barras verticais representam o desvio padrão.

áreas irrigadas do RS apresentam problemas de compactação também nas camadas inferiores do perfil do solo.

Vários autores, entre os quais REINERT (1990), HANKANSSON & MEDVEDEV (1995) e SILVA & RIBEIRO (1997), verificaram o aumento da Ds em lavouras sob plantio direto, com o passar dos anos. Esses autores consideram isso como consequência

normal do sistema plantio direto. No entanto, se esse aumento na Ds atingir determinados níveis críticos, o solo passa a ser caracterizado como compactado podendo causar prejuízos às culturas.

O maior percentual de área com problemas de compactação foi observado na camada superficial (Figura 5). Nesta camada, do total dos 6.627,7ha amostrados, 2.220,2ha (33,5%) não apresentaram

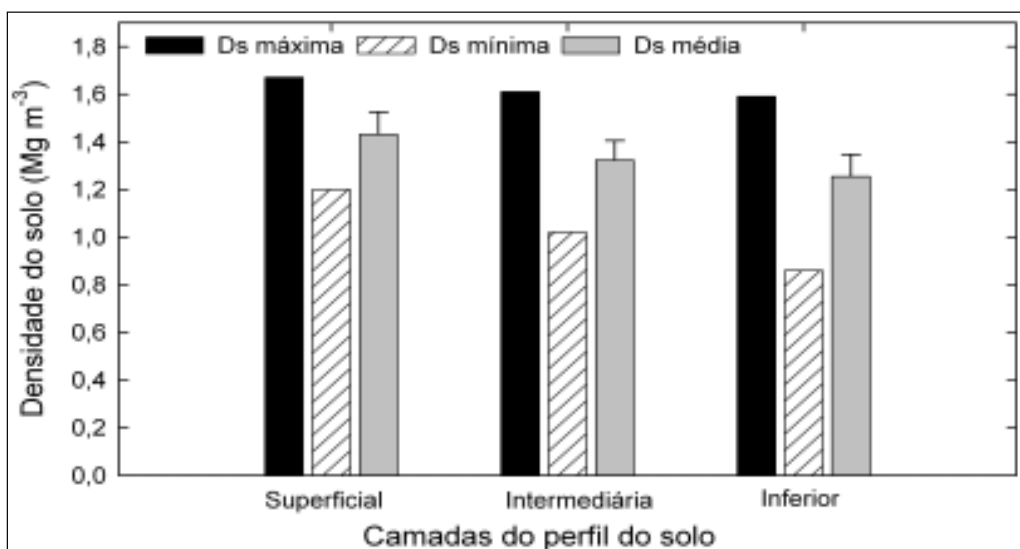


Figura 4 - Densidade do solo, nas camadas superficial (0 a 25cm), intermediária (15 a 50cm) e inferior (35 a 75cm) de amostras de solo coletadas em áreas irrigadas da região das Missões e do Planalto do Estado do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2006. As barras verticais representam o desvio padrão.

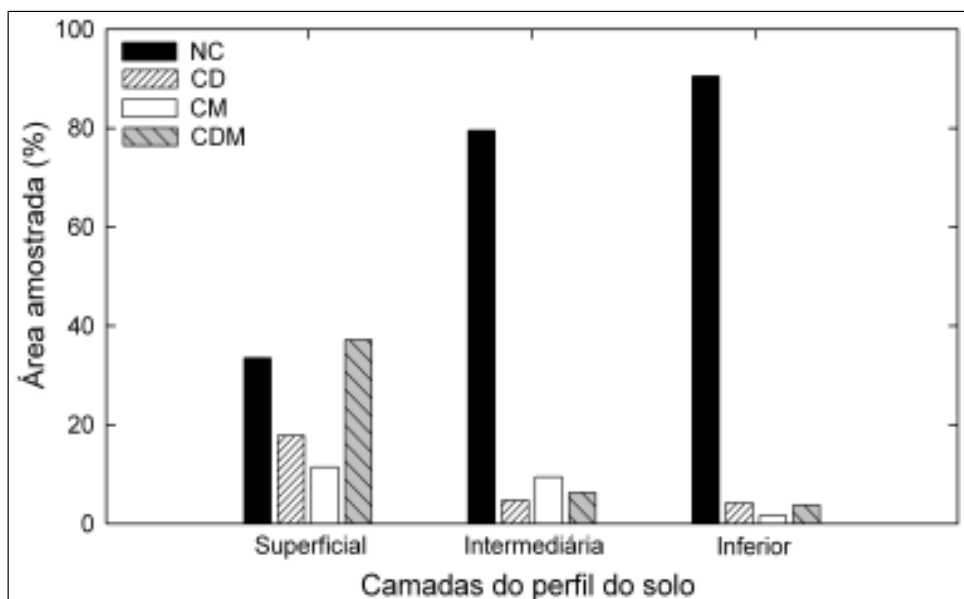


Figura 5 - Situação das áreas amostradas na região das Missões e do Planalto do Estado do RS, nas camadas superficial (0 a 25cm), intermediária (15 a 50cm) e inferior (35 a 75cm), em relação aos níveis críticos de densidade e macroporosidade do solo. Santa Maria, RS, 2006. (NC - Não-compactado; CD - compactado em função da densidade do solo; CM - compactado em função da macroporosidade; CDM - compactado em função da densidade do solo e da macroporosidade).

problemas de compactação; 1.179,7ha (17,8%) apresentaram-se compactados em função da Ds; 762,1ha (11,5%) apresentaram-se compactados em função da macro e 2.465,5ha (37,2%) apresentaram-se compactados em função da Ds e da macro.

CONCLUSÕES

As amostras de solo coletadas em áreas irrigadas por aspersão no Estado do Rio Grande do Sul foram classificadas, com maior frequência, na faixa de 400-500g kg⁻¹ de argila, nas camadas superficial e intermediária e na faixa de argila superior a 700g kg⁻¹ na camada inferior. Do total das áreas amostradas no RS, 66,5% apresentaram indicação de compactação do solo na camada superficial, 20,5% na camada intermediária e 9,5% na camada inferior.

REFERÊNCIAS

- CARLESSO, R.; ZIMMERMANN, F.L. **Água no solo: parâmetros para o dimensionamento de sistemas de irrigação**. Santa Maria: UFSM/Departamento de Engenharia Rural, 2000. 88p.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.
- FORSYTHE, W.M. Lãs propiedades físicas, los factores físicos de crecimiento y la productividad del suelo. **Fitotecnia Latino Americana**, v.4, p.165-176, 1967.
- GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. Part 1. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.343-411.
- HAKANSSON, I.; MEDVEDEV, V.W. Protection of soils from mechanical overloading by establishing limits for stresses caused by heavy vehicles. **Soil Tillage Research**, v.35, p.85-97, 1995.
- LETEY, J. Relationship between soil physical proprieties and crop productions. **Advances in Soil Science**, v.1, p.277-294, 1985.
- MICHELON, C.J. **Qualidade física dos solos irrigados do Rio Grande do Sul e do Brasil Central**. 2005. 92f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria.
- OLIVEIRA, J.B. de, et al. **Classes gerais de solos do Brasil - Guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2.ed. Jaboticabal: Funep/Unesp, 1992. 201p.
- REINERT, D.J. et al. Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R. et al. **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, RS, 2001. p.114-133.

REINERT, D.J. **Soil structural form and stability induced by tillage in a typic Hapludalf**. Michigan: Michigan State University, 1990. 129p.

SILVA, A.J.N.; RIBEIRO, M.R. Caracterização de Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: atributos morfológicos e físicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.677-684, 1997.

SILVA, V.R. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. 2003. 171f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Programa de Pós-graduação em Agronomia Universidade Federal de Santa Maria.

SOANE, B.D.; OUWERKERK, C. van. Soil compaction problems in world agriculture. In: SOANE,

B.D.; OUWERKERK, C. van. **Soil compaction in crop production**. Netherlands: Elsevier, 1994. p.01-21.

TAVARES FILHO, J. et al. Método do perfil cultural para a avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.111-119, 1999.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.333-339, 1996.

WATANABE, S.H. et al. Resistência do solo à penetração e porosidade de aeração de um latossolo vermelho distrófico sob plantio direto por dois anos. **Acta Scientiarum**, v.22 p.1055-1060, 2000.