

## VARIABILIDADE DA COMPRESSIBILIDADE E DO GRAU DE COMPACTAÇÃO DE UM ARGISSOLO CULTIVADO COM PESSEGUEIRO

LUIS EDUARDO AKIYOSHI SANCHES SUZUKI<sup>1</sup>; CARLOS REISSER JÚNIOR<sup>2</sup>; EZEQUIEL CESAR CARVALHO MIOLA<sup>3</sup>; PABLO ROSTIROLLA<sup>4</sup>; GILBERTO STRIEDER<sup>5</sup>; VINÍCIUS SALDANHA SCHERER<sup>5</sup>; ELOY ANTONIO PAULETTO<sup>6</sup>

**RESUMO:** Conhecer o histórico de pressões que o solo já foi submetido é importante para o futuro planejamento das práticas de cultivo, de modo a evitar a sua compactação adicional. O presente trabalho teve como objetivo avaliar parâmetros compressivos e o grau de compactação de um Argissolo Vermelho-Amarelo em diferentes locais de um pomar de pessegueiro, com e sem irrigação localizada. Neste experimento, instalado em 2005, foram avaliados os efeitos dos tratamentos (irrigado e não irrigado), posição de amostragem (rodado, entrelinha, linha e copa) e camada do solo (0 a 5 cm e 10 a 15 cm) na compressibilidade e no grau de compactação do solo. Para isso, amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas em dezembro de 2009. Verificou-se que a irrigação localizada por gotejamento e a camada do solo não influenciaram a compressibilidade e o grau de compactação, havendo efeito significativo das posições de amostragem. A densidade do solo, o grau de compactação e a pressão de preconsolidação foram maiores, e a porosidade menor, na posição de amostragem rodado, e decresceu na ordem: entrelinha, linha e copa. Com aumento da umidade do solo há diminuição da sua capacidade de suporte de carga. Equações matemáticas obtidas a partir da regressão entre a densidade e a umidade gravimétrica do solo com a pressão de preconsolidação, propostas nesse trabalho, podem auxiliar no monitoramento da compactação adicional pela densidade e, a partir da umidade, identificar o momento mais adequado para a entrada de máquinas na área a fim de evitar a compactação adicional.

**PALAVRAS-CHAVE:** Capacidade de suporte de carga do solo, Pressão de preconsolidação, Suscetibilidade do solo à compactação, Índice de compressão, Compactação relativa.

## VARIABILITY OF THE COMPRESSIBILITY AND DEGREE OF COMPACTNESS OF AN ARGISSOLO CULTIVATED WITH PEACH

---

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo pela Universidade Estadual Paulista, Licenciado em Geografia pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Mestrado em Ciência do Solo e Doutorado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Professor Associado da UFPel, Pelotas - Rio Grande do Sul. Email: dusuzuki@gmail.com.

<sup>2</sup> Engenheiro Agrícola pela UFPel, Mestrado em Engenharia Agrícola pela UFSM, Doutorado em Fitotecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA, Pelotas - Rio Grande do Sul. Email: carlos.reisser@embrapa.br.

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo pela UFSM, Mestrado em Agronomia pela UFPel, Doutorado em Ciência do Solo pela UFSM. Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio Grande, Campus São Lourenço do Sul, São Lourenço do Sul - Rio Grande do Sul. Email: ezequielmiola@gmail.com.

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo pela UFPel, Pelotas - Rio Grande do Sul. Email: pablo.rusti@hotmail.com.

<sup>5</sup> Engenheiro Agrícola pela UFPel, Pelotas - Rio Grande do Sul. Email: gilstrieder@gmail.com; viniusscherer@yahoo.com.br.

<sup>6</sup> Engenheiro Agrônomo pela UFPel, Mestrado e Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Professor da UFPel, Pelotas - Rio Grande do Sul. Email: pauletto\_sul@yahoo.com.br.

**ABSTRACT:** The knowledge of the history of pressures that the soil has already been subjected to is important to the future planning of practices in order to avoid its additional compaction. The present work aimed to evaluate compressive parameters and the degree of compactness of an Argissolo Vermelho-Amarelo in different places in a peach orchard, with and without localized irrigation. In this experiment, installed in 2005, the effects of treatments (irrigated and non-irrigated), sampling position (wheel line, interline planting, line planting and near the peach plant) and soil layer (0 to 5 cm and 10 to 15 cm) on compressibility and degree of compactness were evaluated. For that, soil samples with preserved structure were sampled in December 2009. It was found that the localized irrigation by drip and the soil layer did not influence the compressibility and the degree of soil compactness, with a significant effect of the sampling positions. The bulk density, the degree of compactness and the preconsolidation pressure were higher, and the porosity was lower, in the wheel line sampling position, and decreased in the order: interline planting, line planting and near the peach plant. With increased soil moisture, there is a decrease on its load-bearing capacity. Mathematical equations obtained from the regression between bulk density and gravimetric moisture of the soil with the preconsolidation pressure proposed in this study may help to monitor the occurrence of additional compaction by the bulk density and, using the soil moisture to identify the most suitable moment for the entrance of machines in the area to avoid further compaction.

**KEYWORDS:** Soil load-bearing capacity, Precompression stress, Soil susceptibility to compaction, Compression index, Relative compaction.

## 1 INTRODUÇÃO

O conhecimento do histórico de pressões que o solo já foi submetido é importante para seu manejo e monitoramento da sua qualidade estrutural.

Além disso, o intenso uso do solo, sem levar em consideração critérios técnicos e técnicas de conservação do solo e da água, pode levar a degradação do solo e do ambiente, havendo a necessidade de uso de estratégias de manejo do solo adequadas para evitar ou minimizar tais danos (SUZUKI et al., 2021).

Nesse sentido, a ocorrência de compactação adicional ao solo indica que a pressão aplicada foi superior à que ele já foi submetido, ocorrendo assim, degradação de sua estrutura, aumentando a densidade e diminuindo sua porosidade, deixando o solo com aspecto maciço (OLIVEIRA et al., 2003; SILVA e CABEDA, 2006). Esse é o conceito utilizado para a pressão de preconsolidação, que indica a capacidade de suporte de carga do solo (HOLTZ e KOVACS, 1981; DIAS JUNIOR e PIERCE, 1996), sendo que pressões menores que a pressão de preconsolidação causam deformações elásticas (recuperáveis) no solo e praticamente não ocorre alterações na sua estrutura, enquanto que pressões superiores causam deformações plásticas (não recuperáveis) e as propriedades físicas do solo alteram-se (HOLTZ e KOVACS, 1981; LEBERT e HORN, 1991).

Além disso, a pressão de preconsolidação apresenta estreita relação com a densidade (ALEXANDROU e EARL, 1998; IMHOFF et al., 2001; SILVA et al., 2002a), umidade (REINERT, 1990; IMHOFF et al., 2001; SILVA et al. 2002b; DIAS JUNIOR et al., 2002, 2004; LIMA et al., 2006; MOSADDEGHI et al., 2006; SILVA e CABEDA, 2006) e resistência mecânica do solo à penetração (CANARACHE et al., 2000; DIAS JUNIOR et al., 2004; LIMA et al., 2006; SUZUKI et al., 2008), podendo-se fazer uso dessas relações para o planejamento e manejo de solos agrícolas (ALEXANDROU e EARL, 1998).

Nesse sentido, o grau de compactação pode ser interessante nesse contexto pois, tem sido utilizado para caracterizar a compactação do solo e a resposta das culturas anuais em diferentes tipos de solo (CARTER, 1990; HÅKANSSON, 1990; LIPIEC et al., 1991; SILVA et al., 1997; SUZUKI et al., 2013) e possui a vantagem de ser independente do teor de argila do solo (HÅKANSSON, 1990; SILVA et al., 1997; SUZUKI et al., 2013).

O grau de compactação consiste na relação entre a densidade atual do solo e a densidade em algum estado de referência ou compactação máxima (HÅKANSSON, 1990), sendo esse estado de referência podendo ser obtido de diferentes maneiras: pelo teste de proctor (CARTER, 1990), e pelo teste de compressão uniaxial, utilizando uma pressão estática de 200 kPa em amostras de solo com sua estrutura alterada (HÅKANSSON, 1990; SILVA et al., 1997) ou 1600 kPa em amostras de solo com sua estrutura preservada (SUZUKI et al., 2013).

Alguns trabalhos avaliaram a variabilidade das propriedades físicas em pomares de frutas (LIMA et al., 2004; FIDALSKI e TORMENA, 2007), no entanto, devido a importância da fruticultura para um país de clima tropical e subtropical como o Brasil, assim como a variabilidade de que pode ocorrer nessas áreas devido ao manejo diferenciado nas diferentes posições do pomar, mais estudos devem ser realizados nesse sentido.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar parâmetros compressivos e o grau de compactação de um Argissolo em diferentes posições de amostragem de solo em um pomar de pessegueiro com e sem irrigação localizada.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Embrapa Clima Temperado, localizada no município de Pelotas, Rio Grande do Sul, com altitude média de 60 m. O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo Cfa. De acordo com a Estação Agroclimatológica de Pelotas, considerando as normais climatológicas para o período de 1971-2000, a temperatura média anual é de 17,8°C, sendo janeiro o mês mais quente, com média de 23,2°C, e julho o mês mais frio, com média de 12,3°C, a precipitação pluviométrica anual é de 1.366,9 mm (EMBRAPA/UFPEL/INMET, s.d.).

O experimento foi instalado em um Argissolo Vermelho-Amarelo (SANTOS et al., 2018) sob pomar de pessegueiro com quatro anos de idade, cultivar Maciel. A área experimental possui relevo plano com cobertura vegetal predominante de *Paspalum notatum* Flüggé, a qual foi mantida com o porte baixo, aproximadamente entre 5 e 10 cm. O controle das plantas espontâneas e a manutenção da altura da cobertura vegetal foi realizado através de capinas nas linhas e roçadas nas entrelinhas. A cada dois anos o controle de plantas espontâneas foi realizado com arado de aiveca puxado por trator e, um complemento manual com enxadas quando necessário, e nos outros anos foi realizado o controle químico.

O trator utilizado para os tratos culturais e demais atividades na área é de porte médio, com tração traseira, aproximadamente 70 cv de potência, com largura entre rodas de 1,85 m, peso aproximado de 3.000 kg e pneus traseiros 16,9 x 30 e dianteiros 11,2 x 24.

O pomar foi instalado em 2005, tendo sua primeira produção de frutos entre final de novembro e início de dezembro de 2008. As plantas foram enxertadas no porta-enxerto Capdebosq e o espaçamento utilizado no pomar foi de 2 m entre plantas e 7,20 m entrelinhas.

O delineamento experimental foi blocos ao acaso, com quatro repetições, onde foram avaliados os efeitos dos tratamentos (irrigado e não irrigado), posição de amostragem (na passagem do rodado do trator, entrelinha e linha de plantio e abaixo da copa do pessegueiro) e camada do solo (0 a 5 cm e 10 a 15 cm).

As plantas de pêssigo do tratamento com irrigação, foram irrigadas durante todo o ciclo (da brotação até a queda das folhas), por um sistema de irrigação localizado constituído

por uma linha individual de gotejadores, tendo entre cada planta 10 gotejadores com vazão individual de 0,9 L h<sup>-1</sup>. A irrigação foi realizada diariamente, ao final da tarde, durante um período de uma hora, de setembro de 2008 até abril de 2010.

Em dezembro de 2009 foram realizadas coletas de solo com sua estrutura preservada em diferentes posições de amostragem do pomar: na passagem do rodado do trator na entrelinha de plantio; na entrelinha de plantio; na linha de plantio (distante 100 cm do tronco do pessegueiro); e abaixo da copa (distante 15 cm do tronco do pessegueiro), nas camadas de 0 a 5 cm e 10 a 15 cm.

Em cada tratamento, posição de amostragem e camada de solo foram coletadas oito amostras de solo com estrutura preservada, em cilindros de aço inox com 3 cm de altura e 4,70 cm de diâmetro. Destas, duas foram equilibradas na tensão de 10 kPa e as demais, cada amostra foi equilibrada na tensão de 3, 6, 33, 100, 500 e 1.500 kPa, totalizando 128 amostras equilibradas na tensão de 10 kPa (2 tratamentos x 4 posições de amostragem x 2 camadas de solo x 4 blocos x 2 amostras) e 384 amostras nas demais tensões (2 tratamentos x 4 posições de amostragem x 2 camadas de solo x 4 blocos x 6 amostras).

As amostras com estrutura preservada foram saturadas por capilaridade e equilibradas nas tensões de 3 e 6 kPa na mesa de tensão, e nas tensões de 10, 33, 100, 500 e 1.500 kPa utilizando-se câmaras de pressão de Richards (KLUTE, 1986). Para cada tensão, as amostras foram submetidas ao teste de compressão uniaxial, com aplicação de cargas sucessivas e estáticas de 25; 50; 100; 200; 400; 800 e 1600 kPa, no consolidômetro de modelo CNTA-IHM/BR-001/07 para determinação da pressão de preconsolidação, que indica a capacidade de suporte de carga do solo (DIAS JUNIOR e PIERCE, 1996), do índice de compressão, que indica a suscetibilidade à compactação de um solo (CASAGRANDE, 1936) e de outros parâmetros relacionados à compressibilidade do solo como a porosidade, a densidade e a umidade gravimétrica da amostra de solo antes de ser submetida ao teste de compressão uniaxial, e a deformação do solo ao final do teste. Também foi obtida a densidade do solo correspondente à pressão de preconsolidação.

O grau de compactação do solo (GC) (HÅKANSSON, 1990) foi calculado pela seguinte equação:

$$GC = (DS/DS_{ref}) * 100$$

Onde: DS é a densidade atual do solo e DS<sub>ref</sub> é a densidade do mesmo solo em um estado de referência obtido em laboratório. Neste caso, a DS<sub>ref</sub> utilizada foi aquela obtida na pressão de 1.600 kPa no teste de compressão uniaxial, com as amostras equilibradas na tensão de 10 kPa (SUZUKI et al., 2013). O grau de compactação ou compactação relativa é expresso em porcentagem.

No mesmo dia, amostras de solo com estrutura não preservada foram coletadas para determinação da distribuição das partículas por tamanho (granulometria) e teor de matéria orgânica.

A distribuição das partículas do solo por tamanho, em amostras passadas em peneira de malha de 2,0 mm, foi realizada pelo método da pipeta (GEE e OR, 2002), cuja dispersão foi realizada por agitador horizontal com 120 rpm durante 4 horas, utilizando vidros de 100 mL contendo 20 g de solo, 10 mL de NaOH 6% (dispersante químico), 50 mL de água destilada e duas esferas de nylon com peso de 3,04 g, diâmetro de 1,71 cm e densidade de 1,11 g cm<sup>-3</sup> (SUZUKI et al., 2015). A argila (partículas de diâmetro menor que 0,002 mm) foi determinada por pipetagem, a areia foi separada em grossa (diâmetro entre 2 a 0,25 mm) e fina (diâmetro entre 0,25 a 0,053 mm) por peneiramento e o silte (diâmetro entre 0,053 a 0,002 mm) por cálculo entre a diferença da soma argila e da areia.

A determinação da matéria orgânica seguiu procedimento descrito em Tedesco et al. (1995).

Os resultados obtidos com as amostras de solo equilibradas na tensão de 10 kPa foram analisados estatisticamente pela análise de variância, e a comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Todas as amostras equilibradas nas diferentes tensões (3, 6, 10, 33, 100, 500 e 1.500 kPa) foram utilizadas para análise de correlação de Pearson.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo possui na camada de 0 a 15 cm, 68,76% de areia, 21,74% de silte e 10,49% de argila, sendo classificado como franco arenoso.

Apesar das amostras de solo com estrutura preservada terem sido equilibradas na mesma tensão (capacidade de campo = 10 kPa), a umidade volumétrica apresentou variação entre as posições de amostragem (Tabela 1), possivelmente associada às diferenças na porosidade criada pelos diferentes manejos e atividades de acordo com a posição de amostragem. O coeficiente de variação das amostras de solo foi baixo (inferior a 10%) e médio (entre 10 e 20%) para a entrelinha, de acordo com classes indicadas por Pimentel-Gomes e Garcia (2002).

**Tabela 1.** Valores mínimo, médio e máximo, e coeficiente de variação para a umidade volumétrica das amostras de solo com estrutura preservada equilibradas na tensão de 10 kPa e utilizadas no teste de compressão uniaxial.

	Posição de amostragem			
	Rodado	Entrelinha	Linha	Copa
Mínimo, m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,210	0,230	0,180	0,170
Médio, m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,245	0,270	0,216	0,213
Máximo, m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,280	0,340	0,240	0,240
Coeficiente de variação, %	6,49	11,34	7,57	9,75

A posição de amostragem influenciou todas as variáveis relacionadas à compressibilidade do solo, enquanto a camada de solo influenciou apenas o índice de compressão, e a irrigação não influenciou variável alguma (Tabela 2). O maior coeficiente de variação foi da pressão de preconsolidação (37,63%), sendo considerado muito alto conforme Pimentel-Gomes e Garcia (2002), enquanto os demais foram considerados baixos (DS, DSppc e GC) e médios (PT e IC).

**Tabela 2.** Análise de variância para os fatores e variáveis relacionadas à compressibilidade do solo em estudo. Amostras de solo equilibradas na tensão de 10 kPa.

<sup>1</sup> Fatores	<sup>2</sup> Variáveis					
	PT	DS	DSppc	IC	PPC	GC
Trat	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PA	**	**	**	**	**	**
Cam	ns	ns	ns	*	ns	ns
Trat x PA	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Trat x Cam	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PA x Cam	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Trat x PA x Cam	ns	ns	ns	*	ns	ns
Coeficiente de variação, %	11,91	8,73	8,32	17,03	37,63	5,12

<sup>1</sup>Trat (tratamento): irrigado, não irrigado; PA (posição de amostragem): rodado, entrelinha, linha, copa; Cam (camada): 0 a 5 cm, 10 a 15 cm. <sup>2</sup>PT: porosidade total no início do teste de compressibilidade; DS: densidade do

solo no início do teste de compressibilidade; DSppc: densidade do solo correspondente à pressão de preconsolidação; IC: índice de compressibilidade; PPC: pressão de preconsolidação; GC: grau de compactação. \*\*significativo a 1%; \*significativo a 5%; ns: não significativo.

Lima et al. (2004) avaliando a heterogeneidade da compactação de um Latossolo com pomar de laranja, constataram que o coeficiente de variação mais elevado foi da pressão de preconsolidação (34,54 %) comparado ao índice de compressão (10,34 %), indicou que o primeiro teve relação com a heterogeneidade do estado físico do solo nas diferentes posições de amostragem, enquanto o segundo às propriedades intrínsecas do solo.

A densidade do solo, a densidade correspondente à pressão de preconsolidação e o grau de compactação variaram significativamente de acordo com a posição de amostragem, decrescendo na seguinte ordem: rodado > entrelinha > linha > copa; em contrapartida, a porosidade aumentou no sentido contrário: copa > linha > entrelinha > rodado (Tabela 3).

**Tabela 1.** Teste de médias para as variáveis relacionadas à compressibilidade do solo, de acordo com a posição de amostragem e camada de solo. Amostras de solo equilibradas na tensão de 10 kPa.

Camada, cm	Posição de amostragem				Média
	Rodado	Entrelinha	Linha	Copa	
<b><sup>1</sup>PT, m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup></b>					
0 a 5	0,318	0,395	0,450	0,504	0,414 A
10 a 15	0,347	0,403	0,440	0,470	0,412 A
Média	0,333 d	0,399 c	0,445 b	0,487 a	
<b>DS, Mg m<sup>-3</sup></b>					
0 a 5	1,75	1,52	1,40	1,26	1,49 A
10 a 15	1,68	1,51	1,42	1,35	1,50 A
Média	1,72 a	1,52 b	1,41 b	1,31 c	
<b>DSppc, Mg m<sup>-3</sup></b>					
0 a 5	1,76	1,51	1,45	1,32	1,52 A
10 a 15	1,67	1,51	1,47	1,39	1,52 A
Média	1,72 a	1,51 b	1,46 b	1,36 c	
<b>IC</b>					
0 a 5	0,183	0,232	0,244	0,206	0,214 B
10 a 15	0,236	0,236	0,258	0,212	0,236 A
Média	0,210 b	0,234 ab	0,251 a	0,209 b	
<b>PPC, kPa</b>					
0 a 5	232,42	208,00	95,11	57,09	149,88 A
10 a 15	226,42	161,00	116,82	94,80	152,75 A
Média	229,42 a	184,50 b	105,97 c	75,95 c	
<b>GC, %</b>					
0 a 5	89,58	84,72	79,03	75,71	82,49 A
10 a 15	87,01	83,11	79,04	78,35	82,07 A
Média	88,30 a	83,92 b	79,04 c	77,03 c	

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. <sup>1</sup>PT e DS: respectivamente porosidade total e densidade do solo no início do teste de compressibilidade; DSppc: densidade do solo correspondente à pressão de preconsolidação; IC: índice de compressibilidade; PPC: pressão de preconsolidação; GC: grau de compactação.

Considerando a equação proposta por Reichert et al. (2009), para o cálculo da densidade crítica do solo baseada no intervalo hídrico ótimo ( $DS = -0,00078 \text{ argila} +$

1,83803), encontrou-se um valor médio estimado de  $DS = 1,83 \text{ Mg m}^{-3}$  (para um teor médio de argila da camada de 0 a 15 cm, variando entre 9 e 13%), ou seja, valor de densidade superior ao obtido nos diferentes pontos de amostragem do presente estudo. Por outro lado, Reichert et al. (2003) indicam valor entre 1,7 a  $1,8 \text{ Mg m}^{-3}$  como sendo crítico para solos de classe textural franco arenosa.

Em relação ao grau de compactação, Suzuki et al. (2013) observaram maior produtividade da soja em um grau de compactação de 82% para Argissolos e 85% para Latossolos. Segundo os autores, um baixo grau de compactação dificulta o contato solo-raiz e a retenção de água no solo, enquanto um elevado grau de compactação diminui a aeração do solo e aumenta sua resistência à penetração, afetando negativamente o crescimento de raízes e seu desenvolvimento. Enquanto que em um Argissolo sob diferentes usos, o grau de compactação de 73% correspondeu a uma macroporosidade de 10%, considerada adequada para o bom desenvolvimento das plantas, enquanto para um grau de compactação de 93%, a macroporosidade e a condutividade hidráulica são praticamente nulas (Suzuki et al., 2015). Para esta mesma macroporosidade, o grau de compactação correspondente foi de aproximadamente 88% para solos com 10% de argila, 79% para solos com 20 a 30% de argila e 75% com 30 a 70% de argila (Suzuki et al., 2013).

Considerando a classe textural franco arenosa do solo do presente trabalho (teor de argila entre 9 e 13%), e os resultados de grau de compactação citados na tabela 3, pode-se dizer que a posição rodado está no limite de apresentar problemas relativos à aeração do solo, enquanto as demais posições, mesmo apresentando diferenças significativas em seus valores, não são limitantes ao crescimento e a produtividade das plantas.

A pressão de preconsolidação reduziu na seguinte ordem: rodado > entrelinha > linha > copa, sendo que a linha e a copa são estatisticamente iguais (Tabela 3). Isso indica que quanto maior a porosidade e menor a densidade do solo, menor será a sua capacidade de suporte de carga. Por outro lado, embora o aumento da densidade do solo permita que o mesmo suporte maiores pressões sem causar compactação adicional, pode afetar negativamente o crescimento e desenvolvimento das plantas, o que não é este o caso considerando esse trabalho pois, especialmente para a posição entrelinha, o aumento da pressão de preconsolidação não esteve associado à valores de densidade e grau de compactação críticos para as plantas. Nesse sentido, Suzuki et al. (2008) chamam a atenção para até que ponto a capacidade de suporte de carga do solo poderia aumentar sem causar danos à sua estrutura e ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

Nota-se que mesmo com cobertura vegetal na entrelinha do pomar, houve compactação adicional com a passagem de máquinas.

Semelhante ao verificado no presente trabalho, em um pomar de laranja Lima et al. (2004) verificaram aumento da compactação de um Latossolo nas seguintes posições de amostragem: linha de plantio > entre rodado > rodado das máquinas e implementos agrícolas > projeção da copa das plantas.

Debiasi et al. (2008) verificaram que o uso de plantas de cobertura de inverno, sob semeadura direta, diminuiu a capacidade de suporte de carga na camada superficial de um Argissolo, enquanto que o tráfego de máquinas aumentou sua capacidade de suporte.

A curva de compressão do solo relaciona o índice de vazios ou a densidade do solo com o logaritmo da pressão aplicada e, a partir dela obtém-se a pressão de preconsolidação, que é um indicativo da capacidade de suporte de carga do solo (HOLTZ e KOVACS, 1981; DIAS JUNIOR e PIERCE, 1996). A aplicação de pressões menores que a pressão de preconsolidação causa deformações elásticas (recuperáveis) no solo e as propriedades físicas mantêm-se praticamente constantes, enquanto que a aplicação de pressões mais elevadas causa deformações plásticas (não recuperáveis) e as propriedades físicas do solo alteram-se consideravelmente (HOLTZ e KOVACS, 1981; LEBERT e HORN, 1991). Nesse sentido, a

densidade e a DSppc apresentaram valores semelhantes, reforçando que cargas superiores às pressões de preconsolidação obtidas resultarão em aumento da densidade e da DSppc, e redução da porosidade.

Portanto, é importante conhecer os níveis de pressão que o solo já sofreu e a umidade do solo no momento das operações que exigem trânsito de máquinas, evitando dessa forma a compactação adicional (DIAS JUNIOR e PIERCE, 1996).

O solo da posição linha apresentou maior suscetibilidade à compactação (maior IC), enquanto as posições rodado e entrelinha os menores valores de índice de compressão (Tabela 3).

Devido a heterogeneidade da compactação em um pomar de laranja, Lima et al. (2004) sugerem a adoção de linhas permanentes de tráfego de máquinas agrícolas para evitar a degradação física do solo nessas áreas. Petry (2014) verificou que houve maior densidade de raízes de pessegueiro na camada de 0 a 30 cm de um Argissolo, diminuindo em profundidade pelo aumento da saturação por  $Al^{3+}$  e, lateralmente, pela compactação na camada de 5 a 25 cm, entre 1,8 e 3,0 m de distância da linha de plantas, local de maior concentração de tráfego das máquinas. Enquanto que Ramos (2016) verificou que a prática de disposição dos resíduos da poda e o cultivo de aveia ou plantas espontâneas na entrelinha do pomar minimiza o impacto das máquinas na estrutura do solo.

O aumento da areia e diminuição da argila aumentam a porosidade (respectivamente  $r = 0,47^{**}$ ;  $r = -0,47^{**}$ ) e a deformação do solo no teste de compressão uniaxial (respectivamente  $r = 0,35^{**}$ ;  $r = -0,38^{**}$ ), e diminuem a densidade do solo (respectivamente  $r = -0,45^{**}$ ;  $r = 0,48^{**}$ ) (Tabela 4). A pressão de preconsolidação e o grau de compactação apresentaram correlação negativa com a areia (respectivamente  $r = -0,43^{**}$ ;  $r = -0,34$ ) e positiva com a argila (respectivamente  $r = 0,38^{**}$ ;  $r = 0,37^{**}$ ), possivelmente pela areia aumentar a porosidade do solo e pela argila ocupar os espaços entre as partículas. Os solos são mais facilmente compactados quando formados por partículas de diferentes tamanhos, onde as partículas menores ocupam os espaços formados entre as partículas maiores (TORRES et al., 1993).

**Tabela 4.** Correlação e significância entre as variáveis relacionadas à compressibilidade do solo, textura e matéria orgânica. Amostras de solo equilibradas em diferentes tensões.

	<sup>1</sup> Variáveis						
	PT	DS	UG	Def	IC	PPC	GC
<b>AT</b>	0,47**	-0,45**	ns	0,35**	ns	-0,43**	-0,34**
<b>AG</b>	ns	ns	ns	ns	0,31*	ns	ns
<b>AF</b>	ns	ns	ns	ns	-0,35**	ns	ns
<b>Silte</b>	ns	ns	ns	ns	0,34**	0,25*	ns
<b>Argila</b>	-0,47**	0,48**	ns	-0,38**	ns	0,38**	0,37**
<b>MO</b>	0,41**	-0,45**	0,49**	0,39**	ns	-0,32*	-0,40**
<b>PT</b>	-	-0,99**	0,40**	0,92**	0,33**	-0,69**	-0,92**
<b>DS</b>	-	-	-0,44**	-0,93**	-0,34**	0,68**	0,93**
<b>UG</b>	-	-	-	0,42**	ns	-0,55**	-0,42**
<b>Def</b>	-	-	-	-	0,40**	-0,78**	-1,00
<b>IC</b>	-	-	-	-	-	ns	-0,40**
<b>PPC</b>	-	-	-	-	-	-	0,78**

<sup>1</sup>PT, DS, UG: respectivamente porosidade total, densidade do solo e umidade gravimétrica no início do teste de compressibilidade UG: umidade gravimétrica no início do teste de compressibilidade; Def: deformação do solo ao final do teste; IC: índice de compressibilidade; PPC: pressão de preconsolidação; GC: grau de compactação; 1AT: areia total; AG: areia grossa; AF: areia fina; MO: matéria orgânica. \*\*significativo a 1%; \*significativo a 5%; ns: não significativo.

O aumento da matéria orgânica aumenta a porosidade ( $r = 0,41^{**}$ ), a umidade ( $r = 0,49^{**}$ ) e a deformação do solo no teste de compressão uniaxial ( $r = 0,39$ ), e diminui a densidade ( $r = -0,45^{**}$ ), o grau de compactação ( $r = -0,40^{**}$ ) e a capacidade de suporte de carga do solo ( $r = -0,32^*$ ) (Tabela 4). Nota-se a contribuição da matéria orgânica para melhoria da estrutura do solo. O aumento da deformação e diminuição da capacidade de suporte de carga do solo também reforçam este efeito positivo, contribuindo para a elasticidade do solo. Braida (2004) verificou que o aumento do teor de matéria orgânica em Argissolo e em Nitossolo deslocou a curva de compactação do solo, obtida pelo teste de Proctor Normal, para maiores valores de umidade e menores valores de densidade, ou seja, houve aumento da umidade necessária para atingir a densidade máxima.

Quanto menor a porosidade do solo ( $r = -0,92^{**}$ ) e maior sua densidade ( $r = 0,93^{**}$ ), menor o grau de compactação e, conseqüentemente, maior sua capacidade de suporte de carga ( $r = 0,78^{**}$ ) e menor sua suscetibilidade à compactação ( $r = -0,40^{**}$ ) (Tabela 4).

Silva e Cabeda (2006) também obtiveram correlação positiva e significativa entre grau de compactação e pressão de preconsolidação.

Com aumento da umidade do solo das amostras submetidas ao teste de compressão uniaxial, houve redução da capacidade de suporte de carga do solo ( $r = -0,55^{**}$ ) (Tabela 4). Esse fato se deve, possivelmente, a formação de uma película de água sobre as partículas sólidas do solo, que atua na sua lubrificação, facilitando o deslocamento e rearranjo das partículas nos espaços vazios do solo (SILVA et al., 2000), enquanto que a menor umidade reduz esse efeito lubrificante da água nas partículas do solo. Quando o solo está seco, o atrito entre estas partículas é elevado, o que dificulta o seu deslocamento e reorganização (SILVA e CABEDA, 2006).

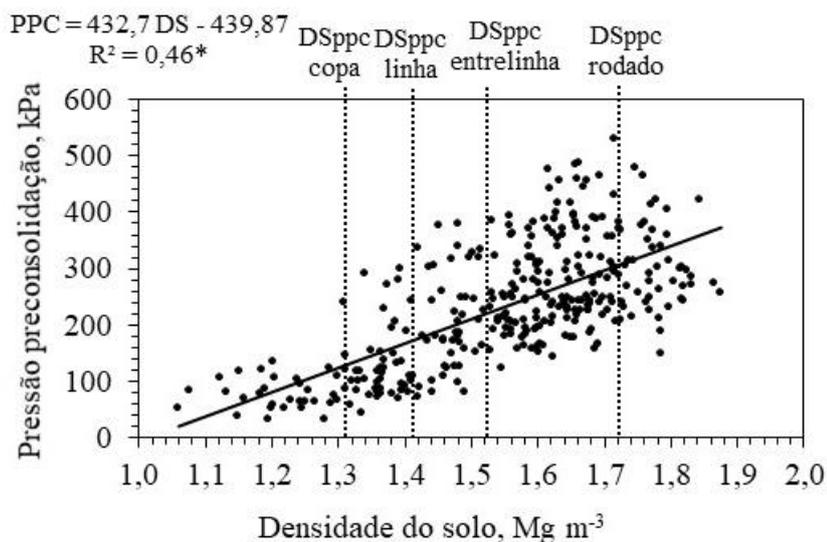
Alguns autores (REINERT, 1990; IMHOFF et al., 2001; DIAS JUNIOR et al., 2002) observaram redução linear da pressão de preconsolidação com aumento da umidade, embora outros autores (DIAS JUNIOR et al., 2002, 2004; LIMA et al., 2006; SILVA e CABEDA, 2006; MOSADDEGHI et al., 2006) apresentaram uma relação exponencial ou logarítmica. Silva et al. (2002b) também observaram relação entre umidade do solo e pressão de preconsolidação.

O aumento da densidade do solo ( $r = -0,93^{**}$ ) e redução da sua porosidade ( $r = 0,92^{**}$ ) tornam o solo mais resistente à deformação quando submetido à alguma pressão, aumentando sua capacidade de suporte de carga ( $r = -0,78^{**}$ ) e diminuindo sua suscetibilidade à compactação ( $r = 0,40^{**}$ ). Suzuki et al. (2008) também observaram correlação entre deformação do solo no teste de compressão uniaxial com pressão de preconsolidação e índice de compressão.

No teste de compressão uniaxial, os primeiros poros a serem afetados são os maiores, ocorrendo a expulsão do ar (REICHERT et al., 2010). Pelo fato das posições linha e copa apresentarem grande volume de poros, o solo nestas posições sofre maior deformação ao receberem uma determinada pressão.

Outros autores também verificaram relação entre pressão de preconsolidação e densidade do solo (REINERT, 1990; ALEXANDROU e EARL, 199; IMHOFF et al., 2001) e índice de compressão e densidade (SILVA et al., 2002b; IMHOFF et al., 2004; SUZUKI et al., 2008).

A relação entre densidade e umidade do solo com a pressão de preconsolidação são relevantes pois, a partir da densidade é possível monitorar a ocorrência de compactação adicional ao solo (Figura 1) e, com a umidade pode-se identificar o momento mais adequado para a entrada de máquinas na área para evitar a compactação adicional (Figura 2).

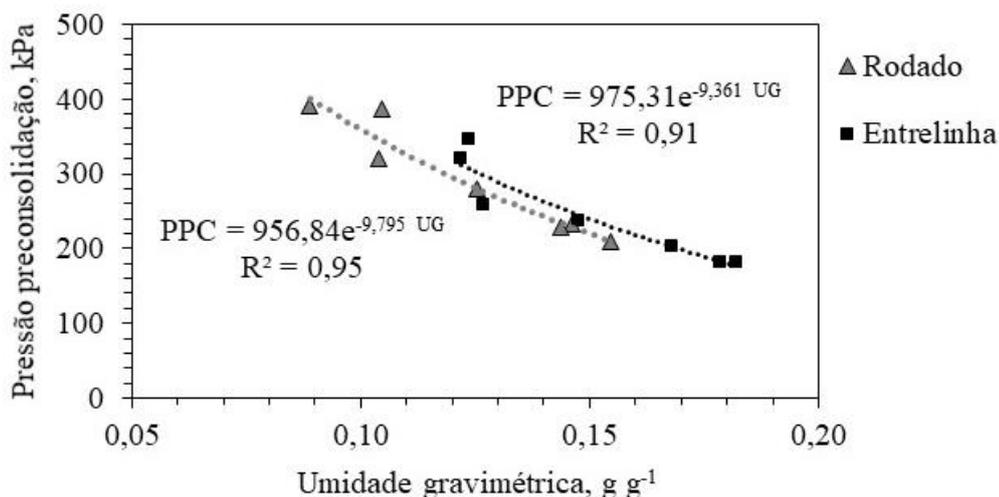


**Figura 1.** Análise de regressão entre densidade do solo (DS) e pressão de preconsolidação (PPC), obtida a partir de todo o conjunto de amostras de solo coletadas no experimento. DSppc: densidade do solo correspondente à pressão de preconsolidação.

A partir da Figura 1, pode-se identificar se ocorreu compactação adicional e se ela foi superior ou inferior entre as diferentes posições de amostragem. Considerando a densidade do solo na posição rodado como sendo aquela próxima a valores críticos para o desenvolvimento das plantas, qualquer compactação adicional nas demais posições de amostragem que não superem o valor da posição rodado, espera-se que não haverá restrição significativa ao crescimento das plantas.

De forma semelhante, Silva e Cabeda (2006) verificaram que a elevada capacidade de suporte de carga de um Argissolo sob mata nativa e outro com o uso de vinhaça, esteve associada à estabilidade estrutural do solo (menor grau de compactação), enquanto as demais áreas com irrigação e sequeiro tiveram sua maior pressão de preconsolidação relacionada com maior grau de compactação.

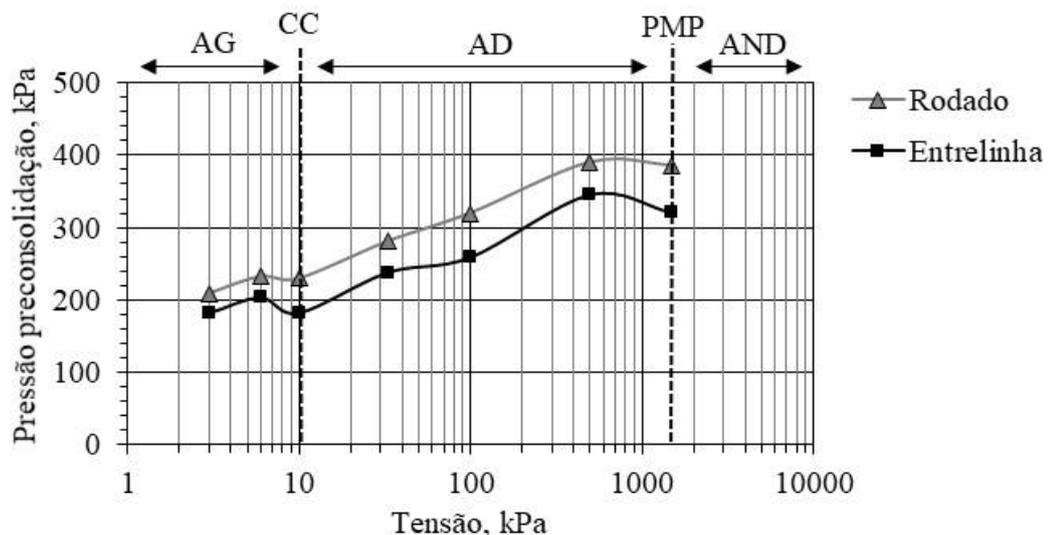
Utilizando-se das equações geradas pela regressão entre umidade gravimétrica e pressão de preconsolidação (Figura 2), pode-se avaliar a umidade no campo e definir se há possibilidade de entrada de máquinas na área para que não ocorra compactação adicional. Quanto menor a umidade do solo, maior sua capacidade de suporte de carga.



**Figura 2.** Regressão logarítmica entre umidade gravimétrica (UG) e pressão de preconsolidação (PPC), obtida a partir de todo o conjunto de amostras de solo das posições rodado e entrelinha coletadas no experimento.

Considerando as máquinas comumente utilizadas na área, a linha de regressão da posição rodado indica a possibilidade de tráfego com maior umidade sem que ocorra compactação adicional, comparada a entrelinha (Figura 2). Em cana-de-açúcar, Souza et al. (2012) verificaram que o manejo com controle de tráfego de máquinas resulta maior capacidade de suporte de carga, na linha de rodado, o que possibilita o tráfego de máquinas em solo com maior umidade.

Apresentando os valores de pressão de preconsolidação de acordo com a tensão de água no solo (Figura 3), observa-se seu comportamento de acordo com limites importantes de tensão de água como o volume de água não disponível (AND), representado por parte da água capilar (retida nos poros capilares) e pela água higroscópica (adsorvida às partículas do solo) e água de constituição (retida na rede cristalina dos minerais) (MARENCO e LOPES, 2005); água disponível (AD) que é o volume de água compreendido entre a capacidade de campo (CC = tensão de 10 kPa) e ponto de murcha permanente (PMP = tensão de 1.500 kPa); e a água gravitacional (AG), representada pela água presente nos poros de maior diâmetro (macroporos) e que infiltra no solo por ação gravitacional.



**Figura 3.** Relação entre a tensão de água no solo e pressão de preconsolidação, obtida a partir de amostras de solo das posições rodado e entrelinha coletadas no experimento e equilibradas em diferentes tensões de água.

Nota-se que nas tensões próximas ao ponto de murcha permanente (tensões maiores que 500 kPa) o solo apresenta sua maior capacidade de suporte (Figura 3), possivelmente por apresentar menor volume de água, que dificulta o rearranjo da partícula ao sofrer uma pressão, causando menor deformação do solo, fato que corrobora com Oliveira et al. (2003), que identificaram para um Latossolo que em tensões mais baixas ocorre maior deformação do solo, o que evidenciou a necessidade de observação da umidade do solo para decidir sobre a possibilidade de entrada de máquinas na área agrícola.

## 4 CONCLUSÃO

A partir dos resultados do trabalho realizado em um Argissolo Vermelho-Amarelo sob pomar de pessegueiro com quatro anos de implantação, onde foi avaliada a influência dos tratamentos (irrigado e não irrigado), posição de amostragem (rodado, entrelinha, linha e copa) e camada do solo (0 a 5 cm e 10 a 15 cm) na compressibilidade e grau de compactação do solo, pode-se concluir que:

A irrigação localizada e a camada do solo não influenciaram a compressibilidade e o grau de compactação do solo, havendo efeito significativo das posições de amostragem.

A densidade do solo e o grau de compactação foram maiores, e a porosidade menor, na posição de amostragem rodado, e decresceu na ordem: entrelinha, linha e copa.

A capacidade de suporte de carga do solo diminui conforme ocorre redução da densidade do solo e do grau de compactação, e aumento da porosidade, pois tornam o solo menos resistente à deformação quando submetido à determinada pressão.

Com aumento da umidade do solo há diminuição da sua capacidade de suporte de carga, pois a água facilita o rearranjo das partículas do solo.

As equações matemáticas obtidas a partir da regressão entre a densidade e a umidade gravimétrica do solo com a pressão de preconsolidação podem contribuir para monitorar, a partir da densidade, a ocorrência de compactação adicional ao solo e, a partir da umidade, identificar o momento mais adequado para a entrada de máquinas na área para evitar a compactação adicional.

## 5 AGRADECIMENTOS

À Embrapa Clima Temperado pela disponibilização da área experimental e apoio na condução do experimento. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo apoio financeiro concedido ao projeto. Ao CNPq/PIBIC pela concessão de bolsa de iniciação científica vinculada ao projeto.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDROU, A.; EARL, R. The relationship among the pre-compression stress, volumetric water content and initial dry bulk density of soil. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 71, p. 75-80, 1998.

BRAIDA, J. A. **Matéria orgânica e resíduos vegetais na superfície do solo e suas relações com o comportamento mecânico do solo sob plantio direto**. Santa Maria, 2004. 106 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal de Santa Maria.

CANARACHE, A.; HORN, R.; COLIBAS, I. Compressibility of soils in a long term field experiment with intensive deep ripping in Romania. **Soil and Tillage Research**, v. 56, n. 3-4, p. 185-196, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00143-4](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00143-4)

CARTER, M. R. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 70, n. 3, p. 425-433, 1990. <https://doi.org/10.4141/cjss90-042>

CASAGRANDE, A. **The determination of the pre-consolidation load and its practical significance**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND

FOUNDATION ENGINEERING, 1936, Cambridge. Proceedings. Cambridge: MA Harvard University, 1936. p. 60-64.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; MAZURANA, M. Capacidade de suporte e compressibilidade de um Argissolo, influenciadas pelo tráfego e por plantas de cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. especial, p. 2629-2637, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000700004>

DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 175-182, 1996.

DIAS JUNIOR, M. S.; SILVA, A. R.; FONSECA, S.; LEITE, F.P. Método alternativo de avaliação da pressão de preconsolidação por meio de um penetrômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 5, p. 805-810, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000500002>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS – UFPEL. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Normais climatológicas período: 1971/2000 (mensal/anual)**. Disponível em: <<http://agromet.cpact.embrapa.br/estacao/mensal.html>>. Acesso em: 02 de junho de 2020.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A. Homogeneidade da qualidade física do solo nas entrelinhas de um pomar de laranjeira com sistemas de manejo da vegetação permanente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 637-645, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000400004>

GEE, G. W.; OR, D. Particle-size analysis. In: DANE, J. H., TOPP, C. (Co-eds.). **Methods of soil analysis. Part IV: Physical methods**. 5nd ed. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 255-293.

HÅKANSSON, I. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. **Soil and Tillage Research**, v. 16, n. 1-2, p. 105-120, 1990. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(90\)90024-8](https://doi.org/10.1016/0167-1987(90)90024-8)

HOLTZ, R. D.; KOVACS, W. D. **An introduction to geotechnical engineering**. New Jersey: Prentice-Hall, 1981. 733 p.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; DIAS JUNIOR, M. S.; TORMENA, C. A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n. 1, p.11-18, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000100002>

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; FALLOW, D. Susceptibility to compaction, load support capacity, and soil compressibility of Hapludox. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 1, p. 17-24, 2004. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.1700>

KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 635-660.

LEBERT, M.; HORN, R. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. **Soil and Tillage Research**, v. 19, n. 2-3, p. 275-286, 1991. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(91\)90095-F](https://doi.org/10.1016/0167-1987(91)90095-F)

LIMA, C. L. R.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; LEÃO, T. P. Estimativa da capacidade de suporte de carga do solo a partir da avaliação da resistência à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 217-223, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000200003>

LIMA, C. L. R.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; LIMA, H. V.; LEÃO, T. P. Heterogeneidade de compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 409-414, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000300001>

LIPIEC, J.; HÅKANSSON, I.; TARKIEWICZ, S.; KOSSOWSKI, J. Soil physical properties and growth of spring barley related to the degree of compactness of two soils. **Soil and Tillage Research**, v. 19, n. 2-3, p. 307-317, 1991. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(91\)90098-I](https://doi.org/10.1016/0167-1987(91)90098-I)

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: Editora UFV, 2005. 451 p.

MOSADDEGHI, M. R.; HEMMAT, A.; HAJABBASI, M. A.; VAFAEIAN, M.; ALEXANDROU, A. Plate sinkage versus confined compression tests for in situ soil compressibility studies. **Biosystems Engineering**, v. 93, n. 3, p. 325-334, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.12.005>

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; CURI, N.; RESCK, D. V. S. Compressibilidade de um Latossolo Vermelho argiloso de acordo com a tensão de água no solo, uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 773-781, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000500001>

PETRY, H. B. **Distribuição de raízes de porta-enxertos de pessegueiros afetada pela acidez e compactação do solo**. Porto Alegre, 2014. 90 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: Exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

RAMOS, M. F. **Variabilidade de características físicas e hídricas do solo em pomares de pêssego com diferentes idades no município de Pelotas – RS**. Pelotas, 2016. 90 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos. Centro de Desenvolvimento Tecnológico. Universidade Federal de Pelotas.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência e Ambiente**, v. 27, p. 29-48, 2003.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S.; HORN, R. Mecânica do solo. In: van LIER, Q.J. **Física do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 29-102.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.002>

REINERT, D. J. **Soil structural form and stability induced by tillage in a typic Hapludalf**. 1990. 128 p. Thesis (PhD In Agronomy) - Michigan State University, East Lansing, MI, 1990.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. (E-book: il. color.)

SILVA, A. J. N. da; CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 6, p. 921-930, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000600001>

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Management versus inherent soil properties effects on bulk density and relative compaction. **Soil and Tillage Research**, v. 44, n. 1-2, p. 81-93, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(97\)00044-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(97)00044-5)

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. II – Grau de saturação em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n. 1, p. 9-15, 2002b. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000100002>

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Suscetibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 4, n. 2, p. 239-249, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000200001>

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SOARES, J. M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I - Estado inicial de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 1-8, 2002a. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000100001>

SOUZA, G. S. de; SOUZA, Z. M. de; SILVA, R. B. da; ARAÚJO, F. S.; BARBOSA, R. S. Compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar em manejo com e sem controle de tráfego. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 4, p. 603-612, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000400017>

SUZUKI, L. E. A. S.; ALMEIDA, W. R. S.; AMARAL, R. L. do; RAMOS, M. F.; REHBEIN, M. O.; KUNDE, R. J. Capacidade de uso e aptidão agrícola das terras de propriedades rurais localizadas na bacia hidrográfica do Arroio Pelotas. *ForScience*, v. 9, n. 1, e00873, 2021. <https://doi.org/10.29069/forscience.2021v9n1.e873>

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Degree of compactness, soil physical properties and yield of soybean in six soils under no-tillage. **Soil Research**, v. 51, n. 4, p. 311-321, 2013. <http://dx.doi.org/10.1071/SR12306>

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; KAISER, D. R. Dispersion and flocculation of Vertisols, Alfisols and Oxisols in Southern

Brazil. **Geoderma Regional**, v. 5, p. 64-70, 2015.  
<https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2015.03.005>

SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; LIMA, C. L. R. Estimativa da suscetibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 963-973, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300006>

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; LIMA, C. L. R. de. Degree of compactness and mechanical properties of a subtropical Alfisol with eucalyptus, native forest, and grazed pasture. **Forest Science**, v. 61, n. 4, p. 716-722, 2015. <http://dx.doi.org/10.5849/forsci.14-172>

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico 5)

TORRES, E.; ODILON, F. S.; GALERANI, P. R. **Manejo do solo para a cultura da soja**. Londrina: Embrapa-CNPSo, 1993. 71 p. (Circular Técnica, 12)