

JULIANO SILVA TELES

**DESENVOLVIMENTO DO JIGGS EM DIFERENTES GRAUS DE
COMPACTAÇÃO EM SOLOS DE SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Dr. Jackson Adriano Albuquerque
Coorientadora: Dra. Letícia Sequinatto

**LAGES, SC
2019**

Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração
automática da Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Teles, Juliano Silva
DESENVOLVIMENTO DO JIGGS EM DIFERENTES
GRAUS DE COMPACTAÇÃO EM SOLOS DE
SANTA CATARINA / Juliano Silva Teles. -- 2019.
78 p.

Orientador: Jackson Adriano Albuquerque
Coorientadora: Letícia Sequinatto
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciência Do Solo, Lages, 2019.

1. Grau de compactação. 2. Cynodon dactylon. 3. Densidade
máxima. I. Albuquerque, Jackson Adriano. II. Sequinatto, Letícia.
III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência Do Solo.
IV. Título.

JULIANO SILVA TELES

**DESENVOLVIMENTO DO JIGGS EM DIFERENTES GRAUS DE
COMPACTAÇÃO EM SOLOS DE SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Banca Examinadora

Presidente: _____

Dr. Jackson Adriano Albuquerque
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Membro Externo: _____

Dr. Luiz Paulo Rauber
Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC

Membro: _____

Dr. Álvaro Luiz Mafra
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Lages/SC, 15 de março de 2019

Aos meu amados pais
A meu irmão Thiago
À minha esposa e companheira Luciana
A Martina minha filha

Dedico

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus Pais Joair (Nico) (in memoriam) e Silvia (in memoriam) pelo amor, carinho e educação que sempre recebi e de onde estão sempre me guiando pelos caminhos corretos.

Ao meu irmão Thiago pelo apoio, companheirismo e pela transmissão de conhecimento.

A minha cunhada Janaina e minha afilhada Maria Eduarda pelo amor e carinho.

A minha eterna companheira, esposa Luciana, pelo amor, dedicação, paciência e respeito que sempre tivemos um pelo outro.

A Martina minha filha amada, que de agora em diante farei tudo para o seu melhor sempre.

Aos meus sogros Neiva e Leo Pedro, que foram uma parte muito importante da minha caminhada até aqui.

A Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), campus de Lages (CAV), ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo por proporcionar a execução do mestrado de forma gratuita e com qualidade.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo e ao CNPq pelo auxílio financeiro.

Ao professor Dr. Jackson Adriano Albuquerque pela orientação, amizade, confiança e ensinamento.

Aos demais professores do PPGSC pelos ensinamentos sobre como fazer ciência no Brasil.

Aos colegas do Laboratório de Física e Manejo do solo, que passaram de colegas para amigos da vida, estando juntos nos momentos de estudos e lazer.

Aos demais colegas do PPGSC.

A banca examinadora pela disponibilidade para avaliar e contribuir para finalizar esse projeto

Muito obrigado!

RESUMO

TELES, Juliano Silva. **DESENVOLVIMENTO DO JIGGS EM DIFERENTES GRAUS DE COMPACTAÇÃO EM SOLOS DE SANTA CATARINA.** 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação, Lages, SC., 2019.

As pastagens desempenham papel fundamental na pecuária brasileira, garantindo baixos custos de produção em função de boas condições climáticas para seu desenvolvimento, com exceção de áreas com restrições climáticas. Entretanto a degradação do solo devido a compactação reduz a oferta de pastagens, por isso é importante avaliar em qual grau de compactação esta oferta é afetada. O presente estudo teve por objetivo avaliar qual o grau de compactação é restritivo ao desenvolvimento do Jiggs e avaliar a capacidade do Jiggs em crescer em solo compactadas. Foram coletados quatro no Estado de Santa Catarina, Sangão (Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, PVAd), Lauro Muller (Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico, PVAdl), Água Doce (Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico, CHd) e Ipira (Argissolo Vermelho Eutroférico chernossólico, PVef). A densidade máxima foi determinada através do teste de Proctor para estabelecer os diferentes tratamentos (GC = 80, 85, 90, 95 e 100%). Após montagem de anéis com solo com estrutura alterada para cada grau de compactação foi determinado o volume de macro e microporos, a resistência a penetração e a condutividade hidráulica saturada. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em vasos contendo três camadas de solo: a inferior e a superior com solo no GC de 80% e a central com os diferentes GC. Nos vasos foi transplantado Jiggs. Foram realizados três cortes com intervalo de vinte e oito dias, a fitomassa coletada foi utilizada para avaliações de produtividade. Com aumento do grau de compactação diminuiu a macroporosidade e aumentando a microporosidade como consequência diminuindo a porosidade de aeração e aumentando a resistência do solo a penetração. A produção de Jiggs nos solos siltosos CHd e PVef e no solo arenoso PVAd foi afetada negativamente nos graus de compactação mais elevados (95 e 100%). O PVAdl foi no qual a produção de Jiggs foi afetada negativamente desde o grau de compactação de 80%. O CHd apresentou maior produção de Jiggs. Para os solos CHd, PVef e PVAdl as raízes apresentaram uma distribuição uniforme em toda a coluna de solo. No solo PVAd a partir do grau de compactação de 95% houve acúmulo de raízes no anel superior, indicando que em densidades elevadas o sistema radicular do Jiggs tem dificuldades para aprofundar no perfil de solo.

Palavras-chave: *Cynodon dactylon*, Compactação do solo, Densidade máxima

ABSTRACT

TELES, Juliano Silva. **DEVELOPMENT OF JIGGS IN DIFFERENT COMPACTION DEGREES IN SOILS OF SANTA CATARINA.** 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Santa Catarina State University. Soil Science Postgraduate Program, Lages, SC., 2019

Pastures play a key role in Brazilian livestock farming, ensuring low production costs due to good climatic conditions for their development, except in areas with climatic restrictions. However, soil degradation due to compaction reduces the pasture supply, so it is important to evaluate in which degree of compaction this supply is affected. The aim of this study was to evaluate the degree of compaction that is restrictive to the development of Jiggs and to evaluate the ability of Jiggs to cross compacted layers of soil. Four soils were collected in the 0 - 20 cm layer in different areas of the State of Santa Catarina, Sangão (Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, PVAd), Lauro Muller (Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico, PVAdl), Água Doce (Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico, CHd) and Ipira (Argissolo Vermelho Eutroférrico chernossólico, PVef). In the laboratory with the Proctor test, the maximum density of each soil could be obtained, thus stipulating the degrees of compaction (80, 85, 90, 95 and 100). After assembly of rings with deformed structure soil for each degree of compaction, the volume of macro and micropores, penetration resistance and saturated hydraulic conductivity. The experiment was conducted in a greenhouse, in pots containing three layers of soil: the lower and upper soil with 80% GC soil and the central one with the different GCs. In the vases Jiggs was transplanted. Three cuts were performed with interval of twenty-eight days, where the collected phytomass was used for productivity evaluations. Increasing the degree of compaction decreased macroporosity and increased microporosity consequently, reducing aeration porosity and increasing soil penetration resistance. The production of Jiggs in silt soils CHd and PVef and sandy soil PVAd was negatively affected in the highest compaction degrees (95 and 100%). The PVAdl was in which the production of Jiggs was negatively affected from the degree of compaction of 80%. CHd showed higher production of Jiggs. For the soils CHd, PVef and PVAdl the roots had a uniform distribution throughout the soil column. In the soil PVAD from the degree of compaction of 95% there was accumulation of roots in the upper ring, indicating that in high densities the root system of the Jiggs has difficulties to deepen in the soil profile.

Key words: *Cynodon dactylon*, Soil compaction, Maximum density

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Caracterização dos atributos físicos do solo	34
Tabela 2 Caracterização dos atributos químicos dos solos	34
Tabela 3 Doses de adubo e calcário utilizados para correção do solo.....	34
Tabela 4 Densidade do solo ($Mg.m^{-3}$) em relação ao grau de compactação (GC)	36
Tabela 5 Densidade máxima em relação a textura do solo.....	43
Tabela 6 Porosidade total ($m^3.m^{-3}$), macroporosidade ($m^3.m^{-3}$), microporosidade ($m^3.m^{-3}$), capacidade de campo ($m^3.m^{-3}$), ponto de murcha permanente ($m^3.m^{-3}$), água disponível ($m^3.m^{-3}$), e condutividade hidráulica saturada ($mm.h^{-1}$) em função dos diferentes graus de compactação (GC)	45
Tabela 7 Resistência do solo a penetração (RP) (MPa) em função da diminuição da umidade volumétrica na capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) em relação a densidade do solo (Ds)	50
Tabela 8 Massa seca de raiz (g) para os anéis superiores, intermediários e inferiores, onde os anéis superiores e inferiores o graus de compactação é de 80% de cada solo, e os anéis intermediários contém os graus de compactação de 80, 85, 90, 95 e 100% ...	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Muda de <i>Cynodon dactylon</i> variedade Jiggs.....	22
Figura 2 Curva de umidade versus densidade de um solo de textura média, indicando a densidade máxima e a umidade ótima de compactação.....	26
Figura 3 Curva característica de retenção de água no solo, para solos arenosos, siltosos e argilosos, com seus respectivos pontos de saturação, de umidade na capacidade de campo e de ponto de murcha permanente.....	30
Figura 4 Mapa dos locais de coleta de solos em quatro locais de Santa Catarina.....	33
Figura 5 Aparelho (Solotest®) para realização do teste de Proctor (a), extrator de amostra (b), amostra do solo CHd (c) e amostra do solo PVAdl (d).....	35
Figura 6 Esquematização da coluna de solo utilizado no experimento	37
Figura 7 Penetrômetro eletrônico de bancada modelo MA 933, marca Marconi.....	38
Figura 8 Montagem dos anéis utilizando marreta e batedor (a) e anéis montados (b) com os solo estudados	39
Figura 9 Determinação da condutividade hidráulica saturada (Ksat) em permeâmetro de carga variável.....	40
Figura 10 Variação de densidade do solo em função da variação de umidade obtido pelo teste de Proctor PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico típico; PVAdl: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico; CHd: Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico; PVef: Argissolo Vermelho Eutroférreico chernossólico.....	42
Figura 11 Densidade máxima do solo obtida pelo teste de Proctor e calculada através da equação proposta por Reichert et al (2009) utilizando os teores de argila.....	44
Figura 12 Curva de retenção de água no solo em função da umidade volumétrica e potencial de água no solo. CC: capacidade de campo, PMP: ponto de murcha permanente. a) PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico típico; b) PVAdl: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico; c) CHd: Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico; d) PVef: Argissolo Vermelho Eutroférreico chernossólico.....	47
Figura 13 Condutividade hidráulica do solo saturado (ksat, mm/h) em função da macroporosidade (m ³ .m ⁻³)	48
Figura 14 Resistência do solo a penetração (RP) (MPa) para os diferentes graus de compactação do solo (%), PVAd (a), PVAdl (b), CHd (c) e PVef (d)	49

Figura 15 Média de altura de plantas (cm) dos solos Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico típico (PVAd) (a) e Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico (PVAdl) (b) nos três cortes. Para os graus de compactação, médias com as mesmas letras não diferem entre si pelo Tukey com $\alpha = 0,05$	52
Figura 16 Média de altura de plantas (cm) dos solos Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico (CHd) (a) e Argissolo Vermelho Eutroférreico chernossólico (PVef) (b) nos três cortes. Para os graus de compactação, médias com as mesmas letras não diferem entre si pelo Tukey com $\alpha = 0,05$	54
Figura 17 Teor de massa seca (g) em relação ao grau de compactação (%) em três cortes para os solos Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico típico (PVAd) (a) e Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico (PVAdl) (b).	55
Figura 18 Teor de massa seca (g) em relação ao grau de compactação (%) em três cortes para os solos Argissolo Vermelho Eutroférreico chernossólico (PVef) (a) e Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico (CHd) (b).....	56
Figura 19 Massa seca acumulada dos 3 cortes (g) comparando cada solo em cada grau de compactação.....	57
Figura 21 Solo e desenvolvimento de raízes no anel intermediário da coluna do solo Argissolo Vermelho – Amarelo Distrófico latossólico (PVAdl) no grau de compactação de 100%	59
Figura 22 Acúmulo de raízes no fundo dos vasos ao final do experimento, no grau de compactação 80% no Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico (CHd).	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
1 .1 OBJETIVOS	20
1. 1. 1 Objetivo geral	20
1. 1. 2 Objetivos específicos.....	20
1. 2 HIPÓTESE	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2. 1 PANORAMA DA BOVINOCULTURA E USO DE PASTAGEM NO BRASIL.....	21
2.2 POROSIDADE DO SOLO.....	24
2. 3 COMPACTAÇÃO E DENSIDADE DO SOLO	24
2.4 GRAU DE COMPACTAÇÃO	26
2. 5 RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO	28
2.6 CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA, CAPACIDADE DE CAMPO, PONTO DE MURCHA PERMANENTE E ÁGUA DISPONÍVEL	29
2.7 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO	31
2.8 DESENVOLVIMENTO RADICULAR EM SOLOS COMPACTADOS	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1 SOLOS COLETADOS.....	33
3.2 TESTE DE PROCTOR	35
3.3 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM CASA DE VEGETAÇÃO	36
3.4 RESISTÊNCIA DO SOLO A PENETRAÇÃO	38
3.5 DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE E RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO	39
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 DENSIDADE MÁXIMA E POROSIDADE	42
4. 2 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA (KSAT)	47
4. 3 RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO	49

4. 4 ALTURA DE PLANTAS	51
4. 6 MASSA SECA DE RAIZ	58
5 CONCLUSÕES	61
6 REFERÊNCIAS	62
ANEXOS	73

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor e o maior exportador mundial de carne bovina. Praticamente toda a produção brasileira tem como base as pastagens, a forma mais econômica e prática de produzir e fornecer alimentos aos bovinos (FERRAZ; FELÍCIO, 2010). As pastagens, portanto, desempenham papel fundamental na pecuária brasileira, garantindo baixos custos de produção em função de boas condições climáticas para seu desenvolvimento, com exceção de áreas com restrições climáticas.

É comum destinar áreas de difícil acesso e de menor potencial produtivo para a produção de pastagens. Além disso, a criação de gado, por ter capacidade de se autotransportar, se adapta a regiões onde a infraestrutura de estradas é precária e o mercado consumidor é distante. Por essas características, principalmente a bovinocultura de corte, é considerada atividade pioneira na ocupação de áreas de fronteira agrícola no Brasil (DIAS – FILHO, 2013).

Essas características, por um lado podem ser vantajosas, mas por outro resultam em baixo investimento no uso de tecnologias e insumos na formação e produção de pastagens no Brasil. A principal consequência é a alta incidências de pastagens degradadas em todo território brasileiro (DIAS-FILHO, 2011).

Segundo os autores Ribeiro & Pereira (2011), uma opção para obtenção de alimentação animal a pasto, são as gramíneas do gênero *Cynodon*, pois apresentam alto potencial produtivo e alto valor nutricional, além de responderem bem a adubação. O Jiggs se destaca entre as espécies, por apresentar alta produtividade e resistência em solos mal drenados (PEDREIRA, 2010), além de suportar as mais diversas condições climáticas, assim, mostra o seu potencial produtivo mesmo durante as diversas estações do ano (AGUIAR et al., 2014).

O Brasil conta com aproximadamente 172 milhões de hectares de pastagens e Santa Catarina tem, aproximadamente, 2 % desse total (3,45 milhões de hectares). Segundo Dias-Filho (2011) de 50 a 70 % das áreas com pastagem no Brasil estão degradadas, em diferentes graus, por restrições biológicas, químicas e/ou físicas. Dentre os indicadores de degradação os atributos físicos do solo são os principais, devido sua sensibilidade às alterações no manejo do solo, principalmente quando se utiliza máquinas e implementos agrícolas e pisoteio animal.

O monitoramento da qualidade pelos atributos físicos do solo é importante para a manutenção e avaliação da sustentabilidade dos sistemas agropecuários. Além disso, o monitoramento dos atributos físicos, como a porosidade, densidade, resistência a penetração e condutividade hidráulica, propicia melhor qualidade dos produtos, mecanização com mais responsabilidade, racionalização no uso dos recursos naturais e redução da degradação ambiental (DORAN & PARKIN, 1994).

Densidade e resistência à penetração são importantes indicadores da qualidade física do solo. O aumento da densidade do solo pode se dar por vários fatores, que vai desde a alta taxa de ocupação de pastagem até o excesso de trânsito de maquinário pesado. A compactação reduz a porosidade, permeabilidade e disponibilidade de nutrientes e água e aumentar a resistência do solo a penetração das raízes. (CAMARA & KLEIN, 2005; NICOLOSO et al, 2008).

A bibliografia é escassa em estudos que relacionam a produção de Jiggs em solos compactados, tão pouco em qual grau de compactação que sua produtividade é reduzida. Desta forma, é necessário avaliar em qual nível de compactação o crescimento do capim Jiggs diminui. Assim, com os resultados obtidos no presente estudo, os produtores podem produzir o capim Jiggs até certo limite de densidade do solo sem precisar ter gastos com descompactação mecânicas.

1 .1 OBJETIVOS

1. 1. 1 Objetivo geral

Este estudo objetivou avaliar qual grau de compactação é restritivo ao desenvolvimento do capim Jiggs, bem como avaliar a capacidade das raízes de Jiggs crescerem em camadas compactadas.

1. 1. 2 Objetivos específicos

Avaliar a mudança nas propriedades físicas com o aumento do grau de compactação em quatro solos de Santa Catarina.

Avaliar os efeitos dos graus de compactação na produção de fitomassa da parte aérea e sistema radicular do Jiggs.

Analizar a capacidade das raízes de Jiggs crescer em camadas compactadas.

1. 2 HIPÓTESE

O desenvolvimento da pastagem Jiggs será afetado negativamente em graus de compactação acima de 90% nos solos arenosos, mas será menos afetado em solos siltosos do Estado de Santa Catarina.

Devido seu sistema radicular fasciculado e abundante as raízes de Jiggs tem a capacidade de crescer em camadas compactadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. 1 PANORAMA DA BOVINOCULTURA E USO DE PASTAGEM NO BRASIL

O Brasil tem o segundo maior rebanho bovino do mundo com aproximadamente 218 milhões de cabeça de gado (BARBOSA et al., 2015). Segundo o autor o país também é o maior exportador de carne em toneladas e em faturamento, exportando cerca de 20 % de sua produção. Santa Catarina tem aproximadamente 4,6 milhões de cabeça de gado (MAPA, 2017) sendo equivalente a 2,1% do rebanho nacional.

A criação de gado bovino no Brasil é, de longe, a atividade econômica que ocupa a maior extensão de terras. Segundo o censo agropecuário de 2006 (IBGE, 2007), as áreas de pastagens ocupam no país aproximadamente 172 milhões de hectares. Santa Catarina consta com aproximadamente com 3,5 milhões de ha de pastagem, equivalente a 2% do total nacional (IBGE, 2007). Mais de 80% dos bovinos são criados a pasto (FERRAZ, FELÍCIO, 2010). Isso torna a implantação de pastagem perenes, com espécies exóticas, de extrema importância para melhorar a produtividade do sistema.

Algumas espécies exóticas alcançaram expressiva participação nos sistemas agropastoris em uma ou outra época, mas nem todas conseguiram superar as dificuldades enfrentadas pelo lento processo de lançamento de cultivares e posterior aceitação e utilização pelos produtores rurais. É o caso das gramíneas anuais como centeio (*Secale cereale* L.), triticale (*Triticosecale Wittmack*), capim-lanudo (*Holcus lanatus* L.); das perenes como festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.), faláris (*Phalaris aquatica* L.) e capim-dos-pomares (*Dactylis glomerata* L.); e das leguminosas como trevo-branco (*Trifolium repens* L.), ervilhaca (*Vicia sativa* L.) e trevo-vermelho (*Trifolium pratense* L.), sendo este último ainda de expressão no sul do país (BAIER, 1994; PRESTES; CÓRDOVA, 2004; FONTANELI; FONTANELI; SANTOS, 2012).

Segundo Athayde et al. (2005) o uso de gramíneas do gênero *Cynodon* apresenta grande potencial produtivo no sul do Brasil pelo clima ser adequado para seu cultivo. Segundo os autores as espécies do gênero *Cynodon* que são cultivadas são Tifton 68 (*C. nlemfuensis* Vanderyst), Tifton 78 (*C. dactylon*), Tifton 85 (*Cynodon spp.*), Florona (*C. nlemfuensis*) e o Jiggs (*C. dactylon*), este último é uma das mais recentes cultivares de *Cynodon* introduzidas no Brasil.

O Jiggs é resultado de seleção de grama bermuda por um fazendeiro do leste do Texas chamado J. C. Riggs (BADE, 2000). Não possui registros oficiais de sua introdução no Brasil,

porém, tem se desenvolvido rapidamente, principalmente entre criadores de cavalo e gado (FONSECA; MARTUSCELLO, 2010). Este cultivar de *Cynodon* está recebendo grande atenção pelos produtores dos EUA e Brasil nos últimos anos (AGUIAR et al., 2014; SCAGLIA & BOLAND, 2014; SILVA et al., 2015, 2016), porém, segundo Fagundes et al. (2011) há poucos estudos na área nutricional e manejo de solo para que essa espécie atinja seu potencial máximo.

O Jiggs é uma planta perene, de porte intermediário, que forma um dossel denso e de cor verde-clara (Figura 1). Possui folhas e estolões muito finos e poucos rizomas, que também não são muito grossos (MISLEVY, 2002). Sua propagação se dá através de mudas ou estolões, é uma espécie competitiva, seu crescimento inicial é rápido, em curto prazo fecha o estande e após seu estabelecimento torna-se persistente (FONSECA; MARTUSCELLO, 2010). Seu sistema radicular é fasciculado, onde não se distingue a raiz principal das raízes secundárias e profundas. Alencar (2007), estudou a profundidade efetiva do sistema radicular em seis gramíneas e encontrou para o Capim Estrela (*Cynodon nlemfuensis* L.) profundidade de 0,60 m. Allen et al. (1998) relatam que as raízes da grama Bermuda (*Cynodon dactylon* L. Pers.) foram encontradas a profundidades de 1,0 a 1,5 m.

Figura 1 Muda de *Cynodon dactylon* variedade Jiggs



Fonte: br.vazlon.com (2019)

Evers et al. (1996) relataram que durante o estabelecimento, a taxa de cobertura do solo de Jiggs foi maior que do Tifton 85 e 10 outras espécies de grama bermuda no Texas. Jiggs

também teve maior altura de dossel no primeiro ano após o estabelecimento e altura de dossel semelhante à do Tifton 85 nos dois anos seguintes. Pedreira (2018) em um Nitossolo Háplico avaliou as características estruturais do dossel das forragens Jiggs e Tifton 85 e seu desempenho produtivo, sendo o Tifton 85 considerado, pelo autor, a melhor forrageira do gênero *Cynodon*, pois seu potencial já é conhecido. O Jiggs apresentou potenciais produtivos semelhantes para acúmulo total de forragem ($16,8 \text{ Mg.ha}^{-1}$), taxa de acúmulo de forragem, interceptação luminosa, índice de área foliar e ângulos foliares, além de melhor proporção de material verde em relação ao Tifton 85, com a mesma proporção de folhas e maior proporção de colmos, demonstrando o quanto interessante pode ser sua utilização em sistemas de produção.

Radünz (2005) comparou três forrageiras do gênero *Cynodon* (Tifton 85, Tifton 78 e Jiggs) sob pastejo de equinos em um Latossolo Vermelho-Amarelo álico com horizonte glei e textura argilosa. Relatou ingestão mais elevada da forrageira Jiggs. Com maior quantidade de colmos, o Jiggs teve a preferência dos equinos pelo fato da mesma apresentar maior quantidade de folhas. Ressaltou que o Jiggs tem uma superioridade em caráter nutritivo quando comparado com as demais espécies analisadas. Em seu estudo, Brandstetter (2018), teve por objetivo avaliar a produção de Jiggs ao longo de um ano em sistema de lotação intermitente para a produção de bovinos leiteiros e a qualidade de leite produzido. Verificou a eficiência produtiva, tanto para a qualidade do leite quanto para a forragem, estando somente limitado no inverno pelas condições climáticas as quais prejudicaram os parâmetros analisados.

Segundo Rezende (2015) em um estudo comparativo de características estruturais, bromatológicas e produtivas de Jiggs e Tifton 85 fertilizados com macronutrientes, a Tifton 85 apresentou melhor perfilhamento em relação a Jiggs, porém, o Jiggs teve maior percentagem de fibra detergente neutro em todas as avaliações, enquanto que a Tifton 85 apresentou maior porcentagem de fibra detergente ácido. Concluiu que a Jiggs apresenta melhor qualidade de fibra e maior digestibilidade de seus componentes em relação a Tifton 85.

Segundo Macedo et al. (2000), a degradação das pastagens é um processo que evolui de perda de vigor e produtividade das forrageiras até a degradação do solo e dos recursos naturais em função dos manejos inadequados. Segundo os autores esse processo é causado pela má escolha da espécie forrageira (inadequada para região), falta de adubação de manutenção e manejo inadequado da pastagem. Essa degradação necessita ser revertida para garantir a produtividade e a viabilidade econômica da produção. Dias-Filho (2011), ressalta que a degradação das pastagens pode ser evitada com o uso de tecnologias para a manutenção da produtividade, levado em consideração o clima, espécies forrageira, lotação animal e sistema de manejo a serem adotados.

2.2 POROSIDADE DO SOLO

A porosidade do solo é a fração volumétrica do solo ocupada por água ou ar, portanto, é o espaço onde ocorrem os processos dinâmicos do ar e solução do solo (HILLEL, 1998). Segundo Klein (2014) a distribuição do diâmetro dos poros condiciona o comportamento físico-hídrico do solo, sendo comumente separados em macroporos ($> 80 \mu\text{m}$), mesoporos (30 a 80 μm) e microporos ($< 30 \mu\text{m}$). Os microporos servem para armazenar água, os mesoporos são responsáveis pelo movimento de água por capilaridade e local de exploração de raízes mais finas, enquanto que os macroporos são responsáveis pela drenagem da água, pela entrada e saída dos gases no solo e pela penetração das raízes das plantas (REINERT; REICHERT, 2006).

Quantidades similares de poros grandes estão presentes tanto em solos arenosos como nos de textura fina bem agregados, mas os solos arenosos possuem pouco poros intra agregados, e deste modo apresentam menor porosidade total (BRADY & WEIL, 2016; BRAIDA et al, 2011; DIAS JUNIOR, 2003).

Brady & Weil (2016) relatam que um solo com $0,50 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ de porosidade total é considerado ideal para um solo estruturado e com condições satisfatórias para o crescimento de plantas. Normalmente, considera-se que o espaço aéreo de 10% de macroporos é suficiente para arejar o solo e satisfazer sua demanda respiratória (REINERT; REICHERT, 2006), mas abaixo desse valor restringe o crescimento das plantas (BAVER et al., 1972) ao restringir o fluxo de ar (XU et al., 1992), de água e nutrientes na zona de desenvolvimento radicular (SILVEIRA JUNIOR et al., 2012).

De acordo com REICHERT et al. (2007), poros maiores que $30 \mu\text{m}$ são os primeiros a serem destruídos no processo de compactação, os quais são substituídos por poros menores, responsáveis, principalmente, pela retenção de água. A redução da macroporosidade, especificamente nas regiões mais úmidas, é uma das alterações nas propriedades físicas do solo causada pela compactação, o que diminui a difusão de gases junto ao sistema radicular das plantas, com prejuízos ao seu desenvolvimento (STEPNIEWSKI et al., 1994).

2.3 COMPACTAÇÃO E DENSIDADE DO SOLO

A compactação do solo é definida como o adensamento do solo quando aplicada energia mecânica (HOLTZ, KOVACS, 1981). Para Hillel (1998) a compactação é uma consequência indesejada causada pela mecanização, que reduz o crescimento das culturas e sua produtividade. Na pedologia, a compactação é definida como um rearranjo das partículas do

solo (CAMARGO, ALLEONI, 1997), com redução do espaço poroso entre as partículas e aumento da densidade do solo.

Segundo Reichert et al. (2003), as máquinas e implementos agrícolas exercem uma grande pressão no solo, e assim como o pisoteio animal podem provocar a compactação. Um bovino de aproximadamente de 500 kg exerce uma pressão de compactação próximo de 0,21 MPa enquanto um trator de esteira pode exercer somente 0,01 a 0,02 MPa (SCHNEIDER et al., 1978). Souza et al. (1998) estudaram a influência da pressão de compactação e relataram que a pressão do pisoteio animal foi 106% maior que a pressão exercida pelo trator. Segundo Lanzanova (2007) a compactação causada pelo pisoteio animal se dá na camada superficial do solo (0 – 10 cm), Fator que diminui a infiltração de água.

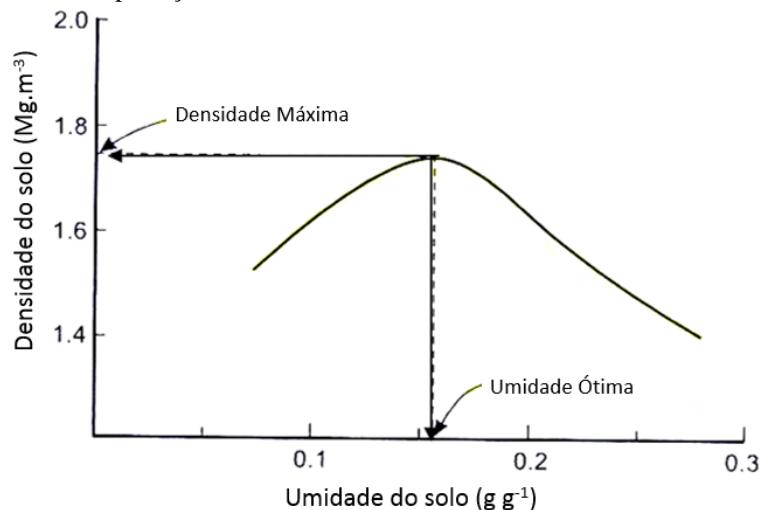
A densidade é um dos atributos mais estudados na caracterização física de um solo, definida como a relação entre o volume e a massa do solo seco. É afetada pela granulometria e pelas modificações na estrutura, ou seja, é alterada pela compactação do solo (KLEIN, 2014, REICHERT et al., 2007). Os solos agrícolas têm ampla faixa de densidade (0,9 a 1,8 Mg.m⁻³) devido às suas características físicas únicas, incluindo a textura e o teor de MO (MARCOLIN & KLEIN, 2011; KLEIN, 2014). Solos mais arenosos são mais densos e os mais argilosos menos densos (BUENO; VILAR, 1998; LIBARDI, 2005). As partículas sólidas dos solos de textura fina tendem a se organizar em grânulos porosos, principalmente quando o teor de MO for adequado a agregação. Nestes solos, existem poros tanto entre como dentro dos grânulos, esta condição garante um alto espaço poroso total e baixa densidade do solo (HILLEL, 1998; BRADY & WEIL, 2016). Por outro lado, solos arenosos apresentam conteúdo de matéria orgânica geralmente baixo, as partículas sólidas estão menos suscetíveis a formarem agregados, e a densidade do solo é normalmente maior que em solos de textura fina.

Para normalizar os limites de densidade do solo em função da granulometria, matéria orgânica e mineralogia, tem sido utilizado o conceito de densidade relativa ou grau de compactação, que é a relação da densidade do solo a campo com a densidade máxima que é obtida pelo ensaio de Proctor Normal em laboratório (BEUTLER et al., 2005; HAKANSSON; LIPIEC, 2000; KRZIC et al., 2003). Neste documento será utilizado o termo Grau de Compactação.

Ralf Proctor em 1933 publicou alguns artigos onde, pela primeira vez, foi anunciado um dos princípios da mecânica dos solos, que afirma que a compactação é dependente da umidade em que o solo se encontra e a energia aplicada no momento da compactação (VARGAS, 1977). A partir desses estudos foi formulado o ensaio de Proctor normal, que baseia-se em compactar amostras de solo com diferentes umidades a fim de estabelecer uma

relação entre a densidade do solo e a umidade gravimétrica (Figura 2), e obter matematicamente a densidade máxima e a umidade ótima de compactação através da curva de compactação do ensaio de Proctor (FIGUEREDO et al., 2000).

Figura 2 Curva de umidade versus densidade de um solo de textura média, indicando a densidade máxima e a umidade ótima de compactação.



Fonte HILLEL (1998), adaptado pelo autor.

Betioli Junior et al. (2012) em um Latossolo Vermelho com 750 g.kg⁻¹ de argila encontraram densidade máxima de 1,52 Mg.m⁻³. Silva et al. (2014) obtiveram densidade máxima de 1,20 g.cm⁻³ em um Latossolo Bruno com 570 g.kg⁻¹ de argila. Em um estudo conduzido por Broch & Klein (2017) utilizando 18 solos do estado do Rio Grande do Sul, com teores de argila entre 191 a 539 g.kg⁻¹, silte de 175 a 532 g.kg⁻¹ e areia de 92 a 481 g.kg⁻¹, relataram densidade máxima variando de 1,27 a 1,67 Mg.m⁻³. É necessário, portanto, considerar que cada solo possui uma densidade máxima, a qual depende dos teores de argila e matéria orgânica. Portanto, a densidade que limita o crescimento das culturas varia entre solos. Por este motivo, está sendo estudado o grau de compactação para identificar sua relação com as culturas (BROCH & KLEIN, 2017), conforme detalhado a seguir.

2.4 GRAU DE COMPACTAÇÃO

Um indicador que está sendo utilizado para quantificar os impactos do manejo sobre a qualidade física do solo e relacionar com o crescimento de plantas é o grau de compactação (LIPIEC et al., 1991; SUZUKI et al., 2007; COLLARES et al., 2008). É obtido dividindo a densidade do solo atual pela densidade máxima obtida pelo ensaio de Proctor (Oliveira et al., 2010). Segundo Carter (1990) devido a facilidade de medição para indicar as mudanças nos

atributos físicos do solo, o grau de compactação é válido na caracterização de compactação e da resposta das culturas em diferentes classes de solos. Este autor, em seu estudo com solos arenosos ($600 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) relatou que o rendimento máximo de cereais foi obtido quando o GC estava entre 77 e 84%. Indicativos de rendimento máximo de cevadas foram encontrados por Hakansson (1990) em GC próximos a 87% em solos com teores médios de areia de $550 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Grau de compactação acima de 91% reduz o crescimento e rendimento de grãos, em solos com teor de argila de $200 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (LIEPIC et al., 1991).

Ferreras et al. (2001) em solos siltosos da Argentina ($700 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ silte) encontraram graus de compactação de 82% e 69% para os sistemas de plantio direto e escarificado, respectivamente, na camada superficial (0 – 6 cm). No estado do Rio Grande do Sul, Marcolin et al. (2006) em solos cultivados no sistema de plantio direto, relataram que o grau de compactação médio foi de 86%, para solos com diferentes texturas (teores de argila variando de 350 a $770 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$). Reichert et al. (2009) relacionam limites críticos de densidade do solo com o teor de argila, sendo que, com o aumento do teor de argila o GC crítico diminui.

Em vários estudos, a correlação entre o grau de compactação e o rendimento de culturas foram comprovados. Na Suécia, Hakansson (1990) obteve o máximo rendimento de cevada com um grau de compactação de 87%. Carter (1990) constatou em solos arenosos do Canadá, que com grau de compactação de 81% a produtividade de trigo e cevada foram máximas. Em solos Poloneses ($520 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ de areia) Lipiec et al. (1991) verificaram que a produção de grãos foi prejudicada quando o grau de compactação superou valores de 88%. No Brasil Suzuki et al. (2007) relataram maior produtividade da soja quando o GC foi de 86% para um solo com $654 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ de argila. Os autores afirmaram que para GC inferior a 80% as culturas podem sofrer reduções de produção em consequência do menor contato da semente e raízes com o solo, bem como pela baixa capacidade de armazenamento de água no solo (LINDSTRON & VOORHEES, 1994).

Bonelli et al. (2011) apresentaram em seu estudo que o capim – Mombaça produz menor quantidade de massa seca da parte aérea com o aumento da densidade do solo. No mesmo estudo entretanto, o capim–piatã não diferiu a produção de massa seca para as densidades estudadas, que foram de 1,0 a $1,6 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Estudando o crescimento de milho, *Brachiaria brizantha*, algodão e soja, Silva et al. (2006) relataram que o milho, *Brachiaria* e algodoeiro tiveram maior altura até densidade próximas de $1,2 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$, e a partir dessa densidade houve menor crescimento, principalmente para o algodoeiro.

O menor desenvolvimento das culturas ocorre pela compactação, a qual reduz a permeabilidade e a porosidade e aumenta a densidade e a resistência do solo. Estas alterações

prejudicam o fluxo da água, de gases, de nutrientes e elevam a temperatura do solo, com isso prejudicam o crescimento e desenvolvimento das plantas (SOANE & OUWERKERK, 1994; REICHERT et al., 2007; DALCHIAVON et al., 2014).

2. 5 RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO

A resistência à penetração é uma determinação que caracteriza a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através de suas partículas (PEDROTTI et al., 2001) e está entre as propriedades físicas que influenciam diretamente o crescimento e desenvolvimento das plantas, juntamente com aeração, umidade e temperatura (LETEY, 1985). Avaliar esse conjunto de características resulta em bons indicativos de qualidade física do solo (STENBERG, 1999). A determinação da RP deve ser acompanhada da umidade do solo, pois se relacionam inversamente (KLEIN, 2014). Ela expressa modificações na densidade do solo, assim, expressa o processo de compactação ou adensamento (REICHERT et al. 2003).

A determinação da resistência à penetração comumente é feita por meio de penetrômetro, com a facilidade e rapidez na obtenção dos resultados (BENGHOUGH & MULLINS, 1990). Bettioli Junior et al. (2012), utilizando um penetrômetro eletrônico, indicam valores limitantes de resistência à penetração do solo de 3,5 MPa. Segundo Souza et al. (2006), com o auxílio de um penetrômetro de impacto, ressaltam que a resistência a penetração considerada limitante para o crescimento radicular das culturas varia de 1,5 a 3,0 MPa. Porém, Grant & Lafond (1993) afirmam que a faixa restritiva está entre 1,5 e 3,0 MPa, já que houve limitações no crescimento das plantas com o aumento da RP em função da compactação do solo. Torres & Saraiva (1999) relataram valores baixos de RP quando estão em torno de 2,5 MPa, por outro lado, entre 3,5 a 6,5 MPa as plantas têm desenvolvimento limitado. Mercante et al. (2003) considerou RP próxima de 3,5 MPa, como indicativo de baixa compactação, e de 6,5 MPa, de alta compactação. Portanto, não há um consenso quanto a faixa ou o limite crítico que limita o crescimento das culturas. De maneira geral, considera-se de 2,0 a 2,5 MPa o limite crítico de resistência do solo que reduz o crescimento radicular das plantas de maneira significativa (TAYLOR et al., 1966; TAYLOR, 1971).

Algumas culturas são mais sensíveis à resistência à penetração do que outras (BEUTLER & CENTURION, 2004). Algumas tem a capacidade de desenvolver sistema radicular mesmo em condições de solo compactado (ROSOLEM et al., 2002). Além do tipo de planta os valores críticos de RP também estão associados ao teor de argila do solo e ao sistema de manejo submetido (SILVA, 2003). A RP acima do ponto crítico tolerado pela planta afeta a

distribuição do sistema radicular (FOLONI et al., 2006) e a capacidade do sistema radicular absorver água e nutrientes necessários para o metabolismo da planta (ROSOLEM et al., 1994). As plantas com raiz pivotante são mais afetadas pela RP que aquelas com raízes fasciculadas mais finas (WHITELEY & DEXTER, 1982).

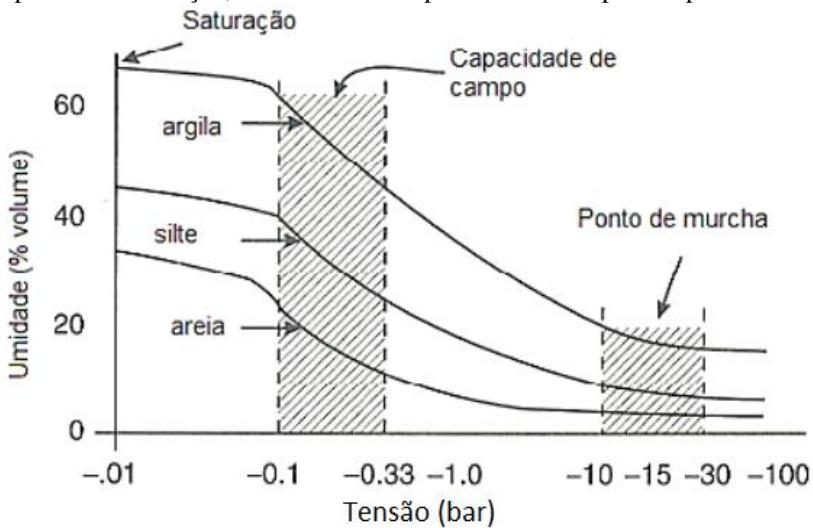
Plantas com crescimento radicular mais vigoroso alteram a estrutura do solo e diminuem a RP devido a sua penetração e criação de canais após a decomposição das raízes (MÜLLER et al., 2001). Também proporcionam descompactação mais uniforme, comparada ao uso de escarificadores e subsoladores (CAMARGO & ALLEONI, 1997), com o incremento de matéria orgânica e o aumento da estabilidade dos agregados, diminui a susceptibilidade do solo à compactação (ROTH et al., 1992).

2.6 CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA, CAPACIDADE DE CAMPO, PONTO DE MURCHA PERMANENTE E ÁGUA DISPONÍVEL

A curva de retenção de água é uma característica representada por um gráfico, determinada em laboratórios e expressa a relação entre o potencial matricial e o conteúdo de umidade do solo a base de massa ou volume (GUBIANI et al., 2012). Segundo Dexter (2004), o solo saturado e sob pressão atmosférica, ao ser submetido a uma força de sucção, terá parte de sua água drenada e parte dos poros ocupados pelo ar. Aumentos gradativos de sucção, poros menores perderão água e ocorrerá entrada de mais ar, isso diminuirá a espessura da película de água envolvente das partículas e aumentará a força de adsorção, exigindo cada vez maiores sucções para retirar a água (TAVARES; FELICIANO; VAZ, 2008). A curva de retenção de água no solo é não-linear e pode ser medida no laboratório, ou pode ser predita a partir de propriedades do solo através de funções de pedotransferência (JENSEN et al., 2015).

A curva de retenção é fundamental para o estudo de vários processos relacionados à água do solo, como sua disponibilidade às plantas (COSTA, 2008), evapotranspiração e modelagem do fluxo de água e gás em solos parcialmente saturados (DEBNATH et al., 2012, MASSAD, 2018), e está diretamente relacionada com o desenvolvimento das plantas. Estes atributos são alterados pela compactação, pois com as modificações na estrutura do solo a distribuição de poros é alterada (MORAES et al., 1993), com efeitos na capacidade de campo e ponto de murcha permanente (Figura 3).

Figura 3 Curva característica de retenção de água no solo, para solos arenosos, siltosos e argilosos, com seus respectivos pontos de saturação, de umidade na capacidade de campo e de ponto de murcha permanente.



Fonte: Ward e Trimble (2004), adaptado pelo autor.

Veihmeyer e Hendrickson (1931) propuseram o conceito clássico de água disponível no solo, definindo-a como o conteúdo de água entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, após que o excesso de água tenha sido drenado, o que ocorre de dois a três dias depois de uma chuva ou irrigação. Para Carlesso (1995) o conceito indica a capacidade de um solo em armazenar água e disponibilizá-la para as plantas.

Para a determinação da capacidade de campo em laboratório usa-se amostras de solo com estrutura alterada ou preservada. Jamison (1953) propôs o uso do potencial de 33 kPa para representar a capacidade de campo. Entretanto, no Brasil além do potencial de 33 kPa comumente é utilizado o potencial 10 kPa (REICHARDT, 1988; KLEIN et al., 2006; DE SOUZA, DA CUNHA, 2013).

Caso não houver incorporação de água no solo, seja por chuva ou irrigação, haverá redução na água disponível para as plantas, esse processo é decorrência das perdas de água por evaporação, percolação, movimentação lateral no perfil e absorção de água pelas plantas (SALVESTRO et al., 2012). Se não há água para suprir a demanda evaporativa da atmosfera, pode ocorrer déficit hídrico na planta. Se após a aplicação de água, através de chuva ou irrigação, a planta não conseguir se reidratar, o solo atinge limites de água disponível para as plantas muito baixos, denominado como ponto de murcha permanente (VEIHMEYER, HENDRICKSON, 1931).

O ponto de murcha permanente é considerado uma combinação de vários fatores entre as características das plantas (estágio de desenvolvimento, taxa e volume de crescimento de raiz) e características do solo (textura e condutividade hidráulica), além de fatores atmosféricos (SALVESTRO et al., 2012). Para a determinação do ponto de murcha permanente, usualmente,

é utilizada a câmara de Richards com aplicação de um potencial matricial de 1500 kPa (RICHARDS, WEAVER, 1943).

2.7 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO

A condutividade hidráulica do solo é uma propriedade que expressa a facilidade com que a água se movimenta dentro do solo. O valor máximo de condutividade hidráulica é atingido quando o solo se encontra saturado, denominando-se condutividade hidráulica saturada (REICHARDT, 1990). A condutividade hidráulica saturada expressa a facilidade com que a água percola no solo quando este se encontra com todo seu espaço poroso preenchido com água. A compactação pode reduzir sensivelmente a condutividade hidráulica do solo saturado (SILVA, KATO, 1997; MESQUITA, MORAES, 2004), pois diminui o volume de macroporos e aumenta o volume de microporos (BOONE & VEEN, 1994).

Solos com textura arenosa, em seu estado natural, apresentam maior volume de macroporos, pelo fato do espaço entre partículas ser maior quando comparados aos mais siltosos e argilosos (REICHARDT & TIMM, 2012). Souza et al. (2018) avaliando um Latossolo Vermelho – Amarelo com valor médio de macroporos de $0,35 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, na camada de 0 – 20 cm, encontraram elevada condutividade hidráulica em solo saturado, $750 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$. Libardi (2005) afirma que solos que predominam areia grossa devem ter condutividade hidráulica do solo saturado mais elevada que solos com predomínio de areia fina.

Suzuki et al. (2007) em Latossolo Vermelho ($654 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ de argila) relatam que com o aumento da densidade houve diminuição da macroporosidade e consequentemente uma diminuição da condutividade hidráulica do solo saturado. A condutividade hidráulica do solo saturado de um Nitossolo ($550 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ de Argila) foi 38 vezes menor em um sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto do que uma área de mata nativa, devido a redução dos macroporos (ALBUQUERQUE et al., 2001).

2.8 DESENVOLVIMENTO RADICULAR EM SOLOS COMPACTADOS

Em solos compactados a estrutura é modificada e, consequentemente, altera a porosidade, a macroporosidade, a disponibilidade de água e nutrientes e a difusão de gases no solo (Taylor & Brar, 1991), as quais afetam o desenvolvimento das raízes. A distribuição das raízes determina, em grande parte, a zona de solo explorada para a captação de água e nutrientes,

importante para a absorção de água e fertilizante (Bengough, 2012). O Impedimento mecânico é a principal limitação para o alongamento radicular em muitos solos. Segundo Queiroz-Voltan et al. (2000), em solos compactados, as raízes das plantas não utilizam adequadamente os nutrientes disponíveis, uma vez que o desenvolvimento de novas raízes, responsáveis pela absorção de água e nutrientes, fica restrito. Os autores ressaltam que a quantidade de oxigênio na rizosfera pode ser limitante nos processos metabólicos.

Segundo Hakansson et al. (1998), em solos compactados, o menor desenvolvimento do sistema radicular diminui o volume de solo explorado pelas raízes e, consequentemente, menor é a absorção de água e nutrientes. Tanto em casa de vegetação (Guimarães et al., 2002; Mizobata et al., 2017) como no campo (Moraes et al., 2018; Pacheco et al., 2015), as raízes apresentam dificuldades em penetrar camadas compactadas, promovendo maior desenvolvimento radicular na camada superior ou inferior menos compactada, como forma de compensar a redução do desenvolvimento radicular na camada de solo compactada.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento em casa de vegetação foi conduzido na Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC no Departamento de Solos e Recursos Naturais do Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV em Lages Santa Catarina, no período de 16 de outubro de 2017 a 09 de outubro de 2018.

3.1 SOLOS COLETADOS

Foram utilizados quatro solos: Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico típico (PVAd), Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico (PVAdl), Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico (CHd) e Argissolo Vermelho Eutroférico chernossólico (PVef) (anexo 1), coletados respectivamente nos municípios de Sangão, Lauro Muller, Água Doce e Ipira (Figura 4).

Figura 4 Mapa dos locais de coleta de solos em quatro locais de Santa Catarina



Fonte Retirada do Google Earth®, 2019. Adaptado pelo autor, 2019

A escolha dos solos se deu pela presença da pecuária, e também visou contemplar solos com granulometria mais arenosa e siltosa. Estes solos foram estudados e descritos por: PAES SOBRINHO (2005) e EMBRAPA (2004) e suas especificações físicas estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Caracterização dos atributos físicos do solo

Amostra	Argila	Silte	Areia	Areia MF	Areia F	Areia M	Areia G	Areia MG
g.kg ⁻¹								
PVAd	140	145	715	25	59	88	208	335
PVAdl	188	121	691	83	549	53	4	2
CHd	388	568	44	16	10	7	8	3
PVef	274	504	222	47	43	44	51	37

PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico típico; PVAdl: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico; CHd: Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico; PVef: Argissolo Vermelho Eutroférreico chernossólico.

Foram coletadas amostras com estrutura alterada na camada de 0 – 30 cm com auxílio de uma pá reta e armazenadas em tambores de plástico. Posteriormente as amostras foram secas e peneiradas com malha de 4,76 mm. As análises químicas foram realizadas pelo Laboratório de Análise de Solos – LAS do Departamento de Solos e Recursos Naturais da UDESC – CAV (Tabela 2). O pH de cada solo foi elevado para 6,0 seguindo recomendações do Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina e a adubação foi realizada para alta produção de gramíneas de estação quentes (CQFS-RS/SC, 2016), os valores de doses utilizadas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 2 Caracterização dos atributos químicos dos solos

Solo	MO	pH	SMP	Ca	Mg	K	Al	H+Al	CTCef	CTC _{pH7}
	g kg ⁻¹	H ₂ O					cmol _c /dm ³			
PVAd	14	3,6	4,7	0,5	0,2	0,1	2,3	19,4	3,1	20,2
PVAdl	14	4,1	4,0	1,1	0,9	0,2	7,3	43,3	9,5	45,5
CHd	46	5,6	5,6	6,8	3,3	0,3	0,4	6,9	10,8	17,3
PVef	25	6,4	6,9	5,9	3,1	1,5	0,0	1,6	10,5	12,1

PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico típico; PVAdl: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico; CHd: Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico; PVef: Argissolo Vermelho Eutroférreico chernossólico.

Tabela 3 Doses de adubo e calcário utilizados para correção do solo

	Adubação (kg/ha)		Calagem (Mg/ha)	
	P ₂ O ₅	K ₂ O	N (Ureia)	Calcário
PVAd	190	180	445	21,0
PVAdl	190	140	445	8,3
PVef	80	100	400	6,8
CHd	190	100	267	13,3

PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico típico; PVAdl: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico; CHd: Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico; PVef: Argissolo Vermelho Eutroférreico chernossólico.

3.2 TESTE DE PROCTOR

Os tratamentos foram definidos com base na densidade máxima do solo (Dsmax), a qual foi determinada através do teste de Proctor Normal regido pela norma NBR 7.182 (ABNT, 1986). Inicialmente uma amostra de 20 kg de solo seco ao ar, peneirada com malha 4,76 mm e com umidade próxima ao ponto de friabilidade foi homogeneizada. Em seguida foi separados 10 sub amostras de 2 kg cada. A primeira sub amostra foi mantida com a umidade no ponto de friabilidade, mas amostras subsequentes foram umedecidas com acréscimos de 2%, progressivamente, através da equação 1, e armazenadas em sacos plásticos por 24 horas.

$$Va = \frac{Msu}{1+Ugi} x (Ugd - Ugi) \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde, Va: volume de água a ser adicionado (mL); Msu: massa de solo úmido (g); Ugi: umidade gravimétrica inicial (g g^{-1}) e Ugd: umidade gravimétrica desejada (g g^{-1}).

Com um aparelho automático (Solotest®) (Figura 5a), um cilindro metálico de 1.000 cm^3 (10 cm de diâmetro e 12,73 cm de altura) é fixado em uma base giratória, com um soquete metálico pesando 2,5 kg, com altura de queda de 30,5 cm. Para cada amostra foram realizados 90 golpes do soquete, sendo 30 golpes em cada uma das três camadas, onde cada camada ocupou 1/3 do volume do cilindro. Ao final do teste a energia total aplicada é de 560 kPa. Ao término foi realizada a pesagem para determinação da massa de solo úmido. A massa de solo foi extraída do cilindro com o auxílio de um extrator de amostra (Figura 5b) e retiradas três sub amostras, que foram colocadas em estufa de circulação forçada a 105° C por 24 horas para a determinação da umidade gravimétrica.

Figura 5 Aparelho (Solotest®) para realização do teste de Proctor (a), extrator de amostra (b), amostra do solo CHd (c) e amostra do solo PVAdl (d)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Após determinada a densidade do solo em cada umidade gravimétrica, foi plotado um gráfico e ajustada a curva de compactação do solo (umidade gravimétrica x densidade do solo). A análise do gráfico permite obter a densidade máxima e a umidade ótima de compactação. A D_{smax} para os solos PVAd, PVAdl, CHd e PVef foram, respectivamente, de 1,78, 1,59, 1,23 e 1,28 $Mg.m^{-3}$. Com estas densidades máximas foram estabelecidos os tratamentos com cinco densidades para cada solo, correspondentes aos GC de 80, 85, 90, 95 e 100%, obtidos através da equação 2.

$$GC = (Ds/Dsmax).100 \quad (Eq.2)$$

Onde: GC é o grau de compactação pré-determinado; Ds é a densidade do solo; e D_{smax} é a densidade máxima obtida pelo teste de Proctor (Tabela 4).

Tabela 4 Densidade do solo ($Mg.m^{-3}$) que corresponde a cada um dos cinco GC pré-determinados.

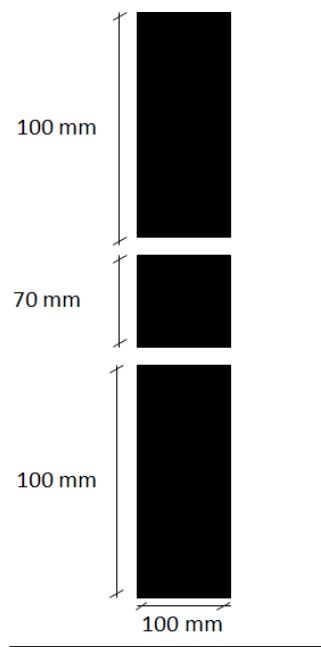
Amostra	Graus de Compactação (%)				
	80	85	90	95	100
$Mg.m^{-3}$					
PVAd	1,42	1,51	1,60	1,69	1,78
PVAdl	1,27	1,35	1,43	1,51	1,59
CHd	0,98	1,04	1,10	1,17	1,23
PVef	1,02	1,08	1,15	1,21	1,28

PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico típico; PVAdl: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico; CHd: Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico; PVef: Argissolo Vermelho Eutroférreico chernossólico.

3.3 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM CASA DE VEGETAÇÃO

O Experimento foi conduzido no período de 19 de janeiro de 2018 a 27 de abril de 2018. Foram utilizadas cinco (5) repetições para cada tratamento (graus de compactação) para cada solo, totalizando cem (100) colunas de solo. Cada coluna contou com canos de PCV com diâmetro de 100 mm, com anéis superiores e inferiores com altura de 100 mm e os anéis intermediários com 70 mm, totalizando 270 mm de altura (Figura 6). Para evitar que as raízes crescessem entre a parede do cano e o solo, na borda do anel intermediário foi colada 2 cm de fita adesiva sobrepondo o solo do anel. As três partes foram unidas com fita Silvertape®.

Figura 6 Esquematização da coluna de solo utilizado no experimento



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Os anéis superiores e inferiores foram preenchidos com solo, usando a densidade que corresponde ao GC de 80% de cada solo, para facilitar o crescimento das raízes. Os anéis superiores foram preenchidos até a altura de 90 mm, deixando uma borda de 10 mm para irrigação. Nos anéis intermediários a densidade do solo correspondeu aos cinco GC estabelecidos, com auxílio de uma prensa hidráulica. Na base de cada coluna foi firmado um pedaço de tule com o auxílio de uma borracha para evitar perda de solo.

As mudas de Jiggs foram adquiridas de viveiro de mudas de gramíneas na cidade de Lages, as quais foram reproduzidas em meio hidropônico e estavam com aproximadamente 30 dias. No dia 19 de janeiro foram transplantadas três mudas de Jiggs em cada coluna. Foi estabelecido um período de duas semanas para a pega das mudas, com irrigação a cada dois dias. No dia 2 de fevereiro as plantas foram cortadas a 10 cm de altura para padronização, e a partir dessa data semanalmente foi aferida a altura. O corte foi repetido a cada 28 dias (CARVALHO et al., 2012) para determinar a massa verde e a massa seca (48 horas a 65° C).

Durante o crescimento da cultura a umidade do solo foi reposta a cada 3 dias com o auxílio de um becker de 250 mL, sendo adicionado em cada coluna de 150 mL de água.

Ao longo da realização do experimento foi constatada a presença de Pulgão verde (*Myzus persicae*). Seu controle foi realizado com o uso óleo de Neem, produto comercial Neemax, que é um inseticida biológico (Azadiractina, 0,12%), aplicando 2 litros de solução, com dose de princípio ativo de 4 mL.L⁻¹, alternando com aplicações não convencionais como

a diluição de sabão neutro e água, e a diluição de álcool, cravo e óleo. A escolha de alternativas não convencionais se deu pelo fato de que houve a presença de larvas de joaninha (*Coccinella septempunctata*) que é um inimigo natural dos pulgões. O controle foi eficiente para evitar danos a cultura.

3.4 RESISTÊNCIA DO SOLO A PENETRAÇÃO

Após o terceiro corte, os três anéis da coluna de solo foram separados. Na camada intermediária foi determinada a resistência à penetração com um penetrômetro eletrônico de bancada (modelo MA 933, marca Marconi). Este é composto de um atuador linear elétrico com motor, um painel para controle da velocidade, e uma base metálica para sustentação do conjunto mecânico e da amostra durante o ensaio, além de uma célula de carga com capacidade nominal de 20 kg, acoplada a um microcomputador (Figura 7). Utilizou-se um cone de 3 mm de diâmetro, o qual foi introduzido nas amostras de solo até a profundidade de 5 cm, com velocidade constante de $30 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ e leituras a cada 0,5 s.

Para evitar o efeito de bordadura, foi descartado os valores do primeiro e último centímetro, sendo utilizados os três cm intermediários da amostra para a obtenção das médias. Após, as raízes de cada camada foram separadas do solo através de jatos de água e secas em estufa a 60°C por 48 h, para a determinação da massa seca das raízes.

Figura 7 Penetrômetro eletrônico de bancada modelo MA 933, marca Marconi



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

3.5 DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE E RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

Paralelamente ao experimento de casa de vegetação, para cada solo e cada GC, foram montados anéis volumétricos com amostras de solo com estrutura alterada, previamente secas e peneiradas com malha 4,76 mm. Foram montados 8 anéis para cada grau de compactação de cada solo, totalizando 160 anéis. Os anéis volumétricos foram montados com o auxílio de marreta e batedor (Figura 8). Após, os anéis foram saturados, pesados e submetidas às tensões de 1, 6 e 10 kPa em mesa de tensão de areia e tensões de 33, 100, 300, 500, 1.000 e 1.500 kPa em câmara de Richards, com pesagens após cada tensão aplicada. Com estas determinações foi calculada: a Porosidade total (PT), pela divisão da densidade do solo pela densidade de partícula; a Microporosidade (Micro), diferença de umidade entre a massa da amostra na tensão de 6 kPa e a massa de solo seco em estufa; a Macroporosidade (Macro) através da diferença entre PT e Micro (EMBRAPA, 1997); a Capacidade de campo (CC), umidade do solo na tensão de 10 kPa; o Ponto de Murcha permanente (PMP), umidade do solo na tensão de 1.500 kPa.

Figura 8 Montagem dos anéis utilizando marreta e batedor (a) e anéis montados (b) com os solo estudados



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Foi determinada a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) em permeâmetro de carga variável (Figura 9), utilizando-se a metodologia descrita em Gubiani et al. (2008). Ao término da pesagem dos anéis em todas as tensões estabelecidas, a curva de retenção de água no solo foi elaborada, ajustando os resultados à equação de Van Genuchten (LIBARDI, 2005) (equação 3) e plotado em gráficos utilizando o software SigmaPlot 12.

Figura 9 Determinação da condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) em permeâmetro de carga variável.



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[(1 + \alpha \Psi_m)^n]^m} \quad (\text{Eq. 3})$$

Sendo: θ conteúdo de água do solo (kg kg^{-1}); θ_r conteúdo de água residual (kg kg^{-1}); θ_s conteúdo de água na saturação (kg kg^{-1}); Ψ_m potencial matricial (MPa); α , n e m são os parâmetros empíricos do modelo.

Após serem submetidos as tensões de 10 kPa na mesa de tensão de areia e tensões de 100, 300, 500 e 1500 kPa em câmara de Richards foram retirados um anel de cada GC, o qual teve sua massa determinada para calcular a umidade. Nestes solos foi determinada a resistência a penetração com um penetrógrafo eletrônico de bancada, seguindo o procedimento e o mesmo equipamento descrito acima.

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo programa estatístico R (2008), verificando a significância das diferenças entre os valores médios dos tratamentos foi aplicado o teste “Tukey” com 5% de probabilidade.

Além da análise de variância, foi calculado o coeficiente de correlação linear de Pearson entre cada grau de compactação com microporosidade (micro), macroporosidade

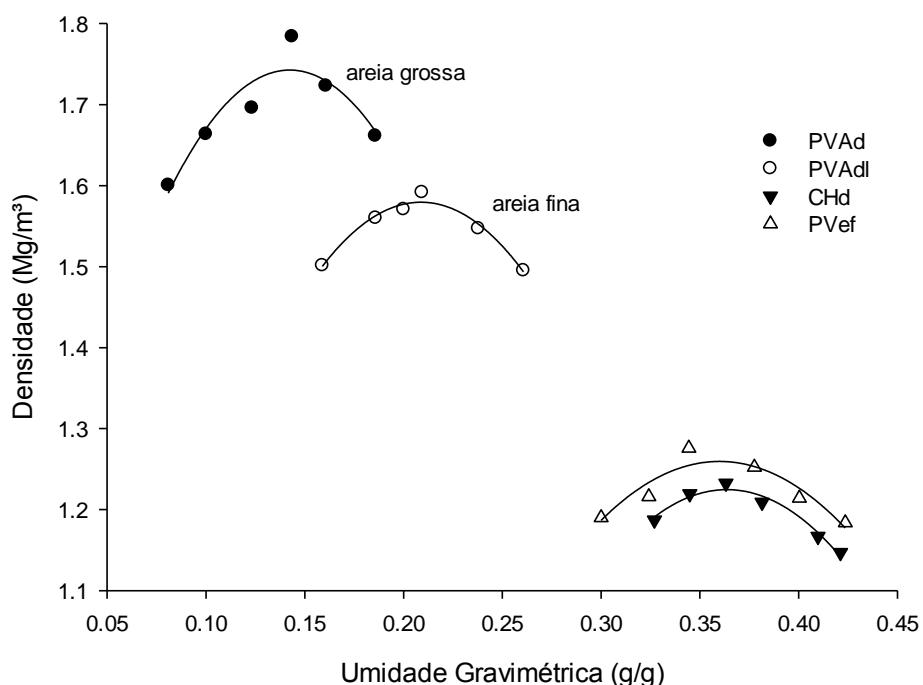
(macro), porosidade total (PT), resistência do solo à penetração (RP), água disponível (AD), condutividade hidráulica (kSat), média de altura de planta dos três cortes (AP) e massa seca de planta acumulada (MS). Foi determinada a correlação entre conteúdo de argila e a densidade máxima dos solos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DENSIDADE MÁXIMA E POROSIDADE

A densidade máxima do solo foi maior para os dois solos de textura arenosa ($1,78$ e $1,59$ Mg.m^{-3}) e menor nos de textura siltosa ($1,28$ e $1,23$ Mg.m^{-3}) (Figura 10), o qual está de acordo com outros autores que relatam que solos arenosos tem maior densidade em relação aos argilosos, devido a menor coesão e maior capacidade de empacotamento das partículas (HILLEL,1998). Este empacotamento é maior quando a granulometria da fração areia é composta por partículas de diversos tamanhos, pois as menores ocupam os espaços vazios deixados pelas maiores (HILLEL,1998; RICHART et al., 2005; REINERT & REICHERT, 2006; KLEIN, 2008). Também, solos com menor teor de matéria orgânica terão maior densidade máxima (BRAIDA et al., 2011), como no caso do CHd que contém 46 g.kg^{-1} , enquanto os demais contêm menor teor de MO. A correlação de Pearson entre a Dsmax as frações granulométricas do solo são de $0,95$ para areia, $-0,94$ para silte e $-0,93$ para argila (anexo 3).

Figura 10 Variação de densidade do solo em função da variação de umidade obtido pelo teste de Proctor PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico típico; PVAdl: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico; CHd: Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico; PVef: Argissolo Vermelho Eutroférreico chernossólico.



Fonte: elaborado pelo autor, 2019

Pode -se observar que a densidade máxima reduz e a umidade ótima aumenta com o teor de argila e silte, conforme também relatado por Reichert et al. (2009) ao analisarem os resultados de vários pesquisadores (Tabela 5). Isto pode ser explicado pelo fato da argila apresentar uma CTC entre 0 e 150 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ e uma área superficial específica entre 7 e $800 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, este último em casos de minerais de argila do tipo 2:1 onde a parte interna (entre camadas) contribui de forma significativa para a ASE (KER, 1988; GROHMANN, 1977), ao passo que a areia tem CTC próxima de zero e área superficial específica inferior a $1 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. Essas características fazem com que a argila adsorva mais água e diminua o efeito lubrificante entre as partículas minerais, com isso apresenta maior coesão e menor susceptibilidade à compactação do solo (BRAIDA et al., 2006).

Tabela 5 Densidade máxima de solos do Brasil, com diferentes texturas.

Fonte	Textura ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)			Solo	Dsmax ($\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$)
	Areia	Silte	Argila		
De Maria et al. (1999)	50	200	750	Latossolo	1,21
Streck (2003)	614	294	89	Argissolo	1,79
Secco (2003)	221	224	555	Latossolo	1,62
	100	290	610	Latossolo	1,54
Beutler & Centurion (2004)	687	42	271	Latossolo	1,68
Collares (2005)	217	176	607	Latossolo	1,53
	391	331	278	Argissolo	1,66
Suzuki (2005)	143	457	400	Argissolo	1,52
	114	341	546	Latossolo	1,39
	86	261	654	Latossolo	1,36
	714	145	141	Argissolo	1,78
Teles (2018)	691	121	188	Argissolo	1,59
	222	504	274	Argissolo	1,28
	44	568	388	Cambissolo	1,23

Fonte: Retirado de Reichert et al. (2009), adaptado por Teles (2018).

A densidade máxima no PVef e CHd foi semelhante (Figura 10), mesmo com diferenças na sua granulometria (Tabela 6). Deve ser considerado que a matéria orgânica diminui a densidade máxima (BRAIDA et al., 2011), tanto pelo efeito da MO na estruturação do solo, quanto pela menor densidade da MO (MARCOLIN & KLEIN, 2011; LIBARDI, 2005). Outro fator que está relacionado com a densidade máxima destes solos é a presença de silte, constituinte que aumenta a área superficial específica em comparação com a fração areia, e isso

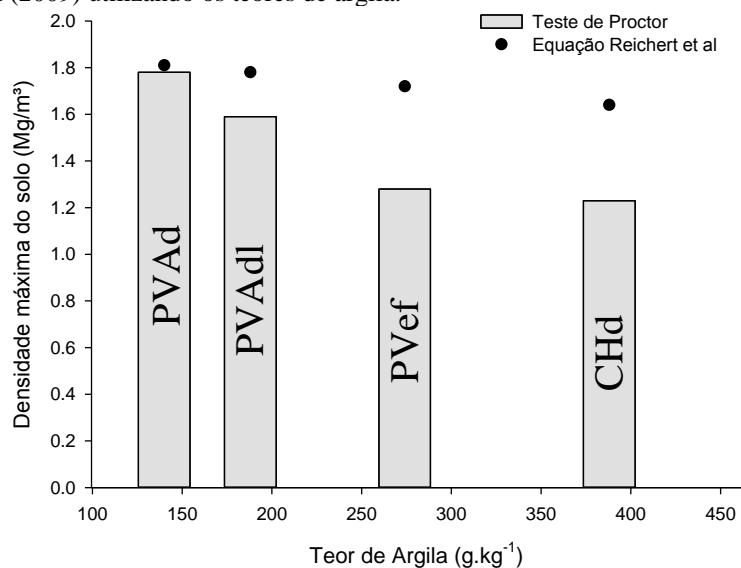
aumenta a reatividade do solo (BROCH & KLEIN, 2017) e diminui a densidade máxima. Broch e Klein (2017) estudando o aumento da densidade máxima em função do teor de silte relataram decréscimo da densidade máxima (1,67 para 1,27 Mg.m⁻³) com aumento do teor de silte (175 para 532 g.kg⁻¹).

Reichert et al. (2009) propuseram uma equação para determinar a densidade máxima do solo (Dsmax) através da quantidade de argila.

$$Dsmax = -0.00071 \text{ argila} + 1.918$$

Ao comparar a Dsmax determinada através do Proctor com a estimada por Reichert et al. (2009), observa-se que somente no PVAd os valores foram semelhantes. Nos demais a Dsmax estimada foi superior, tornando impróprio o uso dessa equação no presente trabalho (Figura 11).

Figura 11 Densidade máxima do solo obtida pelo teste de Proctor e calculada através da equação proposta por Reichert et al (2009) utilizando os teores de argila.



PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico típico; PVAdl: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico; CHd: Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico; PVef: Argissolo Vermelho Eutroférreico chernossólico.

Com o aumento da densidade do solo a macroporosidade diminui o que consequentemente reduziu a porosidade total (ARAUJO, 2004). As correlações entre aumento da densidade e macroporosidade foram de -0,98, -0,99, -0,99 e -1,00 para os solos PVAd, PVAdl, CHd e PVef, respectivamente (anexo 4). Isso pode ser visualizado na Tabela 6, onde para os graus de compactação de 90, 95 e 100% do PVAd, 95 e 100% do PVAdl ficou abaixo ou muito próximo de 0,10 m³.m⁻³ de macroporos. Baver et al. (1972) relatam que macroporosidade abaixo de 0,10 m³.m⁻³ restringe o crescimento das plantas devido à baixa taxa

de difusão dos gases do solo (XU et al., 1992), bem como de água e nutrientes na zona de desenvolvimento radicular (Silveira Junior et al., 2012).

Tabela 6 Porosidade total ($m^3.m^{-3}$), macroporosidade ($m^3.m^{-3}$), microporosidade ($m^3.m^{-3}$), capacidade de campo ($m^3.m^{-3}$), ponto de murcha permanente ($m^3.m^{-3}$), água disponível ($m^3.m^{-3}$), e condutividade hidráulica saturada ($mm.h^{-1}$) em função dos diferentes graus de compactação (GC)

Solo	GC	PT	Macro	Micro	CC	PMP	AD	kSat
PVAd	80	0,40 a	0,16 a	0,24 a	0,190 a	0,119 c	0,07 ab	154 a
	85	0,37 ab	0,14 ab	0,23 a	0,202 a	0,129 b	0,07 ab	95 ab
	90	0,33 bc	0,09 b	0,24 a	0,214 a	0,122 bc	0,09 a	35 b
	95	0,29 cd	0,08 b	0,21 a	0,194 a	0,140 a	0,05 b	10 b
	100	0,26 d	0,05 c	0,21 a	0,192 a	0,117 c	0,08 ab	0 b
PVAdl	80	0,48 a	0,25 a	0,23 b	0,203 c	0,073 b	0,13 c	73 a
	85	0,46 ab	0,21 ab	0,25 ab	0,219 bc	0,074 a	0,14 bc	37 ab
	90	0,43 bc	0,15 bc	0,28 a	0,246 ab	0,068 c	0,18 a	17 b
	95	0,40 bc	0,11 c	0,29 a	0,253 a	0,074 a	0,18 a	3 b
	100	0,36 c	0,09 c	0,27 a	0,241 ab	0,067 d	0,17 ab	1 b
CHd	80	0,55 a	0,35 a	0,20 c	0,176 c	0,027 e	0,15 a	800 a
	85	0,52 ab	0,30 b	0,22 bc	0,183 c	0,080 c	0,10 c	610 ab
	90	0,49 bc	0,26 c	0,23 b	0,199 b	0,095 b	0,10 c	240 bc
	95	0,46 bc	0,24 cd	0,22 b	0,198 b	0,063 d	0,14 b	137 cd
	100	0,43 c	0,17 d	0,26 a	0,226 a	0,107 a	0,12 bc	68 d
PVef	80	0,56 a	0,36 a	0,20 c	0,175 c	0,086 c	0,09 b	879 a
	85	0,54 ab	0,33 b	0,21 c	0,181 c	0,088 c	0,09 b	671 a
	90	0,50 bc	0,28 c	0,22 b	0,197 b	0,087 c	0,11 a	525 b
	95	0,48 cd	0,25 cd	0,23 ab	0,199 b	0,095 a	0,10 a	260 b
	100	0,45 d	0,21 d	0,24 a	0,208 a	0,091 b	0,12 a	85 b

PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico típico; PVAdl: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico; CHd: Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico; PVef: Argissolo Vermelho Eutroférreico chernossólico. Letras iguais não diferem entre si ($P<0,05$) pelo teste de Tukey

Os graus de compactação 80 e 85% dos solos CHd e PVef tiveram PT acima de 0,50 $m^3.m^{-3}$ que, segundo Brady & Weil (2016), é considerado ideal para um solo estruturado e com condições satisfatórias para o crescimento de plantas. Resultado semelhante encontrado por Silveira Junior et al. (2012), em que o aumento da densidade do solo de 1,11 para 1,28 $Mg.m^{-3}$ reduziu a PT de 0,56 para 0,50 $m^3.m^{-3}$.

Suzuki et al. (2007) relatam que o aumento da densidade diminui a macroporosidade, e descrevem que no grau de compactação de 76%, em um Latossolo, e de 86%, em um Argissolo, a macroporosidade chegou a 0,10 $m^3.m^{-3}$, valor que segundo Reinert & Reichert (2006) é o limite crítico, abaixo do qual o crescimento das plantas é prejudicado. O PVAd teve

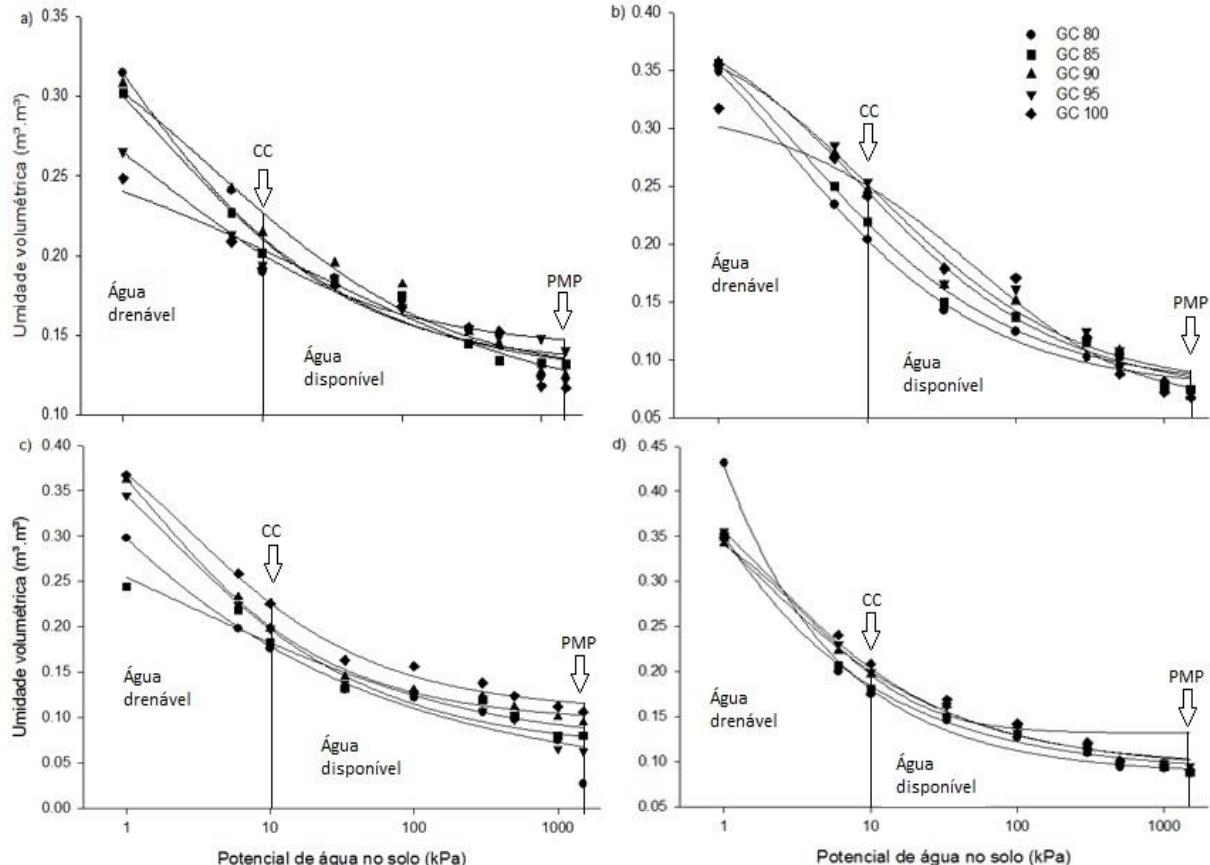
macroporosidade abaixo de $0.10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ nos graus de compactação acima de 90% enquanto no PVAdl foi acima do GC100.

Nos solos PVAdl, CHd e PVef o aumento do grau de compactação elevou a capacidade de campo (Tabela 6), diretamente com o aumento do volume de microporos (REINERT; REICHERT, 2006). Maior CC foi observada no GC 95, 100 e 100%, respectivamente nos solos PVAdl, CHd e PVef. Para o solo PVAd o GC de 90% foi o que apresentou maior CC, possivelmente pelo baixo volume de macro e alto de microporos (MORAES et al., 1993). O PMP foi maior nos graus de compactação de 95, 95, 100 e 95% respectivamente para os solos PVAd, PVAdl, CHd e PVef, em função do maior isso está relacionando pelo maior volume de microporos (Tabela 6) e adsorção da água nas partículas do solo.

O volume de água disponível no PVAd é baixo (Tabela 6), que pode ser devido a elevada densidade ($1,78 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$) e ao efeito da granulometria mais arenosa (BRADY, WEIL, 2016). Mais AD foi observada no GC 90. No PVAdl o GC 90, 95 e 100 % apresentaram mais AD, devido ao maior volume de microporos. No PVef o GC 90, 95 e 100 % apresentaram mais AD, pelo aumento dos microporos e da CC. No CHd o GC 80 e 85 % apresentaram maior disponibilidade de AD. Portanto, não houve um GC em que a AD fosse mais elevada em todos os solos, pelo contrário, a AD foi mais elevada em GC baixo no CHd e em GC mais elevado no PVAdl e PVef.

Conforme a estrutura do solo é alterada pela compactação, resulta na redução ou na perda da estabilidade dos agregados, alterando a distribuição dos poros e a retenção e disponibilidade da água no solo (MORAES et al., 1993), isso pode ser observado na Figura 12. Onde pode ser observado que após o potencial de 10 kPa as curvas apresentam similaridade, isso ocorre pela pequena variação na microporosidade. As correlações entre densidade do solo e água disponível são -0,002, 0,86, -0,80 e 0,93 (anexo 4), e entre a densidade e microporosidade são -0,80, 0,85, 0,90 e 0,99 (anexo 4) para PVAd, PVAdl, CHd e PVef, respectivamente.

Figura 12 Curva de retenção de água no solo em função da umidade volumétrica e potencial de água no solo. CC: capacidade de campo, PMP: ponto de murcha permanente. a) PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico típico; b) PVAdl: Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico latossólico; c) CHd: Cambissolo Húmico Ditrófico saprolítico; d) PVef: Argissolo Vermelho Eutroférico chernossólico

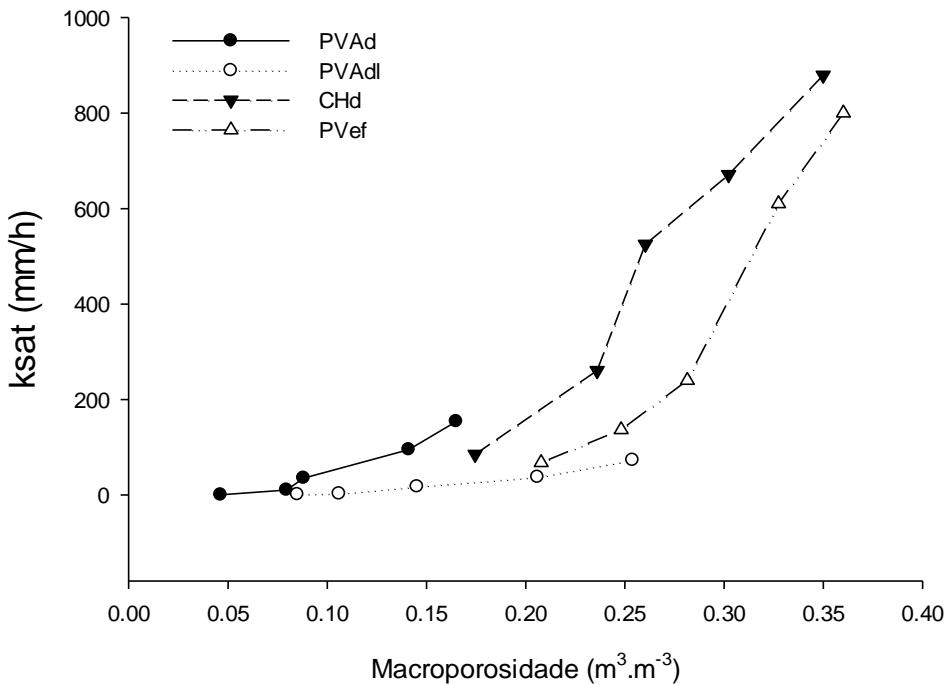


Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

4.2 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA (K_{SAT})

A condutividade hidráulica de solo saturado e a macroporosidade variam conforme o grau de compactação (Tabela 6). Para o PVAd, o grau de compactação de 80% apresenta maior k_{sat} pela presença de maior macroporosidade. Em contrapartida, o grau de compactação de 100% apresenta valor de macroporosidade muito baixo e consequentemente um valor quase nulo de k_{sat} (Figura 13).

Para PVAdl o grau de compactação de 80% apresentou maior média de k_{sat} em relação aos outros graus de compactação, sendo o grau de compactação de 100% apresenta menor média. PVef no grau de compactação de 80% apresentou aproximadamente 800 mm.h⁻¹ sendo a maior média entre os graus de compactação, com o aumento do grau de compactação diminui a k_{sat}. CHd apresenta os maiores valores médios de k_{sat}, sendo os graus de compactação de 80 e 85% os maiores valores dentre os graus de compactação.

Figura 13 Condutividade hidráulica do solo saturado ($ksat$, mm/h) em função da macroporosidade ($m^3 \cdot m^{-3}$)

Fonte: elaborado pelo autor, 2019

Solos com textura arenosa, em seu estado natural, apresentam maior volume de macroporos, pelo fato de o espaço entre partículas sólidas do solo serem maiores quando relacionados com solos de textura mais finas (REICHARDT & TIMM, 2012), porém com o processo de compactação os macroporos são os primeiros a serem destruídos, diminuindo assim a $ksat$ com o aumento da densidade do solo.

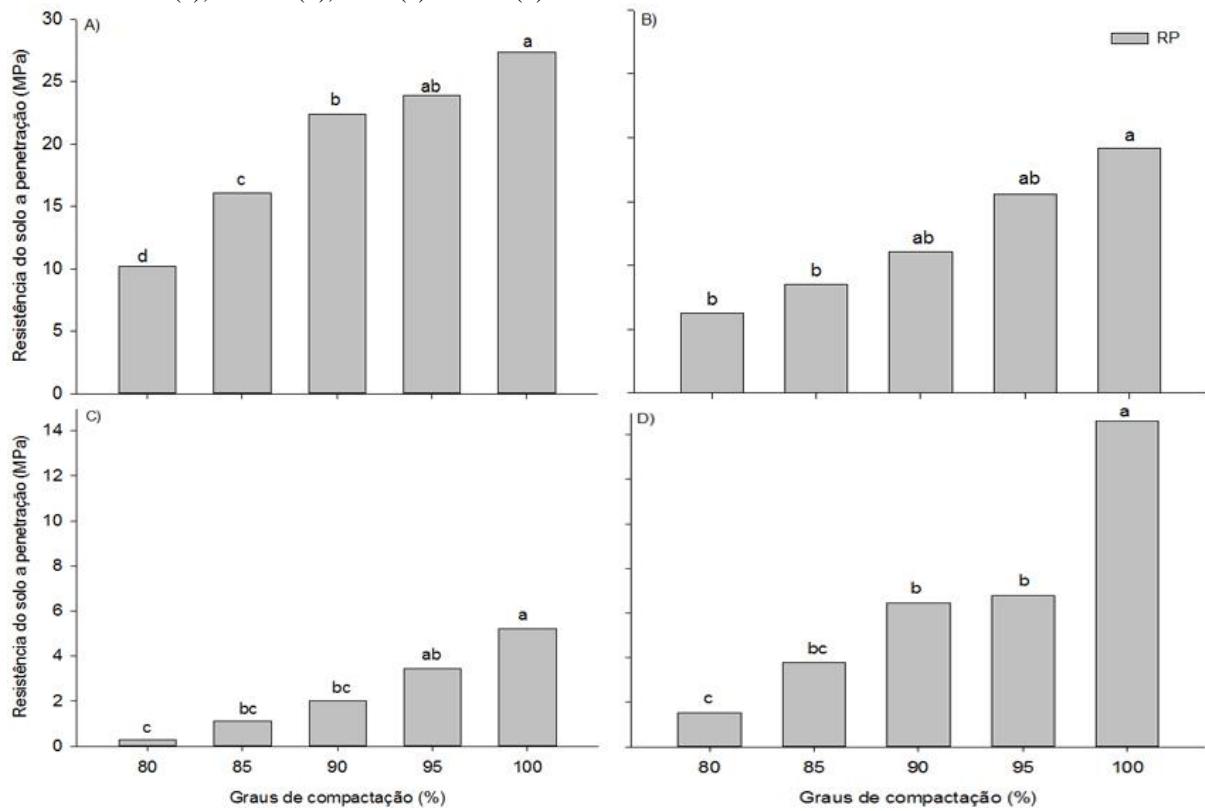
Como já foi descrito anteriormente, o PVAd apresenta maior quantidade de areia grossa e o PVAdl predomina mais areia fina por esse fato tem maior $Ksat$, corroborando com Libardi (2005), que nos diz que solos com mais areia grossa tende a conduzir mais facilmente a água do que aqueles com areia fina. CHd e PVef pela maior presença de macroporosidade e continuidade dos poros apresentam maiores valores médios de $Ksat$. A correlação entre densidade do solo e a $Ksat$ apresentou os valores de -0,96, -0,94, -1,00 e -0,96 para os solos PVAd, PVAdl, CHd e PVef, respectivamente (anexo 4).

Isto está relacionado com a menor densidade do solo que o PVAd e PVAdl, porém também apresentam diminuição do $ksat$ com o aumento da densidade do solo. Segundo Mesquite & Moraes (2004) a $ksat$ é mais dependente da estrutura do que da textura do solo. As práticas culturais as quais são adotadas, podem alterar a estrutura do solo influenciando diretamente a $ksat$, mais do que os processos de gênese e formação do solo, o efeito da estrutura, em especial os poros grandes, permite que solos argilosos tenham valores de $ksat$ similares a solos arenosos.

4.3 RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO

Com o aumento do grau de compactação a estrutura do solo é modificada e vários atributos e processos são afetados, em especial a macroporosidade e a resistência do solo a penetração. Segundo o padrão das outras variáveis estudadas, a resistência a penetração obteve aumento significativo com o aumento da densidade do solo independentemente do tipo do solo, apresentando correlações de 0,98, 0,99, 0,99 e 0,94 para os solos PVAd, PVAdl, CHd e PVef, respectivamente (anexo 4), como pode-se observar a Figura 14. Alcançando valores máximos de RP de 27,3; 19,1; 5,2 e 14,6 MPa respectivamente para PVAd, PVAdl, CHd e PVef, todos no grau de compactação de 100%. Menor RP foram, obviamente, para os solos com o menor grau de compactação de 80% para PVAd, PVAdl, PVef e CHd com valores de 10,2; 6,2, 1,5 e 0,3 MPa respectivamente.

Figura 14 Resistência do solo a penetração (RP) (MPa) para os diferentes graus de compactação do solo (%), PVAd (a), PVAdl (b), CHd (c) e PVef (d)



Elaborado pelo autor, 2018.

O aumento da resistência a penetração com o aumento da densidade do solo encontrado nesse estudo corrobora com Trein et al. (1991) que observaram que o aumento de RP de 0,84 para 4,0 MPa foi causada pela compactação promovida pelo pisoteio animal. Ralisch et al. (2008) obtiveram resultados semelhantes, pois destacam que com a alta lotação animal e curto

período há incremento na densidade do solo nas camadas superficiais e consequentemente maior RP.

Após a determinação da RP em anéis volumétricos sob diferentes teores de umidade, pode-se estimar a umidade no momento da aferição de RP no anel intermediário das unidades experimentais. Para o PVAd, maior RP dos anéis intermediários (27,4 MPa) se aproxima ao valor obtido quando os anéis volumétricos se encontravam no PMP, onde a umidade volumétrica foi de $0,117 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ e RP de 32,8 MPa para o GC 100% (Tabela 7).

Tabela 7 Resistência do solo a penetração (RP em MPa) determinada com umidade na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP) em cada densidade do solo (Ds) estabelecida nos diferentes graus de compactação.

Solo	GC	UV CC	RP CC	UV PMP	RP PMP
	%	$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$	MPa	$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$	MPa
PVAd	80	0,190	1,2	0,122	4,6
	85	0,202	1,6	0,132	10,7
	90	0,214	2,0	0,125	25,8
	95	0,194	10,0	0,160	29,6
	100	0,192	11,9	0,117	32,8
PVAdl	80	0,204	0,4	0,073	1,8
	85	0,219	0,5	0,074	1,9
	90	0,246	0,7	0,068	3,7
	95	0,254	0,9	0,074	5,0
	100	0,241	1,3	0,067	7,8
PVef	80	0,175	0,4	0,086	0,9
	85	0,181	0,6	0,088	1,2
	90	0,197	0,8	0,087	2,2
	95	0,199	0,7	0,095	2,6
	100	0,208	1,0	0,091	4,2
CHd	80	0,176	0,1	0,086	0,5
	85	0,183	0,5	0,088	0,8
	90	0,199	0,6	0,087	1,5
	95	0,198	0,9	0,095	1,6
	100	0,226	1,46	0,091	2,6

PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico típico; PVAdl: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico; CHd: Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico; PVef: Argissolo Vermelho Eutroférreico chernossólico.

Para o PVAdl a RP médio nos anéis intermediárias, ficou acima (19,1 MPa) da determinada nos anéis volumétricos quando estavam com umidade de $0,067 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, próximo do PMP, com RP de 7,8 MPa. Isso indica que, no momento da aferição da RP dos anéis

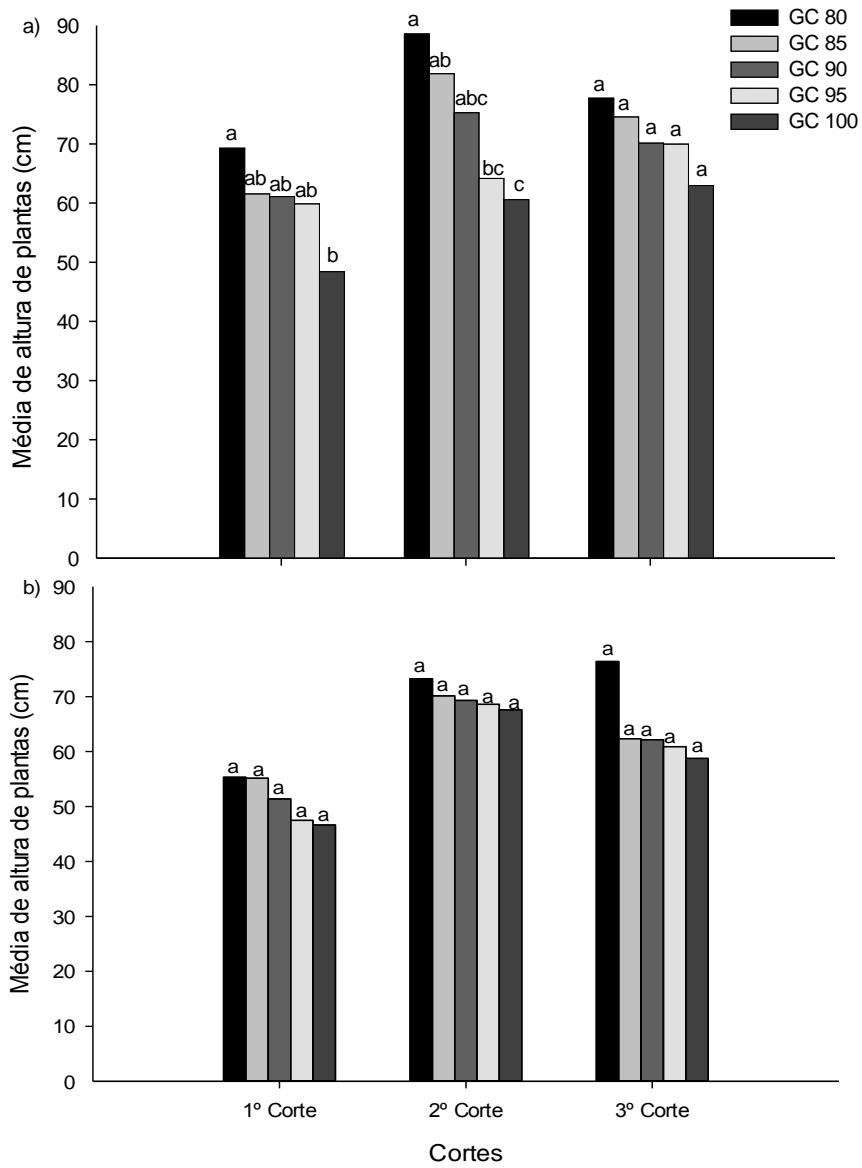
intermediários, a umidade estava menor que o PMP. Para o CHd e o PVef os resultados foram semelhantes, sendo a umidade volumétrica no PMP e a RP de $0,091 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ e 2,6 e 4,2 MPa, respectivamente encontrados nos anéis volumétricos, e valores nos anéis das colunas de solos obtiveram maiores valores médios de RP de 5,2 e 14,6 MPa respectivamente, ambos no GC 100%.

A resistência a penetração é dependente diretamente da umidade que o solo se encontra no momento da aferição, sendo que os valores são maiores quando o solo apresenta umidade muito baixa (TAVARES FILHO & TESSIER, 2009). Oliveira et al. (2016) estudaram vários solos com diferentes texturas, onde relacionam umidade na capacidade de campo, aumento da densidade e resistência a penetração encontraram, em solos arenosos e argilosos, incremento de RP com o aumento da densidade do solo e diminuição da umidade. Na Tabela 7 pode-se observar o decréscimo da umidade até o PMP e o aumento da densidade e da resistência a penetração do solo.

4.4 ALTURA DE PLANTAS

A altura de plantas foi afetada pelos diferentes GC no solo PVAd ($r = -0,99$, anexo 4) no primeiro e segundo corte (Figura 15a), mas não foi afetada nos demais solos. A altura no primeiro corte foi menor no GC100 e no segundo corte no GC95 e GC100. No terceiro corte não houve diferença estatística entre os graus de compactação. No terceiro corte, é provável que as raízes tenham maior crescimento em função do maior período entre o plantio e o corte, amenizando o efeito prejudicial da compactação. Em estudo com graus de compactação e produção de plantas de cobertura, de Lima et al. (2015) relataram que o aumento da densidade de $1,3 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ para $1,9 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (Latossolo com teores de areia, silte e argila de 420, 110 e $470 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) reduziu a altura do capim-Marambu. Pela alta densidade do PVAd, houve restrição no crescimento do Jiggs, causada pela redução na porosidade total e da macroporosidade (Tabela 6), menor fluxo de água (Figura 13) e aumento na resistência do solo a penetração (Figura 14), com restrições na absorção de água, nutrientes e, consequentemente no seu crescimento (TOGNON, 1991).

Figura 15 Média de altura de plantas (cm) dos solos Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico típico (PVAd) (a) e Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico (PVAdl) (b) nos três cortes. Para os graus de compactação, médias com as mesmas letras não diferem entre si pelo Tukey com $\alpha = 0,05$.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

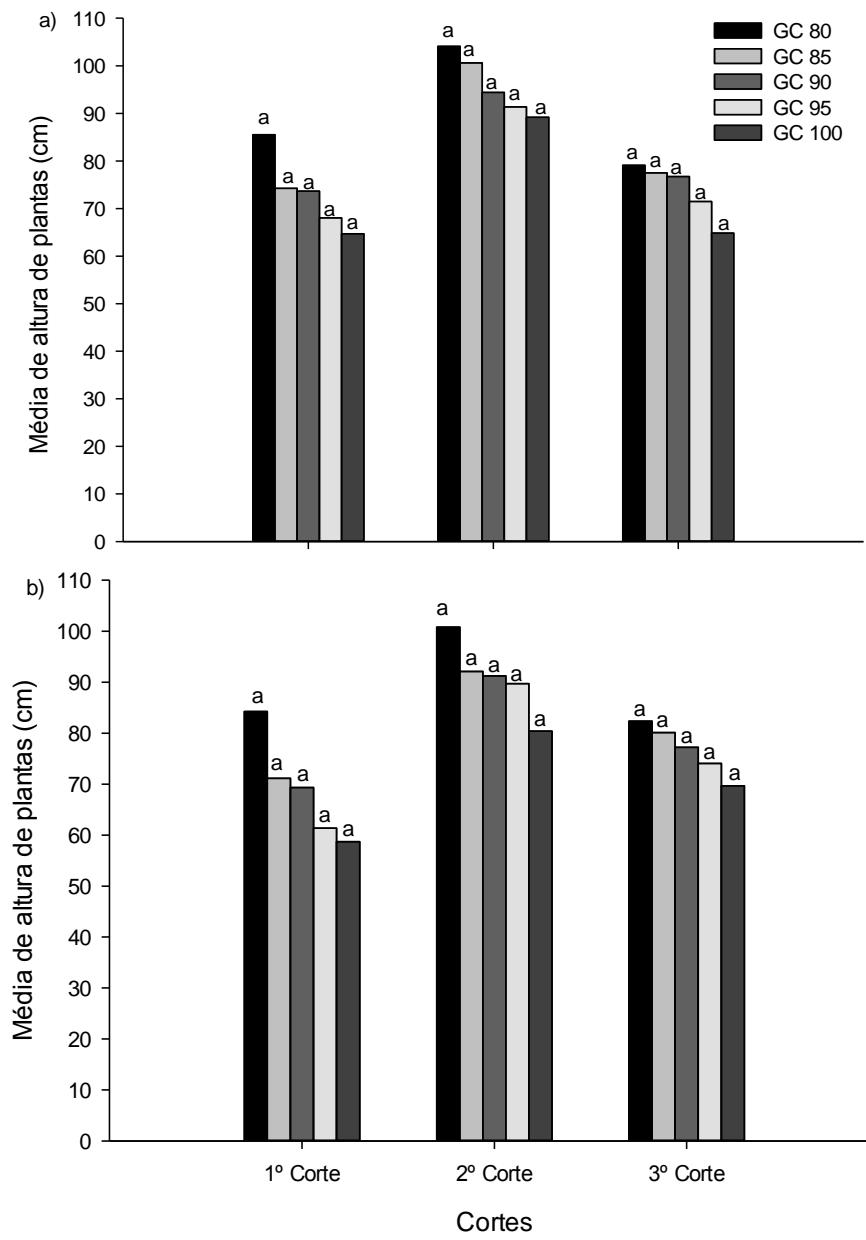
O PVAdl teve menor altura de plantas em função do GC ($r = -0,95$, anexo 4), mas não foi significativa (Figura 15b). Isso pode ser explicado pela presença de grande quantidade de areia fina (0,2 – 0,05 mm), a qual, no processo de compactação forma poros de menor tamanho, já que as partículas de argila e silte, de menor tamanho, ocupam os espaços entre as partículas de areia fina, o que causa uma diminuição dos macroporos e dificulta o crescimento das raízes. Suzuki et al. (2007) também encontraram resultado semelhante e relataram que o GC mais favorável ao crescimento das plantas foi o de 86%. Quando o grau de compactação fica abaixo de 80% pode ocorrer diminuição na produção das culturas, por apresentar muito espaço poroso

e assim há menor contato das raízes com nutrientes e com água, já que o solo apresenta mais espaços porosos a águas é drenada com mais facilidade. Quando é superior a 86% é capaz de que haja diminuição na produção por ser considerado elevado (LINDSTRON & VOORHEES, 1994). Entretanto o grau de compactação que é crítico ao desenvolvimento as plantas, vai depender muito do tipo do solo conforme relatado por Suzuki et al. (2007).

No CHd a altura de plantas diminuiu com o GC ($r = -0,99$, anexo 4), mas também não foi significativo (Figura 16a). Em relação aos demais solos as plantas cresceram mais, pois, mesmo para GC de 100% a densidade é menor e a porosidade é maior, devido ao elevado teor de MO (Tabela 2). Com maior espaço poroso no solo, maior área específica da MO e maior CTC da MO, as plantas se desenvolver sem restrição em todos os GC. No PVef as plantas tiveram redução de altura com o GC ($r = -0,98$, anexo 4), mas também não houve diferença estatística (Figura 16b).

Para altura de planta referente ao terceiro corte pode-se notar que houve decréscimo em relação ao segundo corte, que pode ser explicado pelo fato de o terceiro corte ser já no final do ciclo da planta, causando diminuição na altura e produção de massa seca. Poczynek et al. (2016) estudando a capacidade produtiva e qualidade nutricional de gramíneas perenes, relataram que o Jiggs, apresentou uma média menor de produção de massa seca no quarto e último corte em relação ao primeiro corte. Corroborando com Mayer et al. (2017) encontraram menor produção de massa seca no último corte do cultivar Tifton 85 que foi atribuído ao período final de ciclo do cultivar. Guimarães (2012) destaca que a dinâmica de acúmulo de massa seca e o ciclo das gramíneas é de fundamental importância para um bom planejamento na implantação de uma pastagem com forrageira.

Figura 16 Média de altura de plantas (cm) dos solos Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico (CHd) (a) e Argissolo Vermelho Eutroférrico chernossólico (PVef) (b) nos três cortes. Para os graus de compactação, médias com as mesmas letras não diferem entre si pelo Tukey com $\alpha = 0,05$.



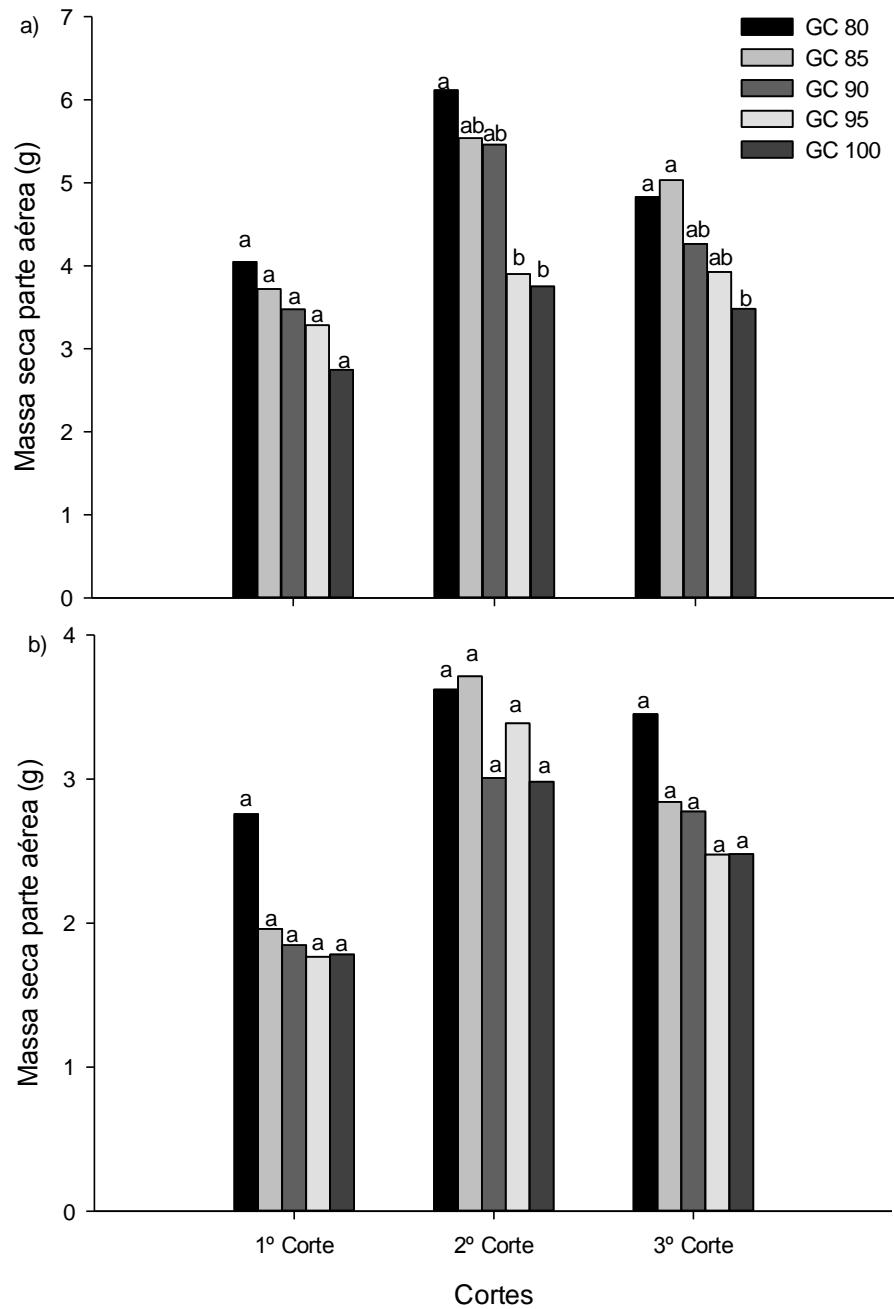
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

4.5 MASSA SECA DA PARTE AÉREA

A produção de massa seca da parte aérea do Jiggs foi decrescendo conforme aumenta o grau de compactação, com correlações de -0,99, -0,92, -0,79 e -0,96 para os solos PVAd, PVAdl, CHd e PVef, respectivamente (anexo 4). Na Figura 17a pode-se visualizar que para o solo PVAd, o primeiro corte teve a menor massa seca, aumentou no segundo corte e foi menor novamente no terceiro. Essa diminuição pode estar relacionada com o que já foi relatado anteriormente, como a limitação do espaço físico para as raízes crescerem nos solos mais

compactados. O PVAdl não apresentou diferenças estatísticas para cada corte (Figura 17b), porém pode-se visualizar que o segundo e terceiro corte foram maiores em relação ao primeiro.

Figura 17 Teor de massa seca (g) em relação ao grau de compactação (%) em três cortes para os Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico típico (PVAd) (a) e Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico (PVAdl) (b).

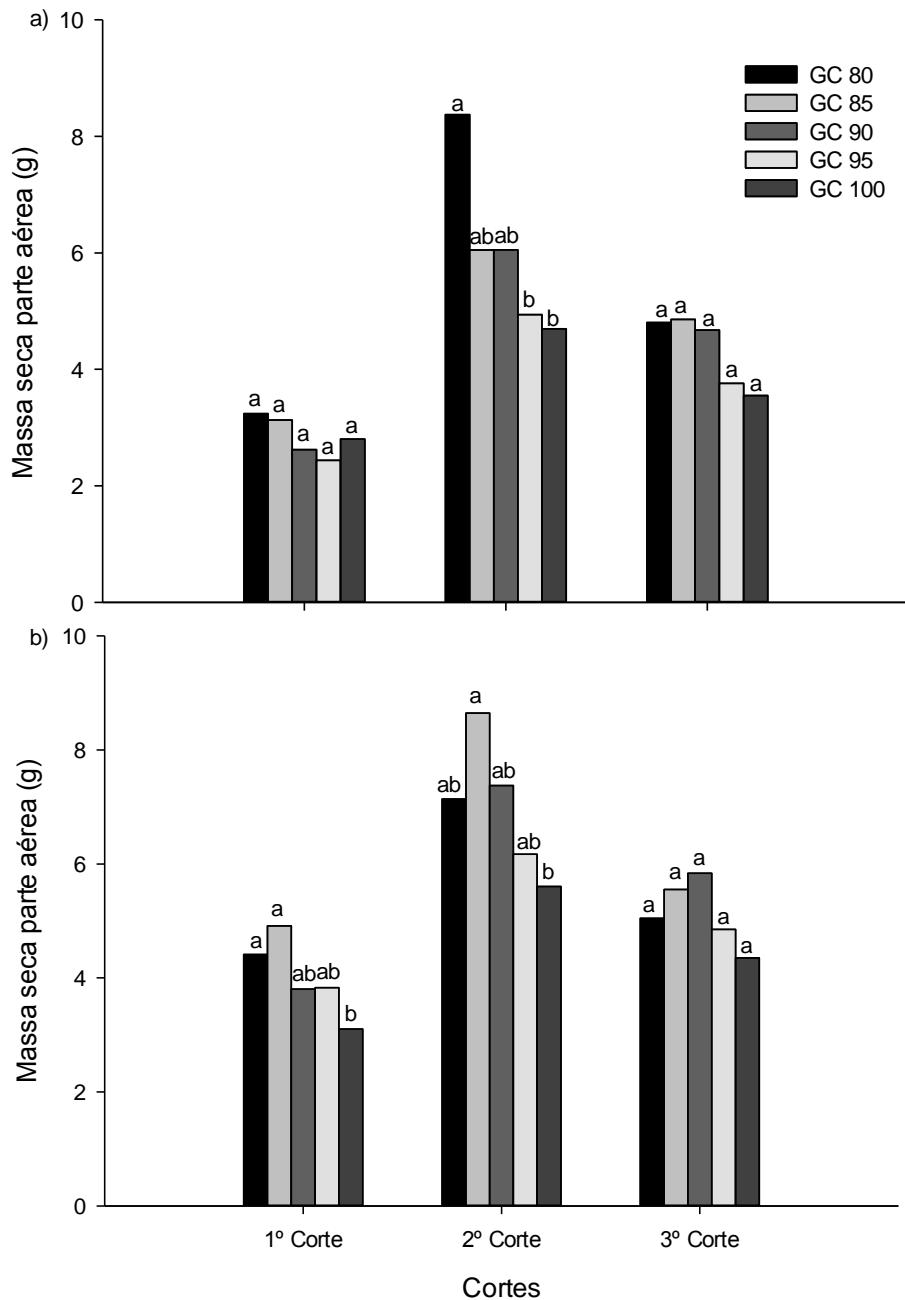


Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

No PVef a produção de massa seca segue o mesmo padrão dos outros solos, destacando o segundo corte que apresenta maior média com diferenças estatísticas em todos os graus de compactação (Figura 18a). Da mesma forma o CHd o segundo corte apresenta valores médios maiores, com diferenças estatísticas em relação aos outros cortes, sendo o primeiro menor e o terceiro corte com valores intermediários (Figura 18b). Os dados obtidos por Severiano et al.

(2010) corroboram com nosso estudo, onde relataram para um Argissolo Vermelho-Amarelo muito argiloso ($653 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ de argila) que a produção de tifton 85 reduziu com o aumento do grau de compactação.

Figura 18 Teor de massa seca (g) em relação ao grau de compactação (%) em três cortes para os solos Argissolo Vermelho Eutroférrico chernossólico (PVef) (a) e Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico (CHd) (b).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

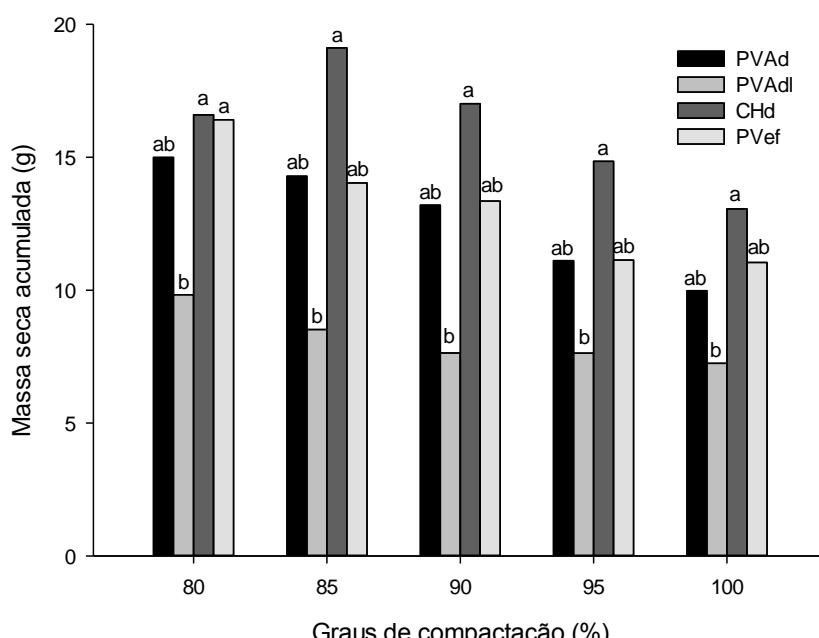
No PVAd os graus de compactação de 80, 85 e 90% obtiveram as maiores médias, independente dos cortes. De forma contrária, no PVAdl não houve diferença estatística entre os graus de compactação. Já para PVef, os graus de compactação de 80, 85 e 90% foram os de

melhor qualidade para a produção de massa seca da parte aérea. No CHd o grau de compactação de 85% se destacou na produção de massa seca da parte aérea seguido dos graus de compactação 85 e 90% com valores médios de produção de massa seca e o grau de compactação de 100% sendo o que apresentou menores valores de massa seca de parte aérea.

Bonelli et al. (2011), em um Latossolo Vermelho Amarelo ($696 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ de areia), utilizando capim-mombaça também relataram que o aumento da densidade do solo, de 1,0 a 1,6 $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$, reduziu a produção de massa seca da parte aérea. Foloni et al. (2006) observaram, para as forrageiras mucuna preta e lab lab, redução da massa seca da parte aérea em função do aumento da densidade do solo. Em contrapartida, Gonçalves et al. (2006), em seu estudo que objetivava identificar espécies que tivessem capacidade de ultrapassar camadas compactadas, não detectaram diferença na produção de massa seca da parte aérea de milheto ADR 500 e do capim pé de galinha, em função da compactação do solo.

Para produção acumulada de massa seca, maior média foi observada no CHd em todos os GC (Figura 19). Neste Solo a massa seca no grau de compactação 80% foi inferior a de 85%, explicado pelo fato do grau de compactação de 80% ter uma densidade muito baixa ($0,98 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$). Suzuki et al. (2007) explicam que solos com baixa densidade são indicativos de solos muito soltos, comprometendo a retenção de água, assim, as culturas não têm boa disponibilidade de água para seu correto desenvolvimento. Os solos PVAd e PVef apresentaram massa seca semelhante, enquanto o PVAdl apresentou as menores médias em todos os GC.

Figura 19 Massa seca acumulada dos 3 cortes (g) comparando cada solo em cada grau de compactação.



PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico típico; PVAdl: Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico latossólico; CHd: Cambissolo Húmico Ditrófico saprolítico; PVef: Argissolo Vermelho Eutroférreico chernossolico. Letras iguais não diferem entre si ($P<0,05$) pelo teste de Tukey

4. 6 MASSA SECA DE RAIZ

Como o aumento do grau de compactação de 80 a 100%, em todos os solos aumentou a quantidade de raiz no anel superior, indicando que houve restrição de crescimento em profundidade. Por outro lado, no anel intermediário e inferior há um decréscimo na massa seca de raiz. No PVAd, para o anel superior, com os graus de compactação de 80, 85 e 90% obtiveram valores médios maiores do que em relação aos anéis intermediário e inferior (Tabela 8). Os anéis intermediários de PVAd não diferiram, enquanto no anel inferior com GC de 80% a média foi maior. Para todos os outros solos os valores médios de massa seca de raiz, independentemente da camada de solo não houve diferença na massa seca de raízes.

Tabela 8 Massa seca de raiz (g) para os anéis superiores, intermediários e inferiores, onde os anéis superiores e inferiores os graus de compactação é de 80% de cada solo, e os anéis intermediários contém os graus de compactação de 80, 85, 90, 95 e 100%.

GC (%)	Solo													
	PVAd				PVAdl				PVef				CHd	
	Anel sup.	Anel Inter.	Anel Inf.	Anel sup.	Anel Inter.	Anel Inf.	Anel sup.	Anel Inter.	Anel Inf.	Anel sup.	Anel Inter.	Anel Inf.	Anel sup.	Anel Inter.
g														
80	0,77 a	0,88 a	1,46 a	0,78 a	0,71 a	0,94 a	0,82 a	0,82 a	1,70 a	0,87 a	1,10 a	2,07 a		
85	0,79 a	0,88 a	1,23 ab	0,93 a	0,59 a	0,84 a	0,83 a	0,73 a	1,33 a	0,88 a	1,03 a	1,84 a		
90	0,76 a	0,78 a	1,23 ab	0,96 a	0,58 a	0,78 a	0,82 a	0,66 a	1,15 a	1,11 a	1,02 a	1,85 a		
95	0,98 ab	0,69 a	1,11 ab	1,17 a	0,57 a	0,75 a	0,90 a	0,60 a	1,27 a	1,15 a	0,99 a	1,69 a		
100	1,14 b	0,55 a	0,83 b	1,13 a	0,60 a	0,55 a	1,03 a	0,57 a	1,09 a	1,170 a	0,95 a	1,67 a		

Letras iguais não diferem entre si ($P<0,05$) pelo teste de tukey. PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico típico; PVAdl: Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico latossólico; CHd: Cambissolo Húmico Ditrófico saprolítico; PVef: Argissolo Vermelho Eutroférico chernossólico.

O aumento da quantidade de massa seca de raiz no anel superior foi proporcionado pela compactação subsuperficial do solo, inibindo o crescimento radicular da cultura do Jiggs na camada compactada e confinando na camada superior. Da mesma maneira Rosolem et al. (1994) relataram maior concentração de raízes de soja na camada de 0 a 15cm em um Latossolo Vermelho arenoso na maior densidade subsuperficial ($1,72 \text{ Mg. M}^{-3}$).

Para plantas de cobertura de verão Reinert et al. (2008) evidenciaram que, quanto maior o grau de compactação, menor era o crescimento radicular e as raízes apresentavam deformações. Para o Argissolo avaliado pelos autores, a densidade crítica ao crescimento das plantas foi de $1,85 \text{ Mg.m}^{-3}$. Muller et al. (2001), em seu estudo com crescimento radicular de plantas de adubação de inverno, relataram que a ervilhaca diminui a massa seca de raiz com o

aumento da densidade do solo em camadas subsuperficiais. Em um Latossolo Vermelho com textura argilosa Sales et al. (2018), relataram declínio da massa seca de raiz de capim-marandu com o aumento da densidade do solo de 1,0 para 1,6 Mg.m⁻³.

Nos anéis inferiores, mesmo havendo diminuição na quantidade de massa seca de raiz em função do aumento da densidade, houve elevada massa de raiz, pois as raízes tendem a procurar pontos de fraqueza e menor resistência para se aprofundar no perfil do solo. Neste estudo as raízes encontraram um impedimento de crescimento no anel intermediário e procuraram pontos para poder se aprofundar no solo, que foi a região entre o solo e a parede dos vasos. Com isso, as raízes cresceram em direção ao anel inferior (anexo 2), como observado no anel intermediário do PVAdl na compactação de 100%, onde quase não foi encontrado raiz em seu interior, mas foi encontrado onde o solo encontra a parede do anel (Figura 21). Houve acúmulo de raízes na parte inferior do anel inferior como pode ser visualizado na Figura 22.

Figura 20 Solo e desenvolvimento de raízes no anel intermediário da coluna do solo Argissolo Vermelho – Amarelo Distrófico latossólico (PVAdl) no grau de compactação de 100%.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 21 Acúmulo de raízes no fundo dos vasos ao final do experimento, no grau de compactação 80% no Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico (CHd).



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

5 CONCLUSÕES

Independentemente do tipo de solo, o aumento do grau de compactação afeta de maneira negativa os atributos do solo, diminuindo a macroporosidade e aumentando a microporosidade como consequência diminuindo a porosidade de aeração e aumentando a resistência do solo a penetração.

A produção de Jiggs nos solos siltosos Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico e Argissolo Vermelho Eutroférreico chernossólico e no solo arenoso Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico típico foi afetada negativamente nos graus de compactação mais elevados (95 e 100%). O Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico latossólico foi no qual a produção de Jiggs foi afetada negativamente desde o grau de compactação de 80%. O Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico apresentou maior produção de Jiggs.

Para os solos Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico, Argissolo Vermelho Eutroférreico chernossólico e Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico latossólico as raízes apresentaram uma distribuição uniforme na coluna de solo. No solo Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico típico a partir do grau de compactação de 95% houve acúmulo de raízes no anel superior, indicando que em densidades elevadas o sistema radicular do Jiggs tem dificuldades para aprofundar no perfil de solo.

6 REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: Solo: Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986. 10p.
- AGUIAR, A.D.; VENDRAMINI, J.M.B.; ARTHINGTON, J.D.; SOLLENBERGER, L.E.; SANCHEZ, J.M.D.; SILVA, W.L. da; VALENTE, A.L.S.; SALVO, P. Stocking rate effects on 'Jiggs' bermudagrass pastures grazed by heifers receiving supplementation. *Crop Science*, v.54, p.2872-2879, 2014. DOI: 10.2135/cropsci2014.02.0135.
- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.25, p.717-723, 2001.
- ALENCAR, C. A. B. Produção de seis gramíneas forrageiras tropicais submetidas a diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio, na região Leste de Minas Gerais. 2007. 121 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.
- ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p.
- ATHAYDE, A.A.R.; CARVALHO, R.C.R; MEDEIROS, L.T.; VALERIANO, A.R.; ROCHA, G.P. Gramíneas do gênero *Cynodon* – cultivares recentes no Brasil. Boletim técnico Universidade Federal de Lavras, n.73, p.1-14. 2005.
- BADE, D. H. Bermudagrass varieties: Tifton-85, Jiggs, World Feeder. In: Proc. 55th South. Pasture Forage Crop Improv. Conf., Raleigh, 2000, NC. p. 1-3.
- BAIER, A.C. Centeio. Passo Fundo: Embrapa, 1994. 29 p. Disponível em:<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/164511/1/FL-06193.pdf>>. Acesso em: 07 setembro de 2018.
- BARBOSA, F.A.; SOARES FILHO, B.S.; MERRY, F.D.; AZEVEDO, H.O.; COSTA, W.L.S.; COE, M.T.; et al. Cenários para a Pecuária de Corte Amazônica. Belo Horizonte: IGC/UFMG; 2015. 146 p.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. *Soil physics*. 4.ed. New York, John Wiley, 1972. 498p.
- BENGOUGH, A.G. & MULLINS, C.E. Mechanical impedance to root growth: A review of experimental techniques and root growth responses. *J. Soil Sci.*, 41:341-358, 1990.
- BENGOUGH, A.G. Root elongation is restricted by axial but not by radial pressures: so what happens in field soil? *Plant and Soil*, v.360, p.15-18, 2012. DOI: 10.1007/s11104-012-1428-8
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produção de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, n. 6, p. 843-849, 2005.
- BEUTLER, A.N. & CENTURION, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:581-588, 2004.
- BONELLI, E. A. et al. Compactação do solo: efeitos nas características produtivas e morfológicas dos capins Piatã e Mombaça. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 264-269, Mar. 2011. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662011000300007&lng=en&nrm=iso>. Access on 11 Dec. 2018.

- BOONE, F.R. & VEEN, B.W. Mechanisms of crop responses to soil compaction. In: SOANE, B.D. & VAN OUWERKERK, C., eds. *Soil compaction in crop production*. Amsterdam, Elsevier, 1994. cap.11, p.237-264.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. *The Nature and Properties of Soils*, 15th ed.; Pearson Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, USA, 2016.
- BRAIDA, J. A., REICHERT, J. M., DA VEIGA, M., REINERT, D. J. Mulch and soil organic carbon content and their relationship with the maximum soil density obtained in the proctor. *Rev. Brasileira De Cienc. Do Solo* 30: 605–614. 2006.
- BRAIDA, J.A., BAYER, C., ALBUQUERQUE, J. A., REICHERT, J. M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: FILHO, O.K. et al. (Org.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. V.VII, p.222-227. 2011. Disponível em: <http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.quoos.com.br/downloads/Disciplinas/FisicaSolo/Braida_J_A_TCS2011.pdf>. Acesso em 20 de dezembro de 2018.
- BRANDSTETTER, E. V., COSTA, K. A. P., DA SILVA, M. A. P., ARAÚJO NETO, F. R., DA SILVA, V. R., NEVES, R. B. S., DE SOUZA, W.E.; OLIVEIRA, I. P. Production of Jiggs bermudagrass and the impact of quality milk production and quality of Holstein dairy cows under an intermittent grazing system. *Canadian Journal of Animal Science*, 98(2), 279–288, 2018 DOI:10.1139/cjas-2016-0136
- BROCH, D. T.; KLEIN, V. A. Maximum soil density of Entisols as a function of silt content. *Cienc. Rural*, Santa Maria, v. 47, n. 12, e20160762, Dec. 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782017001200251&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 02 Oct. 2018. Epub Nov 17, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20160762>.
- BUENO, B. S.; VILAR, O. M. *Mecânica dos solos*. São Carlos: USP/EESC, 1998.
- CAMARA, R.K.; KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. *Ci. Rural*, 35:813-819, 2005.
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. *Compactação do Solo e o desenvolvimento de Plantas*. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.
- CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: Água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.25, p.183-88, 1995.
- 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, p.425-433, 1990.
- CARVALHO, M.S.S.; PEDREIRA, C.G.S.; TONATO, F. Análise de crescimento de capins do gênero *Cynodon* submetidos a frequências de colheita. *Boletim Indústria Animal*, v.69, n.1, p.041-049, 2012.
- COLLARES, G.L. et al. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 933-942, 2008.
- COLLARES, G.L., 2005. Soil compaction on an Oxisol and Alfisol and its relation with soil and plant parameters. Doctorate Thesis, Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 106 pp, 2005.
- COSTA, W. A.; OLIVEIRA, C. A. da S.; KATO, E. Modelos de ajuste e métodos para a determinação da curva de retenção de água de um Latossolo-vermelho-amarelo. vol.32, Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]. Rio de Janeiro. 2008.

CQFS-RS/SC - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. Manual de calagem e de adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11. ed. SBCS/NRS: Frederico Westphalen. 2016. 376p.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; MONTANARI, R.; ANDREOTTI, M.; BEM, E. A. D. Inter-relações da produtividade de cana soca com a resistência à penetração, umidade e matéria orgânica do solo. *Revista Ceres*. 61:2:255-264, 2014. doi:10.1590/S0034-737X2014000200014

DE MARIA, I.C., CASTRO, O.M., SOUZA DIAS, H., 1999. Soil physical properties and soybean root growth in an Oxisol under different tillage systems. *Braz. J. Soil Sci.* 23, 703–709, 1999.

DE SOUZA, E. J.; DA CUNHA, F. F. Métodos para estimativa da umidade do solo na capacidade de campo. *Revista de Ciências Agro-Ambientais*, v.11, n.1, p.43-50 2013.

DEBNATH, P.; DEB, P.; SEN, D.; PATTANNAIK, S. K.; SAH, D.; GHOSH, S. K. Physico-chemical properties and its relationship with water holding capacity of cultivated soils along altitudinal gradient in Sikkim. *International Journal of Agriculture Environment & Biotechnology*, v. 5, n. 2, p. 161-166, 2012.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, v. 120, p. 201-214, 2004.

DIAS JUNIOR, M.S. A Soil Mechanics Approach to Study Soil Compaction and Traffic Effect on the Preconsolidation Pressure of Tropical Soils. In: Lectures given at the College on Soil Physics Trieste, 3–21 March 2003, Soil Science Department, Federal University of Lavras, Brazil pp.112-137.

DIAS-FILHO, M. B. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. 4. ed. rev., atual. e ampl. Belém, PA, 2011.

DIAS-FILHO, M. B. Recuperação de pastagens e segurança alimentar: uma abordagem histórica da pecuária na Amazônia. Bebedouro: Editora Scot Consultoria, 2013.

DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A. (Eds). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America, p.3-21, 1994.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Classificação dos Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Solos do Estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 751 p.

EVERS, G.W.; DOCTORIAN, D.S., DAVIDSON, A.D. 1996. Bermudagrass variety test at Overton- 1994. Texas A&M Univ., Overton.

<http://cnrit.tamu.edu/cgrm/forres96/pdfs/frtbermu.pdf> (acessado em 22 de setembro de 2018).

FAGUNDES, J. L.; MOREIRA, A. L.; FREITAS, A. W. P.; ZONTA, A.; HENRICH, R.; ROCHA, F. C.; BACKES, A. A.; VIEIRA, J. S. Capacidade de suporte de pastagens de capim-tifton 85 adubado com nitrogênio manejadas em lotação contínua com ovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 40, n. 12, p. 2651-2657, 2011.

FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. D. Production systems - An example from Brazil. *Meat Science*, v. 84, n. 2, p. 238-243, 2010.

- FERRERAS, L.A.; DE BATTISTA, J.J.; AUSILIO, A.; PECORARI, C. Parámetros físicos del suelo en condiciones no perturbadas y bajo laboreo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 36: 161-170, 2001.
- FOLONI, J.S.S.; LIMA, S.L. & BÜLL, L.T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:49-57, 2006.
- FONSECA, D, M.; MARTUSCELLO, J. A. Plantas Forrageiras. 1 ed. Viçosa. UFV. 2010. 537 p.
- FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos. Leguminosas Forrageiras Perenes de Inverno. In: FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos. Forrageiras para Integração Lavoura Pecuária Floresta na Região Sul-Brasileira. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2012. Cap. 11. p. 321-334.
- GONÇALVES, W. G.; JIMENEZ, R. L.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; PIRES, F. R. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. *Engenharia Agrícola*, v.26, p.67-75, 2006.
- GRANT, C. A.; LAFOND, G. P. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v. 73, p. 223-232, May 1993.
- GROHMANN, F. Correlação entre superfície específica e outras propriedades de solos de São Paulo. Vol. 1 *R. Bras. Ci. Solo* 1977.
- GUBIANI, P. I. et al. Permeâmetro de carga decrescente associado a programa computacional para a determinação da condutividade hidráulica do solo saturado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.993-997, 2008.
- GUBIANI, P. I.; REICHERT, J. M.; CAMPBELL, C.; REINERT, D. J.; GELAIN, N. S. Assessing errors and accuracy in dew-point potentiometer and pressure plate extractor measurements. *Soil Science of America Journal*, v. 77, p. 19-24, 2012.
- GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro: II. efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 213-218, maio/ago. 2002.
- GUIMARÃES, M.S. Desempenho produtivo, análise de crescimento e características estruturais do dossel de dois capins do gênero *Cynodon* sob duas estratégias de pastejo intermitente. 2012. 81f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
- HÅKANSSON, I. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. *Soil and Tillage Research*, 16(1-2), 105–120, 1990. doi:10.1016/0167-1987(90)90024-8
- HAKANSSON, I.; LIPIEC, J. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil and Tillage Research*, v. 53, n. 2, p. 71-85, 2000.
- HAKANSSON, I.; STENBERG, M.; RYDBERG, T. Long-term experiments with different depths of mouldboard ploughing in Sweden. *Soil and Tillage Research*, v.46, p.209-223, 1998.
- HILLEL, D. Environmental soil physics. San Di ego, Academic Press, 1998. 771p.
- HOLTZ, R .D. & KOVACS, W.D. An introduction to geotechnical engineering . New Jersey, Prentice-H all, 1981. 733p.

IBGE. Censo agropecuário 1920/2006. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 07 de setembro 2018.

JAMISON, V. C. Changes in air water relationships due to structural improvement of soils. *Soil Science*. 76:143-151, 1953.

JENSEN, D. K.; TULLER, M.; JONGE, L. W.; ARTHUR, E.; MOLDRUP, P. A New Two-Stage Approach to predicting the soil water characteristic from saturation to oven-dryness. *Journal of Hydrology*, v. 521, p. 498–507, 2015.

KER, J. C. Caracterização química, física, mineralogia e micromorfológica de Solos Brunos subtropicais. (Tese D.S.) Viçosa. MG. UFV. 1988.

KLEIN, V. A. et al. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 365-371, 2008.

KLEIN, V. A. Física do solo. Passo Fundo: Ediupf, 3^a edição, 2014.

KLEIN, V. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Água disponível em um Latossolo Vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.646-650, 2006.

KRZIC, M.; BULMER, C.; TESTE, F.; RAHMAN, S.; DAMPIER, L. Relative measure of bulk density to characterize compaction of forest soils caused by harvest. Vancouver: UBC, 2003. (Final Report R2003- 0219).

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. DA S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Santa Maria, v. 31, p. 1131-1140, 2007.

LETEY, J. Relationship between soil physical conditions and crop production. *Adv. Soil Sci.*, 1:277-293, 1985.

LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. São Paulo: Edusp, 2005.

LIMA, L. B. de; PETTER, F. A.; LEANDRO, W. M. Desempenho de plantas de cobertura sob níveis de compactação em Latossolo Vermelho de Cerrado. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande, v. 19, n. 11, p. 1064-1071, Nov. 2015. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662015001101064&lng=en&nrm=iso>. access on 26 Jan. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n11p1064-1071>.

LINDSTRON, M.J.; VOORHEES, W.B. Response of crop to soil compaction. In: SOANE, B.D. & van OUWERKERK, C. *Soil compaction in crop production*. London, Elsevier, 1994. p.265-286. (Developments in Agricultural Engineering, 2).

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 & Tillage Research*, v.19, p.307-317, 1991.

MACEDO, M. C. M. et al. Degradação e alternativas de recuperação e renovação de pastagens. Campo Grande: Embrapa Grado de Corte, 2000. 4p. (Comunicado Técnico, n.62).

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Dados de rebanho bovino e bubalino no Brasil, 2017. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/saude-animal/programas-de-saude-animal/febre-aftosa/documentos-febre-aftosa/DadosderebanhobovinoebubalinodoBrasil_2017.pdf>. Acesso em 04 de setembro de 2018.

- MARCOLIN, C.D. et al. Influência do teor de argila no solo nos limites de consistência e na umidade ótima para compactação. In: REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, Passo Fundo, 2006, Anais... Passo Fundo: NRS-SBCS, 2006. 1 CD-ROM.
- MARCOLIN, C.D.; KLEIN, V.A. Determination of relative soil density through a pedotransfer function of maximum bulk density. *Acta Science Agronomy*, v.33, p.349-354, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1807-86212011000200022&script=sci_abstract&tlang=pt>. Acessado em 02 de outubro de 2018.
- MASSAD, H. A. B. Curva de retenção de água no solo em cerrado no norte do Pantanal Mato-grossense no período seco. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá. p. 57. 2018.
- MAYER, C. C.; RUSCHEL, G.; SELZLER, J. R.; SORDI, A.; KLEIN, C.; HICKMANN, C.; MULLER, T. M.; CERIATO, A. Desempenho agronômico de forrageiras perenes e anuais. In: Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc, 2017, SÃO MIGUEL DO OESTE. Desempenho Agronômico de forrageiras perenes e anuais. In: Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc São Miguel do Oeste. São Miguel do Oeste: UNOESC, v. 2. p. 1-11, 2017.
- MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M. A. and SOUZA, E. G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* [online]. 2003, vol.27, n.6, pp.1149-1159. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000600019&tlang=en&nrm=iso>. ISSN 1806-9657. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000600019>.
- MESQUITA, M.G.B.F., MORAES, S.O. The dependence of the saturated hydraulic conductivity on physical soil properties. *Ci. Rural* 34, 963–969, 2004.
- MISLEVY, P. Jiggs a potencial bermudagrass for central Florida. Ona: University of Florida, 2002. Disponível em: <<http://rcrec-ona.ifas.ufl.edu/pdf/publications/ona-reports/2002/July-2002.pdf>>. Acessado em: 10 de setembro 2018.
- MIZOBATA, K. K. G. da S.; CASSIOLATO, A. M. R.; MALTONI, K. L. CRESCIMENTO DE MUDAS DE BARU E GONÇALO-ALVES EM SOLO DEGRADADO, SUPLEMENTADO COM RESÍDUO, EM ILHA SOLTEIRA - SP. *Ciênc. Florest.* [online]. 2017, vol.27, n.2, pp.429-444. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-50982017000200429&tlang=en&nrm=iso>
- MORAES, M. T. de et al. CORN CROP PERFORMANCE IN AN ULTISOL COMPACTED BY TRACTOR TRAFFIC. *Pesq. agropec. bras.* [online]. 2018, vol.53, n.4, pp.464-477. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2018000400464&tlang=en&nrm=iso>. ISSN 0100-204X. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2018000400008>.
- MORAES, S.O.; LIBARDI, PL.; NETO, D D. Problemas metodológicos na obtenção da curva de retenção da água pelo solo. *Scientia Agrícola*, 50(3):383-392. 1993.
- MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROsolem, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, n.3, p.531-538, 2001.
- NICOLOSO, R.S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M.R.; GIRARDELLO, V.C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica

na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.32, n.4, 2008.

OLIVEIRA V.S. et al. Distribuição de agregados e carbono orgânico em um Argissolo Amarelo distrocoeso em diferentes manejos. Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental, Campina Grande, v.14, p. 907-913, 2010.

OLIVEIRA, P.D.; SATO, M.K.; LIMA, H.V.; RODRIGUES, S. Critical limits of the degree of compactness and soil penetration resistance for the soybean crop in N Brazil. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 179: 78-87. 2016.

PACHECO, L. P., et al. Influência da densidade do solo em atributos da parte aérea e sistema radicular de crotalária. *Pesqui. Agropecu. Trop.* [online]. 2015, vol.45, n.4, pp.464-472. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-40632015000400464&lng=en&nrm=iso>. ISSN 1517-6398. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632015v4538107>.

PAES SOBRINHO, J. B. Mineralogia da fração argila de solos das serras do leste catarinense. 2005. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2005.

PEDREIRA, C. G. S. Gênero *Cynodon*. In: FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J. A. Plantas Forrageiras. Viçosa: Ed. UFV, p. 78-130, 2010.

PEDREIRA, C. G. S., et al. Fixed versus variable rest period effects on herbage accumulation and canopy structure of grazed 'Tifton 85' and 'Jiggs' Bermuda grass. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 53, n. 1, p. 113-120, jan. 2018. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2018000100113&lng=en&nrm=iso>. acessado em 22 Sept. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2018000100013>.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A. & CRESTANA, S. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:521-529, 2001

POCZYNEK, M., NEUMANN, M., HORST, E.H., LEÃO, G.F.M., POCZYNEK, M., & UENO, R.K. Capacidade produtiva e qualidade nutricional de gramíneas perenes submetidas a sistema contínuo de cortes. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 68(3), 785-794. 2016.

PRESTES, N. E.; CÓRDOVA, U. A. Introdução de espécies em campos naturais. In: CÓRDOVA, Ulisses de Arruda. Melhoramento e Manejo de Pastagens Naturais no Planalto Catarinense. Florianópolis: Epagri, 2004. Cap. 2. p. 107-173.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, M.A.C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, p.929-938, 2000.

R Development Core Team (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, <http://www.Rproject.org>.

RADÜNZ, E. A estrutura de gramíneas do gênero *Cynodon* e o comportamento ingestivo de equinos. Dissertação. (Curso de Pós-graduação em Ciências Veterinárias). UFPR. Curitiba. 2005. 48 p.

- RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F. SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v. 12, n.4, p. 381–384, 2008.
- REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo : Manole, 1990. 188p.
- REICHARDT, K. Capacidade de campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.12, p.211-216, 1988.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, 2012. 500 p.
- REICHERT, J.M.; ALBUQUERQUE, J.A.; GUBIANI, P.I.; KAISER, D.R.; MINELLA, J.P.G. & REINERT, D.J. Hidrologia do solo, disponibilidade de água às plantas e zoneamento agroclimático. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A.L. & GATIBONI, L.C., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. v.7, p.1-54.
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ci. Amb.*, 27:29-48, 2003.
- 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. *Tópicos Ciência Solo*, v.5 p.49-134, 2007.
- REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-ofcompactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil & Tillage Research*, v.102, p.242-254, 2009.
- REINERT, D.J. e REICHERT, J.M. Propriedades físicas do solo. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2006. 18p.
- REINERT, D.J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura de Argissolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 1805-1816, 2008.
- REZENDE, A.V.; RABÉLO, F.H.S.; RABELO, C.H.S.; LIMA P.P.; BARBOSA, L.A.; ABUD, M.C.; SOUZA, F.R.C. Características estruturais, produtivas e bromatológicas dos capins Tifton 85 e Jiggs fertilizados com alguns macronutrientes. *Revista Redalyc*. v. 36, n. 3 p. 1507 – 1515, 2015.
- RIBEIRO, K.G.; PEREIRA, O.G. Produtividade de matéria seca e composição mineral do capim Tifton 85 sob diferentes doses de nitrogênio e idades de rebrotação. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 4, p. 811-816, 2011.
- RICHARDS, L. A.; WEAVER, L. R. (1943). Fifteen-atmosphere percentage as related to the permanent wilting percentage. *Soil Science*, 56(5), 331-340.
- RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O.R.; LLANILLO, R.F. & FERREIRA, R. Compactação do solo: Causas e efeitos. *Semina*, 26:321-344, 2005.
- ROSOLEM, C. A.; ALMEIDA, A. C. S.; SACRAMENTO L.V.S. Sistema radicular e nutrição de soja em função da compactação do solo. *Bragantia*, 53:259-266, 1994
- ROSOLEM, C.A.; FOLONI, J.S.S. & TIRITAN, C.S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. *Soil Till. Res.*, 65:109-115, 2002.

ROTH, C.H.; CASTRO-FILHO, C.; MEDEIROS, G.B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo distrófico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 15, p. 241-248, 1992.

SALES, L. R. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi on the biomass and nutrition of *Urochloa decumbens* at different soil densities. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 53, n. 8, p. 943-951, Aug. 2018. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2018000800943&lng=en&nrm=iso>. access on 25 Dec. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2018000800009>.

SALVESTRO, A. C.; FREITAS, P. S.; REZENDE, R.; DALLACORT, R.; VIEIRA, C. V. Permanent wilting point of bean cultivated in Dystric Nitosols and Rhodic Ferralsols. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10(1), 462-466. 2012.

SCAGLIA, G.; BOLAND, H.T. The effect of bermudagrass hybrid on forage characteristics, animal performance, and grazing behavior of beef steers. *Journal of Animal Science*, v.92, p.1228-1238, 2014. DOI: 10.2527/jas.2013-6959.

SCHNEIDER, P. R.; GALVÃO, F.; LONGHI, S. J. Influência do pisoteio de bovinos em áreas florestais. *Revista Floresta*, v. 19, n. 1, p. 19-23, 1978.

SECCO, D. State of compaction of two Haplorthox under no tillage and implications on mechanical behavior and crop productivity. Doctorate Thesis, Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 108 pp, 2003.

SEVERIANO, Eduardo C. et al. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 39-45, Jan. 2010. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-4366201000100006&lng=en&nrm=iso>. access on 27 Dec. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-4366201000100006>.

SILVA, C. L.; KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. *Pesquisa e Agropecuária Brasileira*, v. 32, p. 213-220, 1997.

SILVA, F. R. da; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A. da. Crescimento inicial da cultura da soja em Latossolo Bruno com diferentes graus de compactação. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v. 38, n. 6, p. 1731-1739, Dec. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832014000600008&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 02 Oct. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000600008>.

SILVA, G. J.; MAIA, J. C. S.; BIANCHINI, A. Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetidas à irrigação subsuperficial e a diferentes graus de compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 31-40, Feb. 2006. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832006000100004&lng=en&nrm=iso>. Access on 11 Dec. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000100004>.

SILVA, V.J.; PEDREIRA, C.G.S.; SOLLENBERGER, L.E.; CARVALHO, M.S.S.; TONATO, F. BASTO, D.C. Seasonal herbage accumulation and nutritive value of irrigated

- 'Tifton 85', Jiggs, and Vaquero bermudagrasses in response to harvest frequency. *Crop Science*, v.55, p.2886-2894, 2015. DOI: 10.2135/cropsci2015.04.0225.
- SILVA, V.J.; PEDREIRA, C.G.S.; SOLLENBERGER, L.E.; CARVALHO, M.S.S.; TONATO, F.; BASTO, D.C. Growth analysis of irrigated 'Tifton 85' and Jiggs bermudagrasses as affected by harvest management. *Crop Science*, v.56, p.882-890, 2016. DOI: 10.2135/cropsci2015.07.0430.
- SILVA, V.R. Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 171p. (Tese de Doutorado).
- SILVEIRA JUNIOR, S. D. da; SILVA, A. P. da; FIGUEIREDO, G. C.; TORMENA, C. A.; & GIAROLA, N. F. B. Qualidade física de um latossolo vermelho sob plantio direto submetido à descompactação mecânica e biológica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(6), 1854-1867. 2012.
- SOANE, B.D.; OUWERKERK, C. van. Soil compaction problems in world agriculture. In: SOANE, B.D.; OUWERKERK, C. van, eds. *Soil compaction in crop production*. Netherlands, Elsevier. p.01-21, 1994.
- SOUZA, A. R.; SILVA, A. B.; RESENDE, M. Influência da pressão exercida por pisoteio de animais na compactação do solo do vale do Pajeú, em Pernambuco. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO DA ÁGUA, 12, 1988, Fortaleza. Anais... Fortaleza: SBC, p. 256-257, 1998.
- SOUZA, J. L. M. de et al. ATRIBUTOS FÍSICOS E BALANÇO HÍDRICO DO SOLO COM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, EM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO, EM TELÊMACO BORBA - PR. *Ciência Florestal*, [S.I.], v. 28, n. 1, p. 90-101, abr. 2018. ISSN 1980-5098. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/31583>>. Acesso em: 15 abr. 2019. doi:<http://dx.doi.org/10.5902/1980509831583>.
- SOUZA, Z. M.; JUNIOR, J. M.; COOPER, M.; PEREIRA, G. T. Micromorfologia do solo e sua relação com atributos físicos e hídricos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, n. 3, p. 487-492, 2006.
- STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: Microbiological indicators. *Soil Plant Sci.*, 49:1-24, 1999
- STEPNIEWSKI, W. et al. Effects of compaction on soil aeration properties. In: SOANE, B.D.; OUWERKERK, C. (Ed.). *Soil compaction in crop production*. Amsterdam: Elsevier, 1994. p.167-189.
- STRECK, C.A., 2003. Soil compaction and its effects on root growth and yield of black beans and soybeans. MSc Dissertation, Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 83 pp, 2003.
- SUZUKI, L.E.A.S., 2005. Soil compaction influence on soil physical properties and on crop growth and yield. MSc Dissertation, Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 149 pp, 2005.
- SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; R EINERT, D.J. & LIMA, C.L.R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. *Pesq. Agropec. Br as.*, 42:1159-1167, 2007.
- TAVARES FILHO, J. & TESSIER, D. Characterization of soil structure and porosity under long-term conventional tillage and no-tillage systems. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1837-1844, 2009.

TAVARES, M. H. F.; FELICIANO, J. J. da S.; VAZ, C. M. P. Análise comparativa de métodos para a determinação da curva de retenção de água em solos. Irriga, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 417-524, 2008.

TAYLOR, H.M. Effect of soil strength on seedling emergence, root growth and crop yield. In: BARNES, K.K., org. compaction of agricultural soils. Madison, American Society of Agricultural Engineers, 1971. p. 292-305, 1971. (ASAE Monograph)

TAYLOR, H.M.; BRAR, G.S. Effect of soil compaction on root development. Soil and Tillage Research, v.19, p.111-119, 1991.

TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M. & PARKER, J.J. Soil strength-root penetration relations for medium-to-coarse- textured soil materials. *Soil Sci.*, 102:18-22, 1966.

TOGNON, A. A. Propriedades físico-hídricas do Latossolo Roxo da região de Guairá-SP sob diferentes sistemas de cultivo. 1991. 85 f. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1991.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999. 58 p. (Circular técnica, 23)

TREIN, C. R.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo na rotação aveia+trevo/milho, após pastejo intensivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 15, p. 105-111, 1991.

VARGAS, M. Introdução à mecânica dos solos. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977. 509p.

VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A. H. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. *Soil Science*. v. 32, pp. 181-193, 1931.

WARD, A.D.; TRIMBLE, S.W. Environmental Hydrology. 2nd Ed. USA: Lewis Publishers, 475 p., 2004.

WHITELEY, G.M. & DEXTER, A.R. Root development and growth of oilseed, wheat and pea crops on tilled and nontilled soil. *Soil & Till. Res.*, 2:379-393, 1982

XU, X.; NIEBER, J. L.; GUPTA, S. C. Compaction effect on the gas diffusion coefficient in soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.56, n.5, p.1743-1750,1992.

ANEXOS

ANEXO 1 - Descrição geral e morfológica dos perfis de solo analisados neste Estudo.

Perfil 1 – Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico.

Perfil 2 - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico.

Perfil 3 - Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico.

Perfil 1 - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico.

DATA: 05 / 08 / 2003

CLASSIFICAÇÃO - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO -

LOCALIZAÇÃO - Estrada secundária de Sangão em direção à localidade de São Gabriel, 3 km após Sangão dobrar à esquerda, perfil a uns 500 metros à direita, Sangão, SC.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Coletado em meia encosta, em posição de terraço coluvial (AR-Afloramentos de boulder de granito no topo de elevação).

COORDENADA - 28°37'1,56"S; 49°7'52,95"W.

ALTITUDE - 101 m.

LITOLOGIA - Granito.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Suíte Intrusiva Pedras Grandes.

CRONOLOGIA - Superior, Granítóides.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto de extração do granito.

PEDROGOSIDADE - Não pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não rochoso.

RELEVO LOCAL - Ondulado.

RELEVO REGIONAL - Forte ondulado.

EROSÃO - Laminar

DRENAGEM - Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Floresta.

USO ATUAL - lavoura de culturas anuais.

CLIMA - Cfa (Koeppen)

DESCRITO E COLETADO POR - Jaime Antonio de Almeida, Álvaro Luiz Mafra, João Bosco Paes Sobrinho e Joni Ehrart.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1 0 - 30 cm, bruno-escuro (7.5YR 4/3, úmido) e bruno acinzentado muito claro (10YR 7/3, seco); franco-arenosa; fraca grande e pequena granular; macio, friável, não plástico e não pegajosa; transição clara plana.

A2 30 - 47 cm, bruno-escuro (7.5YR 4/3, úmido) e bruno acinzentado muito claro (10YR 7/3, seco); franco-arenosa; fraca grande e pequena granular, macio, friável, não plástico e não pegajosa com cascalho; transição clara plana.

AB 47 - 66 cm, bruno-escuro (7.5YR 4/4, úmido) e rosado (10YR 7/3, seco); franco-argilo-arenosa; fraca media e pequena granular; friável, plástica e ligeiramente pegajosa com cascalho; transição gradual plana.

BA 66 - 90 cm, bruno-forte (7.5YR 5/6, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca pequena bloco subangulares; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara plana.

B1 90 - 107 cm, bruno-avermelhado (5YR 4.5/6, úmido); franco-argilosa; fraca a moderada, média, blocos subangulares; cerosidade moderada e pouca, friável à firme, plástica e pegajosa; transição gradual e plana.

B2 107 - 133/163 cm, vermelho (2.5YR 5/6, úmida); franco-argilosa; fraca a moderada média blocos subangulares; cerosidade moderada e pouca; friável e firme; plástica e pegajosa; transição gradual e ondulada.

BC 133/136 - 200 cm, + vermelho (2.5YR 5/8, úmida); franco-argiloso; fraca moderada blocos subangulares; friável e firme; plástica e pegajosa.

C1-franco-argilo-arenoso, plástica e ligeiramente pegajosa.

OBSERVAÇÃO: Raízes: Muitas no A1 e A2, comuns no AB e B, poucos no B1 e B2 e raras no BC.

Perfil 2 - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico.

DATA: 06 / 08 / 2003

CLASSIFICAÇÃO - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO -

LOCALIZAÇÃO - Rodovia SC-438 trecho Orleans-Lauro Muller, entrando 500 metros à direita 3 km após a ponte Lauro Muller, lado direito, Lauro Muller, SC.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Coletado em meia encosta, em declive aproximado de 12% e cobertura de gramíneas e eucalipto.

COORDENADA- 28°23'25,29"S; 49°22'5,27"W. ALTITUDE - 245 m.

LITOLOGIA – Arenitos e siltitos FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Rio bonito CRONOLOGIA – Médio do Permiano, Grupo Guatá (Super Grupo Tubarão).

MATERIAL ORIGINÁRIO – produto da alteração de arenitos róseos com mistura de siltitos; não há evidencia de retrabalhamento.

PEDROGOSIDADE – Não pedregoso.

ROCHOSIDADE – Não rochoso.

RELEVO LOCAL – Ondulado.

RELEVO REGIONAL - Forte ondulado.

DRENAGEM - Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA –

USO ATUAL – Reflorestamento com Eucalipto.

CLIMA – Cfa (Koeppen)

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Antonio de Almeida, Álvaro Luiz Mafra, João Bosco Paes Sobrinho e Joni Ehrart.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 - 13 cm, bruno escuro(7.5YR 3.5/3 úmido) e bruno-claro acinzentado (10YR 6/3, seco);franco-argilo-arenoso; fraca a moderada média a granular; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

AB 13 - 25 cm, bruno forte (7.5YR 5/6 úmido com faces mais escuras bruno-escuro,7.5YR 4/3) e bruno-amarelado-claro (10YR 6/4, seco); franco-argilosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura, friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

BA 25 - 57 cm, bruno-forte (7.5YR 5/8, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca a moderada média blocos subangulares; ligeiramente dura, friável e firme; cerosidade fraca e pouca, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana.

B1 57 - 104 cm, bruno forte (6.5YR 5/8, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca a moderada média grande blocos subangulares; ligeiramente dura; friável a firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana, cerosidade moderada e pouca.

B2 104 - 139 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca a moderada; média e grande blocos subangulares; ligeiramente dura, friável a firme, cerosidade moderada e pouca, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

BC 139 - 148/155 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida); franco-argilo-arenosa; fraca grande blocos subangulares; ligeiramente dura, friável a firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara plana.

C1 148/155 - 185 cm, vermelho (2.5YR 4/8, úmida); franco-argilo-arenosa, fraca grandes blocos subangulares; ligeiramente dura, friável; plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara plana.

C2 185 - 200/230 cm, fraca grandes blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, transição clara irregular.

Cr 220 - 230 + cm maciça, (7.5YR 7/6 e 5YR 5/6 cores mescladas, macia).

Perfil 3 - Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico.

DATA – 24/06/2008

CLASSIFICAÇÃO ATUAL – Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - BR-153, sentido BR-282, a 13km após o perfil 5 em barranco do lado direito da rodovia BR-153. Município de Água Doce, SC.

COORDENADA – 26° 46' 23"S; 51° 41,7"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – terço inferior de encosta com 3% de declive sob vegetação de campo de altitude.

ALTITUDE – 1202m.

LITOLOGIA – Efusivas ácidas – Dacito.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Serra Geral.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de decomposição das rochas supracitadas.

CRONOLOGIA – Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

PEDROGOSIDADE – Não pedregoso.

ROCHOSIDADE – Não rochoso. RELEVO LOCAL – Plano a suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Ondulado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Campos de altitude.

USO ATUAL – Pastagem.

CLIMA – Cfb.

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Antonio de Almeida, Murillo Pundek, João Bertoldo de Oliveira, César da Silva Chagas, José Augusto Laus Neto, Denílson Dortsbach, André da Costa.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1 0 – 10 cm; cinzento muito escuro (7,5YR 3/1, úmido); cinzento muito escuro (5YR 3/1, seco); argilo-siltosa; forte pequena e muito pequena granular; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

A2 10 – 29 cm; bruno escuro (7,5YR 3/2, úmido); bruno avermelhado escuro (5YR 3/2, seco); argilo-siltosa; fraca a moderada média e grande blocos subangulares e moderada pequena granular; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

AB 29 – 38 cm; bruno escuro (10YR 3/3, úmido); bruno (7,5YR 4/4, seco); argilo-siltosa; fraca a moderada média blocos subangulares; friável; plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

Bi 38 – 52 cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/4, úmido); bruno forte (7,5YR 4/6, seco); argilo-siltosa; fraca a moderada pequena e média blocos subangulares; friável; plástico e pegajoso; transição abrupta e plana.

BCr 52 – 60 cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/6, úmido); bruno amarelado (10YR 5/6, seco); franco-argilosa; fraca pequena blocos subangulares; transição abruppta e plana.

Cr 60 – 115 cm; franco-siltosa.

Atividade da Argila: Bi: 21,5;

Relação Textural: 0,92.

ANEXO 2 – Disposição radicular na parte externa das unidades experimentais, CHd GC 95% (a), PVef GC 100% (b), PVAd GC 100% (c) e PVAdl GC 85% (d).



ANEXO 3 - Coeficientes de correlação de Pearson entre densidade máxima dos solos e teores de argila, silte e areia.

	Argila	Silte	Areia
Dsmax	-0.93	-0.94	0.95

Dsmax: densidade máxima.

ANEXO 4 –Coeficientes de correlação de Pearson entre grau de compactação e atributos do solo e planta.

Solo		Micro	Macro	PT	RP	AD	kSat	AP	MS
PVAd	GC	-0.80	-0.98	-1.00	0.98	-0.02	-0.96	-0.99	-0.99
PVAdl	GC	0.85	-0.99	-1.00	0.99	0.86	-0.94	-0.95	-0.92
CHd	GC	0.90	-0.99	-1.00	0.99	-0.80	-1.00	-0.99	-0.79
PVef	GC	0.99	-1.00	-1.00	0.94	0.93	-0.96	-0.98	-0.96

PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico típico; PVAdl: Argissolo Vermelho-Amarelo Ditrófico latossólico; CHd: Cambissolo Húmico Ditrófico saprolítico; PVef: Argissolo Vermelho Eutroférreico chernossólico. GC: grau de compactação, Micro: microporosidade, Macro: macroporosidade, PT: porosidade total, RP: resistência à penetração, AD: água disponível, kSat: condutividade hidráulica do solo saturado, AP: altura média de plantas dos três cortes, MS: massa seca de planta acumulada.