

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – IF GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS- AGRONOMIA

**MODELAGEM E QUANTIFICAÇÃO DA
COMPACTAÇÃO PROMOVIDA PELO PISOTEIO
ANIMAL EM UM LATOSSOLO SUBMETIDO
AO SISTEMA DE INTEGRAÇÃO
AGRICULTURA-PECUÁRIA**

Autor: Lucas Freitas do Nascimento Júnior
Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano

Rio Verde - GO
Julho - 2017

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO –
IF GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS AGRÁRIAS- AGRONOMIA

**MODELAGEM E QUANTIFICAÇÃO DA COMPACTAÇÃO PROMOVIDA
PELO PISOTEIO ANIMAL EM UM LATOSSOLO SUBMETIDO AO SISTEMA
DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA**

Autor: Lucas Freitas do Nascimento Júnior
Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde - Área de concentração “Tecnologias sustentáveis em sistemas de produção e uso do solo e água”

Rio Verde - GO
Julho – 2017

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

Nascimento Júnior, Lucas Freitas

NL933

Modelagem e quantificação da compactação promovida pelo pisoteio animal em um latossolo submetido ao sistema de integração agricultura-pecuária / Lucas Freitas Nascimento Júnior; orientador Eduardo da Costa Severiano; co-orientadora Kátia Aparecida de Pinho Costa. -- Rio Verde, 2017.
49 p.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrária-Agronomia) -- Instituto Federal Goiano, Câmpus Rio Verde, 2017.

1. Pisoteio animal. 2. ensaio de compressão uniaxial. 3. pressão de preconsolidação. 4. qualidade estrutural do solo. I. Severiano, Eduardo da Costa, orient. II. Costa, Kátia Aparecida de Pinho, co-orient. III. Título.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS-AGRONOMIA**

**MODELAGEM E QUANTIFICAÇÃO DA COMPACTAÇÃO
PROMOVIDA PELO PISOTEIO ANIMAL EM UM LATOSSOLO
SUBMETIDO AO SISTEMA DE INTEGRAÇÃO
AGRICULTURA-PECUÁRIA.**

Autor: Lucas Freitas Do Nascimento Júnior
Orientador: Dr. Eduardo da Costa Severiano

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de
Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em, 31 de julho de 2017.

Dr. Itamar Pereira de Oliveira
Avaliador externo
IF Goiano – Campus Rio Verde

Prof. Dr. Elton Fialho dos Reis
Avaliador externo
UEG – Campus Anápolis

Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano
Presidente da banca
IF Goiano – Campus Rio Verde

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por iluminar meus caminhos, concedendo força e coragem para sempre seguir em frente.

Agradeço à minha família, em especial a minha mãe Dalva Maria Cândida e a minha namorada Kássia de Paula Barbosa, pelo auxílio em todas as dificuldades encontradas durante minha trajetória.

Ao Instituto Federal Goiano Campus de Rio Verde e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, por me permitir a realização do Mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, concessão da bolsa de Mestrado.

Ao meu orientador Eduardo da Costa Severiano, pela orientação, ensinamentos e disponibilidade.

Ao professor Dr. Elton Fialho dos Reis e ao Dr. Itamar Pereira de Oliveira, por terem aceitado o convite de serem membros da banca examinadora e assim contribuir na construção desta dissertação através das sugestões de correções.

Aos professores do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Goiás Campus de Santa Helena de Goiás, que transmitiram seus conhecimentos, contribuindo na minha formação.

Ao Centro Tecnológico da Cooperativa Agroindustrial dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano – CTC-COMIGO, nas pessoas de Carlos Cesar Evangelista de Menezes, Ubirajara Oliveira Bilego e Alisson Vanin, pelo convênio e a permissão para realização deste projeto, contribuindo, assim, para evolução da ciência. Ao Laboratório de Física do Solo do Instituto Federal Goiano Campus de Rio Verde, onde foram realizadas todas as análises apresentadas neste trabalho.

Ao Wainer Gomes Gonçalves e ao professor Josué Gomes Delmond, sempre dispostos a discutir as dúvidas e resultados, agregando conhecimento e facilitando o entendimento.

A todos os colegas, de modo especial, Savio Menezes Cabral, Paulo Henrique Bezerra Lima, Ricardo Francisco da Silva e a Marlete Ferreira de Brito, pela ajuda e companheirismo.

A todos, que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho, meu muito obrigado.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Lucas Freitas do Nascimento Júnior, filho de Lucas Freitas do Nascimento e Dalva Maria Cândida. Nascido em 27 de março de 1987 na cidade de Goiânia, Goiás, residente na cidade de Santa Helena de Goiás. Em fevereiro de 2010, iniciou a graduação em Engenharia Agrícola, pela Universidade Estadual de Goiás (UEG), Campus Santa Helena de Goiás, graduando-se em março de 2015. No mesmo mês, deu início ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, nível mestrado, na linha de pesquisa: “Tecnologias sustentáveis em sistemas de produção e uso do solo e água”, na área de estudo de Física do Solo. A defesa da dissertação de mestrado ocorreu no dia 31 julho de 2017, como requisito indispensável para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias – Agronomia.

ÍNDICE GERAL

	Página
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.1 Compactação do solo no sistema de integração agricultura-pecuária.....	2
1.2 Ensaio de compressibilidade do solo como indicador da sua compactação	4
1.3 Referências bibliográficas	9
OBJETIVOS	14
CAPÍTULO I	15
3.1INTRODUÇÃO	15
3.2.Material e métodos	17
3.3 Resultados e discussão	23
3.4 Conclusões	32
3.5 Referências bibliográficas	32

ÍNDICE DE TABELA

	Página
CAPÍTULO I	
Tabela 1. Atributos físicos do Latossolo Vermelho Distrófico localizado na região de Rio Verde, GO.	18
Tabela 2. Sequência de ciclos de pastejo e piquetes com as datas das amostragens de solo.....	20
Tabela 3. Classificação das amostras, em porcentagem, de acordo com cada região apresentada na Figura 5, após o pastejo animal nos diferentes ciclos, em um Latossolo Vermelho na região de Rio Verde, GO.....	26
Tabela 4. Classificação das amostras, em porcentagem, de acordo com cada região apresentada na Figura 7, após o pastejo animal nos diferentes ciclos, em um Latossolo Vermelho na região de Rio Verde, GO.....	29
Tabela 5. Quadrados médios da análise de variância para caracterização e os quatro ciclos de pastejo para densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), macroporosidade (MaP) e microporosidade (MiP), no sistema de integração agricultura-pecuária de um Latossolo Vermelho localizado na Região de Rio Verde, GO.	30

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
INTRODUÇÃO	
Figura 1. Curva de compressão do solo [densidade do solo em função da pressão aplicada (σ)]. σ_p : pressão de preconsolidação.	06
Figura 2. Modelo de capacidade de suporte de carga com os critérios usados para analisar o efeito do agente compactante na pressão de preconsolidação, de acordo com Dias Junior et al.(2005).	07
CAPÍTULO I	
Figura 1. Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura ($^{\circ}$ C) mensal no município de Rio Verde, Goiás avaliados durante a condução do experimento.....	18
Figura 2. Croqui da área experimental, representando a quantidade e a disposição dos piquetes (P1 – P8). As coletas ocorreram nos piquetes marcados com asterisco (*). 19	19
Figura 3 Esquema para obtenção das amostras indeformadas dentro de cada piquete.	20
Figura 4. A) Modelo de capacidade de suporte de carga [pressão de preconsolidação (σ_p) em função do conteúdo de água no solo (U)] para o Latossolo Vermelho na profundidade de 0-0,05 m e B) critérios utilizados para analisar o efeito do pisoteio animal em sistemas de integração agricultura-pecuária “a”: região em que houve	

compactação adicional do solo, “b”: região em que o solo não sofreu compactação adicional e “c”: região em que houve descompactação do solo..... 23

Figura 5. Modelo de capacidade de suporte de carga do solo para compactação adicional [pressão de preconsolidação (σ_p) em função do conteúdo de água no solo (U)] e valores de pressão (σ) obtidos após o pastejo bovino em um Latossolo Vermelho Distrófico típico de Rio Verde, Goiás, sob sistema de integração agricultura-pecuária..... 25

Figura 6. A) Modelos de capacidade de suporte de carga [pressão (σ) em função do conteúdo de água no solo (U)] para compactação adicional (σ_p) e crítica (σ_{cr}) do Latossolo Vermelho Distrófico típico de Rio Verde, Goiás; e B) critérios utilizados para analisar o efeito do pisoteio animal em sistemas de integração agricultura-pecuária “a”: Região limitante às funções edáficas do solo, “b”: sem compactação crítica e “c”: sem compactação. 27

Figura 7. Modelo de capacidade de suporte de carga do solo para compactação prejudicial [pressão crítica (σ_{cr}) em função do conteúdo de água no solo (U)] e valores de pressão (σ) obtidos após o pastejo bovino em um Latossolo Vermelho Distrófico típico de Rio Verde, Goiás, sob sistema de integração agricultura-pecuária. 28

LISTA DE SIMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACOES E UNIDADES

IAP	Integração Agricultura Pecuária	
σ_p	Pressão de preconsolidação	kPa
σ_{cr}	Pressão de preconsolidação crítica	kPa
U	Umidade	kg Kg ⁻¹
PT	Porosidade Total	m ³ m ⁻³
MaP	Macroporosidade	m ³ m ⁻³
MiP	Microporosidade	m ³ m ⁻³
Ds	Densidade do solo	kg dm ⁻³
Dp	Densidade de partículas	kg dm ⁻³
m	Metro	m
kg	Quilograma	kg
mm	Milímetro	10 ⁻³ m
CTC-COMIGO	Centro Tecnológico da Cooperativa Agroindustrial dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano	
S	Sul	
W	Oeste	
ha	Hectare	
Ap	Horizonte A com perturbação de origem antrópica	
Bw	Horizonte B latossólico	
P	Piquete	
°C	Grau Celsius	
NaOH	Hidróxido de sódio	
%	Porcentagem	

RESUMO

NASCIMENTO JÚNIOR, LUCAS FREITAS Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, julho de 2017. **Modelagem e quantificação da compactação promovida pelo pisoteio animal em um Latossolo submetido ao sistema de integração agricultura-pecuária.** Orientador: Dr. Eduardo da Costa Severiano. Coorientadora: Dr.^a Kátia Aparecida de Pinho Costa.

O pisoteio animal durante o pastejo pode levar a compactação dos solos, principalmente na camada superficial. Quando em níveis críticos, ocasiona a degradação física do solo tendo como consequência a perda da sustentabilidade da produção agropecuária. Assim, é fundamental quantificar o impacto do pisoteio animal sobre a estrutura do solo, analisando a compactação ocasionada e assim avaliar a qualidade estrutural do solo. O objetivo do trabalho foi avaliar a ocorrência de compactação do solo promovida pelo pisoteio animal no sistema de integração agricultura-pecuária em um Latossolo Vermelho. O experimento foi conduzido na área de integração agricultura-pecuária do Centro Tecnológico da Cooperativa Agroindustrial dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano, localizada no município de Rio Verde, Goiás, no período de maio a setembro de 2016, totalizando quatro ciclos de pastejo animal. A área experimental é composta de 1,97 hectares sendo dividida em oito piquetes de mesmo tamanho e para avaliação experimental, foram selecionados como repetições, os piquetes 1, 3, 5 e 7. As amostragens de solo ocorreram antecedendo a fase pecuária e após os quatro ciclos de pastejo, sendo coletados nove pontos em cada piquete, na profundidade de 0 a 0,05 m, totalizando 180 amostras. Foram avaliados os atributos físicos do solo e o comportamento compressivo, a partir da determinação da pressão de preconsolidação e pressão crítica. Nas condições de estudo, a avaliação da compressibilidade do solo permitiu a compreensão dos impactos do pisoteio animal nos processos de compactação adicional e crítica do solo. O pastejo realizado no período de entressafra não é responsável pela disseminação da degradação estrutural do solo em sistemas de integração agricultura-pecuária.

PALAVRAS-CHAVE: Pisoteio animal, ensaio de compressão uniaxial, pressão de preconsolidação, qualidade estrutural do solo.

ABSTRACT

NASCIMENTO JÚNIOR, LUCAS FREITAS Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, julho de 2017. **Modeling and quantification of the compaction promoted by animal trampling in an Oxisol submitted to the system of agriculture-livestock integration.** Advisor: Dr. Eduardo da Costa Severiano. Co-advisor: Dr^a. Kátia Aparecida de Pinho Costa.

Animal trampling during grazing may lead to compaction of soils, mainly in the superficial layer. When at critical levels it causes the physical degradation of the soil, resulting in the loss of the sustainability of agricultural production. Thus, it is essential to quantify the impact of animal trampling on the soil structure, analyzing the compaction caused and thus assessing the structural soil quality. The objective of this work was to evaluate the occurrence of soil compaction promoted by animal trampling in the system of agriculture-livestock integration in a Red Latosol. The experiment was carried out in the area of agriculture-livestock integration of the Technological Center of the Agroindustrial Cooperative of Rural Producers of Southwest Goiano, located in the municipality of Rio Verde, Goiás, from May to September 2016, totaling four cycles of animal grazing. The experimental area is composed of 1.97 hectares and was divided into eight equal size pickets. For the experimental evaluation, pickets 1, 3, 5 and 7 were selected as replicates. Soil sampling occurred before the livestock phase and after four grazing cycles, nine points were collected in each picket at a depth of 0 to 0.05 m, totaling 180 samples. The soil physical attributes and the compressive behavior were evaluated from the determination of the preconsolidation pressure and critical pressure. Under the study conditions, the soil compressibility evaluation allowed the understanding of the impacts of animal trampling in the processes of additional and critical soil compaction. Grazing during the off-season is not responsible for the dissemination of soil structural degradation in agriculture-livestock integration systems.

KEY WORDS: Animal trampling, uniaxial compression test, preconsolidation pressure, soil structural quality.

INTRODUÇÃO GERAL

A adoção de práticas de manejo inadequadas tem causado a diminuição da produtividade e a degradação do solo, nos sistemas de produção agropecuário brasileiro. Atualmente, o Brasil possui cerca de 300 milhões de hectares destinados para o desenvolvimento das atividades de agricultura e pecuária. Em áreas destinadas para a produção pecuária, em cerca de 82% a produção não é satisfatória, com taxa média de lotação animal por hectare abaixo de 1,0 UA, o que demonstra um processo de degradação da forragem e resulta em baixa rentabilidade e sustentabilidade da atividade (Aidar & Kluthcouski, 2003; Sano et al., 2008; Balbino et al., 2011).

A adoção de práticas conservacionistas de produção tem como estratégia a produção sustentável. O sistema de integração agricultura-pecuária (IAP) consiste na implantação de diferentes sistemas produtivos, na mesma área de produção. Assim, as áreas agrícolas e pecuárias podem ser inseridas dentro de uma mesma área com a geração de produtos como grãos, leite, carne, entre outros. Esse sistema favorece ganho na oferta dos produtos visto que há sinergismo quando manejado corretamente (Alvarenga et al., 2007; Macedo, 2009; Anghinoni et al., 2013), além de melhorias nas condições físicas, químicas e biológicas do solo (Macedo, 2009; Vilela et al., 2012; Souza et al., 2014).

A IAP pode promover recuperação ou reforma de pastagens, melhorar as propriedades edafológicas e gerar ganhos na safra de verão e na estação seca, através da produção de grãos e de pastagens de qualidade para alimentação do gado, tendo como vantagem a otimização dos recursos disponíveis e diversificação das atividades da

propriedade rural (Balbino et al., 2011; Loss et al., 2011; Martha Júnior et al., 2011; Vilela et al., 2012).

Com as incertezas do mercado e a variação do clima durante safrinha, período compreendido entre os meses de janeiro a março, onde se faz o plantio de culturas como milho, sorgo, milheto, aveia, nabo forrageiro, girassol e adubos verdes, a adoção da IAP durante esse período, vem se tornando opção para os agricultores do Cerrado brasileiro. O plantio da forragem ocorre logo após a colheita da safra de verão e o pastejo animal acontece durante a estação seca. O planejamento no plantio das forrageiras deve ser realizado para que tenha qualidade durante todo o período de pastejo dos animais, geralmente ficando entre os meses de abril a outubro. As principais forrageiras utilizadas nesse sistema são: *Brachiaria Ruziziensis*, Xaraés e Tanzânia (Pacheco et al., 2008; Petter et al., 2011; Flávio Neto et al., 2015).

Contudo, apesar da crescente adoção desse tipo de sistema, ainda há dúvidas sobre possíveis impactos ligados a degradação física do solo, em que o pisoteio animal pode levar a compactação do solo (Flores et al., 2007).

1.1 Compactação do solo no sistema de integração agricultura-pecuária

Com a introdução de animais em sistemas de produção agrícola, surgiu a preocupação com a compactação do solo através do pisoteio durante o pastejo. A compactação é um processo físico, definido como a diminuição do volume do solo ocasionada por forças aplicadas em sua estrutura, tendo como consequência um rearranjo mais denso das partículas do solo, por consequência da redução da porosidade (Dias Júnior & Pierce, 1996).

Segundo Dias Filho (2011), a degradação de pastagens tem sido apontada como uma das causas efetivas da eficiência produtiva no setor pecuário, além de resultar na perda da qualidade física do solo, ocasionando a formação de camadas compactadas. Para Silva et al. (2015), os danos ocasionados pelas pressões impostas ao solo pelos animais dependem da intensidade da força aplicada e a frequência de pastejo. Forças e frequências moderadas a leves, que respeitem a capacidade de suporte de carga do solo, podem levar a pouco ou a nenhum prejuízo à estrutura do solo.

No sistema de IAP, a compactação da camada superficial do solo está relacionada ao contato solo-animal. Isso é resultado do descarregamento do peso em

pontos específicos do seu casco, diferentemente das máquinas agrícolas, que são dimensionadas para ter maior superfície de contato entre o rodado da máquina e o solo (Torres et al., 2012).

A compactação do solo está relacionada ao conteúdo de água, classe textural do solo, taxa de lotação animal, oferta de forragem e da espécie de forrageira utilizada no sistema (Marchão et al., 2007; Cavichioli et al., 2012; Souza et al., 2014). O principal fator que potencializa a compactação é o conteúdo de água no solo no momento do pastejo, uma vez que forças aplicadas ao solo em condições inadequadas provocam deformações plásticas, ou seja, deformações não recuperáveis, podendo formar zonas de compactação ao longo do seu perfil e reduzir a qualidade física do solo (Giarola et al., 2007; Mazurana et al., 2011; Moreira et al., 2012).

Em um trabalho desenvolvido em Latossolo Vermelho, Marchão et al. (2009) constataram que sistemas de IAP, o impacto na qualidade físico-hídrica do solo, ocorre principalmente na camada superficial do solo, em comparação à condição original de solo do cerrado nativo. Miguel et al. (2009) e Debiasi & Franchini (2012) chegaram à mesma conclusão em torno das camadas de impedimento mecânico decorrentes do componente animal em sistemas integrados de produção.

De acordo com Reichert et al. (2003), a macro e microporosidade do solo, juntamente com sua densidade, indicam o estado em que a estrutura do solo se encontra, e também podem ser utilizadas como indicadores do seu estado de compactação. Os macroporos são responsáveis pela aeração, movimentação de água e de ar e também do crescimento radicular das plantas, enquanto os microporos pela retenção de água. Através da análise destes atributos, é demonstrado o estado de conservação do solo, e são refletidas as características de infiltração, retenção de água, desenvolvimento de raízes, trocas gasosas e grau de compactação (Stolf et al., 2011).

A densidade do solo é dependente do seu espaço poroso. Tratam-se de grandezas inversamente proporcionais, ou seja, o aumento da densidade reduz a porosidade do solo, sobretudo a macroporosidade (Lima et al., 2006). Marchão et al. (2007) verificaram redução da porosidade do solo e aumento da densidade em comparação entre o Cerrado nativo e áreas sob o sistema de integração agricultura-pecuária.

Na atualidade, a suscetibilidade do solo à compactação é objeto de estudos sobre a degradação da estrutura do solo (Silva et al., 2002; Suzuki et al., 2007; Suzuki et al., 2008; Collares et al., 2011; Pádua et al., 2015), associadas à intensidade de pressões

aplicadas, frequência de cargas aplicadas e tempo de permanência da carga sobre o solo (Suzuki et al., 2008; Debiasi & Francini, 2012).

Os efeitos da compactação são vistos no crescimento radicular das plantas, promovendo redução da produtividade no sistema agropecuário e, ainda, na capacidade de retenção, infiltração de água no solo (Camargo & Alleoni, 1997; LanzaNova et al., 2007; Silva et al., 2009; Macedo, et al., 2010; Moreira et al., 2012) e escoamento superficial, podendo ocasionar erosão do solo (Camargo & Alleoni, 1997; Imhoff et al., 2001; Beutler et al., 2005; Suzuki et al., 2007; Julião et al., 2011).

Para Severiano et al. (2010a), nem sempre o incremento na densidade do solo pode ocasionar danos ao desenvolvimento das plantas, principalmente nos Latossolos do Cerrado brasileiro com estrutura granular, esse fato ocorre quando a compactação do solo transforma partes dos macroporos em microporos, tendo como resultado um aumento na retenção de água no solo. Entretanto, se a compactação for gerada por pressão crítica, definido pelos autores como critério de redução da porosidade do solo aos valores limitantes às suas funções edáficas, ocorrerá a degradação da estrutura do solo, limitando o desenvolvimento das plantas.

A determinação da pressão crítica e sua compreensão são de fundamental importância para o manejo do solo, por ser parâmetro que leva em consideração as condições relacionadas alterações estruturais do solo e ao desenvolvimento satisfatório das plantas, e, admitindo que na sua modelagem, haja a possibilidade de ocorrência de compactação adicional do solo, sem ocasionar, entretanto, prejuízos significativos às suas funções edáficas (Severiano et al., 2010a).

Para avaliação da compactação, a determinação da densidade do solo é amplamente utilizada, assim como a porosidade do solo (Silva et al., 2009; Stolf et al., 2011; Lima et al., 2013). Por outro lado, a avaliação da compactação pode ser obtida através da capacidade de suporte de carga do solo, determinada através de ensaios de compressibilidade, quantifica os níveis de pressões que podem ser aplicadas ao solo para evitar que a compactação adicional ocorra (Dias Júnior & Pierce, 1996; Dias Júnior et al., 1999; Dias Júnior et al., 2005; Severiano et al., 2010a).

1.2 Ensaio de compressibilidade do solo como indicador da sua compactação

O conhecimento da dinâmica dos processos que envolvem a capacidade do solo em resistir às forças compressivas é de fundamental importância para a sustentabilidade de sistemas de produção agropecuária. A compressibilidade do solo é definida como a facilidade com que o solo não saturado decresce seu volume quando submetido a pressões externas e depende de fatores intrínsecos e extrínsecos ao solo (Dias Júnior, 2000; Severiano et al., 2010a). Os fatores intrínsecos estão relacionados à história de tensão, conteúdo de água no solo, textura, estrutura, densidade do solo e teor de carbono no solo (Dias Júnior, 1994, Dias Júnior et al., 1999). Os fatores extrínsecos são caracterizados pelo tipo, intensidade e frequência da força aplicada ao solo seja por máquinas agrícolas ou ainda, pelo pisoteio animal.

Nos estudos recentes sobre a compactação do solo, o ensaio de compressibilidade tem sido bastante utilizado, estudando o comportamento da estrutura do solo durante o processo compressivo (Dias Júnior & Pierce, 1995; Severiano et al., 2010a, b). A compressibilidade é obtida em laboratório por meio do ensaio de compressão uniaxial, quantificando as reduções do volume do solo, com a aplicação de pressões sucessivas e contínuas predeterminadas [25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa, segundo Dias Júnior (1994)] a amostra de solo indeformada e parcialmente saturada.

Através do ensaio de compressibilidade, obtém-se a curva de compressão do solo, que é representada graficamente, pela pressão aplicada em escala logarítmica no eixo das abscissas e algum parâmetro relacionado com o arranjo de partículas no eixo das ordenadas, como por exemplo, a densidade do solo. É o que está representado na Figura 1.

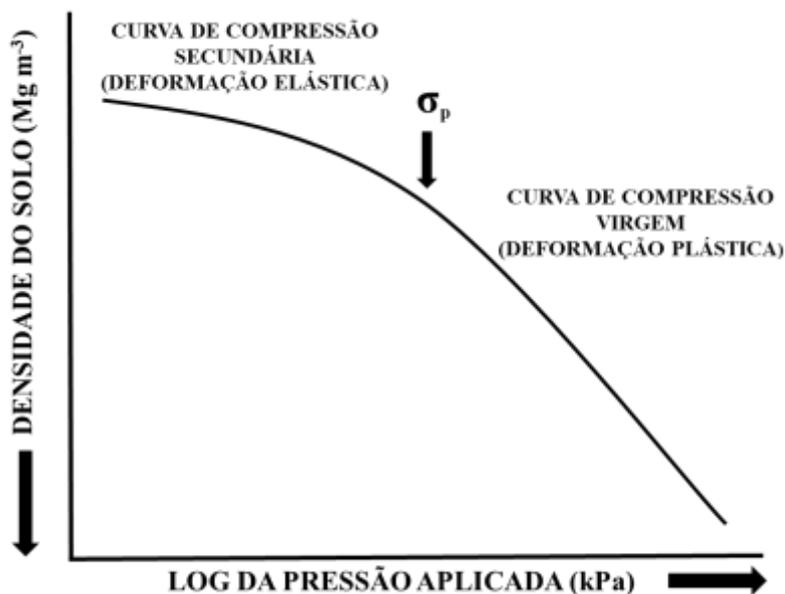


Figura 1. Curva de compressão do solo [densidade do solo em função da pressão aplicada (σ)]. σ_p : pressão de preconsolidação.

A pressão de preconsolidação (σ_p) é um indicador de qualidade estrutural do solo da máxima carga ao qual o solo foi submetido no passado. Também pode ser interpretada como a máxima pressão que pode ser exercida no solo sem que ocorra a compactação adicional (Dias Júnior & Pierce, 1996; Dias Júnior, 2000; Silva et al., 2010; Iori et al., 2012).

O valor de σ_p pode ser obtido a partir da curva de compressão do solo, dividindo-a em duas regiões: 1ª) e ocorrem deformações pequenas, elásticas e recuperáveis, chamada de curva de compressão secundária; 2ª) ocorrendo deformações plásticas e não recuperáveis, chamada de curva de compressão virgem (Dias Júnior, 1994; Severiano et al., 2010a; Souza et al., 2012).

O modelo de capacidade de suporte de carga do solo representa uma função que relaciona a pressão de preconsolidação ao conteúdo de água contido no solo (U) [$\sigma_p = f(U)$] e indica a máxima pressão que um solo pode suportar em diferentes conteúdos de água. A compactação adicional, ou seja, deformação não recuperável ocorre quando a pressão do agente compactante ultrapassa a capacidade de suporte de carga do solo (Dias Júnior & Pierce, 1996; Dias Júnior et al., 1999; Silva et al., 2006, 2011; Souza et al., 2012).

Para avaliar as alterações estruturais dos solos em função do manejo adotado, com base na pressão de preconsolidação, Dias Júnior et al. (2005) dividiram o modelo de capacidade de suporte de carga em três regiões, conforme Figura 2. As regiões são:

a) é a região em que os valores das pressões de preconsolidação determinados após ação do agente compactante forem maiores que o limite superior do intervalo de confiança do modelo ajustado. Nesta região, a compactação adicional já ocorreu (deformações plásticas), e, portanto, danos à estrutura do solo;

b) é a região em que os valores das pressões de preconsolidação determinados após ação do agente compactante estão dentro do intervalo de confiança do modelo ajustado. Isso significa que ocorreram deformações elásticas e recuperáveis, não ocorrendo portanto, compactação adicional do solo. Porém, há tendência de que ela ocorra se as próximas operações mecanizadas excederem a capacidade de suporte de carga do solo;

c) é a região em que os valores das pressões de preconsolidação determinados após ação do agente compactante são menores que o limite inferior do intervalo de confiança do modelo ajustado. Essa região demonstra que não ocorreu compactação do solo.

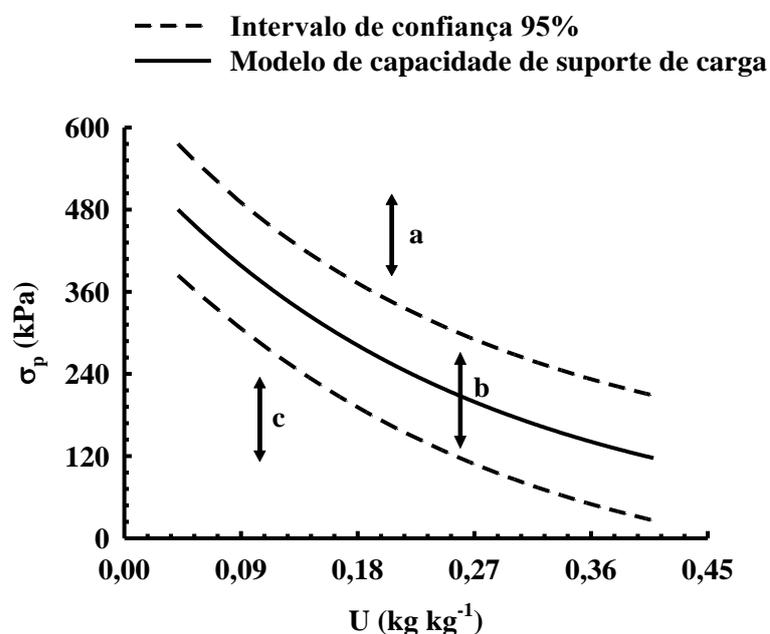


Figura 2. Modelo da capacidade de suporte de carga com os critérios usados para analisar o efeito do tráfego de máquinas na pressão de preconsolidação, de acordo com Dias Júnior et al. (2005).

Esse modelo vem sendo utilizado para estimar a capacidade de suporte de carga em áreas de exploração da agropecuária, quantificando os níveis de pressões que podem ser aplicados aos solos, sem que haja compactação adicional e auxiliando a tomadas de decisões sobre o momento em que as operações de manejo na agricultura e pecuária podem ser executadas, visando a manutenção da qualidade estrutural do solo (Dias Júnior, 2000; Severiano et al., 2010a; Silva et al., 2010; Iori et al., 2012).

Para melhor compreensão das alterações estruturais dos solos em função do manejo adotado, com base na pressão de preconsolidação Severiano et al. (2010b) ao analisarem o potencial de descompactação do capim-tifton 85 em um Argissolo, dividiram as regiões do modelo proposto por Dias Júnior et al. (2005) em região “a” correspondente às pressões de preconsolidação determinadas após o cultivo da forrageira maiores que o limite superior do intervalo de confiança, uma região, portanto, em que a compactação adicional já ocorreu; a região “b” corresponde às pressões de preconsolidação entre os limites do intervalo de confiança, indicando que não houve compactação nem descompactação do solo, ou seja, sem alterações estruturais; e a região “c” corresponde às pressões de preconsolidação menores que o limite inferior do intervalo de confiança, também determinadas após o cultivo, caracterizando a descompactação do solo promovida pela ação radicular do Tifton 85.

Imhoff et al. (2001) propuseram o conceito da pressão crítica no modelo de capacidade de suporte de carga do solo, correlacionando o crescimento satisfatório das plantas, com a máxima pressão a ser aplicada no solo sem promover a degradação da qualidade estrutural. Essa pressão é obtida em função do conteúdo de água no solo e da densidade de solo (D_s) sob condições restritivas para o crescimento radicular, por meio de equação matemática [$\sigma_p = f(U; D_s)$].

Severiano et al. (2010a) propuseram considerar a pressão crítica, em contrapartida aos valores restritivos referentes ao parâmetro denominado intervalo hídrico ótimo, proposto pelos autores supracitados, baseada na redução da macroporosidade crítica às funções edáficas do solo relacionadas à obtenção de produções satisfatórias e à infiltração de água e recarga de água subterrânea, sendo esta considerada no valor de D_s correspondente a 10% de macroporos.

Para tanto, esses autores adaptaram os critérios de avaliação propostos por Dias Júnior et al. (2005), sugerindo que os valores de pressão de preconsolidação determinados após o tráfego que se localizarem na região “a” sejam considerados como limitante às funções edáficas do solo; na região “b” sejam considerados sem

compactação crítica, embora haja possibilidade de ocorrência de compactação adicional, e a região “c” como sendo sem compactação.

1.3 Referências bibliográficas

Aidar H, Kluthcouski J (2003) Evolução das atividades lavoureira e pecuária nos Cerrados. In: Kluthcouski J, Stone LF, Aidar H (eds.). Integração Lavoura-Pecuária. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p 25-58.

Alvarenga CR, Gontijo Neto MM, Ramalho JH, Garcia JC, Viana MCM, Castro AADN (2007) Sistema de integração agricultura-pecuária: o modelo implantado na Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 9p.

Anghinoni I, Carvalho PCF, Costa SEVGA (2013) Tópicos em Ciência do Solo. In: Araújo AP, Avelar BJR (eds). Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. Viçosa: UFV, 8 ed. p.221-278.

Balbino LC, Barcellos AO, Stone LF (2011) Marco referencial: integração lavoura pecuária-floresta. Brasília: Embrapa, 132p.

Beutler AN, Centurion JF, Roque CG, Ferraz MV (2005) Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. Revista Brasileira de Ciência do Solo 29:843-849.

Camargo OA, Alleoni S (1997) Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas. Piracicaba: Degaspari, 132p.

Cavichioli FA, Furlani CEA, Toledo A, Silva RP, Ribeiro CS (2012) Resistência mecânica do solo à penetração na fileira e entrefileira de cana-de-açúcar em função da mecanização. Engenharia na Agricultura 20:46-51.

Collares GL, Reinert DJ, Reichert JM, Kaiser DR (2011) Compactação superficial de Latossolos sob integração agricultura: pecuária de leite no noroeste do Rio Grande do Sul. Ciência Rural 41:246-250.

Debiasi H, Franchini JC (2012) Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária com braquiária e soja. Ciência Rural 42:1180-1186.

Dias Filho MB (2011) Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. Belém: Embrapa, 4 ed. 204p.

Dias Júnior MS (2000) Compactação do solo. In: Novais RF, Alvarez VVH, Schaefer CEGR (eds). Tópicos em ciência do solo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p55-94.

Dias Júnior MS (1994) Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic. PhD Thesis, East Lansing: Michigan State University.

Dias Júnior MS, Pierce FJ (1995) A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. *Soil Technology* 8:139-151.

Dias Júnior MS, Ferreira MM, Fonseca S, Silva AR, Ferreira DF (1999) Avaliação quantitativa da sustentabilidade estrutural dos solos em sistemas florestais na região de Aracruz-ES. *Revista Árvore* 23:371-380.

Dias Júnior MS, Leite FP, Lasmar Júnior E, Araújo Junior CF (2005) Traffic effects on the soil preconsolidation pressure due to eucalyptus harvest operations. *Scientia Agricola* 62(3):248-255.

Dias Júnior MS, Pierce FJ (1996) O processo de compactação do solo e sua modelagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 20:175-182.

Flávio Neto J, Severiano EC, Costa KAP, Guimarães Junnyor W, Gonçalves WG, Andrade R (2015) Biological soil loosening by grasses from genus *Brachiaria* in croplivestock Integration. *Acta Scientiarum Agronomy* 37(3): 375-383.

Flores JPC, Anghinoni I, Cassol LC, Carvalho PCF, Leite JGD, Fraga TI (2007) Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 31:771-780.

Giarola NFB, Tormena CA, Dutra AC (2007) Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. *Revista Brasileira Ciência do Solo* 31:863-873.

Imhoff S, Silva AP, Dias Júnior MS, Tormena CA (2001) Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. *Revista Brasileira Ciência do Solo* 25:11-18.

Iori P, Silva RB, Dias Júnior MS, Lima JM (2012) Pressão de preconsolidação como ferramenta de análise da sustentabilidade estrutural de classes de solos com diferentes usos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36:1448-1456.

Julião LGF, Lima JM, Dias Júnior MS, Oliveira GC, Ribeiro BTR, Magalhães CAS (2011) Atributos mecânicos e erosão por salpicamento em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo sob efeito de vinhaça. *Ciência e Agrotecnologia* 35:19-27.

Lanzanova ME, Nicoloso R S, Lovato T, Eltz FLF, Amado TJC, Reinert DJ (2007) Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 31:1131-1140.

Lima CLR, Reichert JM, Reinert DJ, Suzuki LEAS, Dalbianco L (2007) Densidade crítica ao crescimento de plantas considerando água disponível e resistência à penetração de um Argissolo Vermelho distrófico arênico. *Ciência Rural* 37:1166-1169.

Lima RP, León MJ, Silva AR (2013) Compactação do solo de diferentes classes texturais em áreas de produção de cana-de-açúcar. *Revista Ceres* 60:16-20.

Loss A, Pereira MG, Giácomo SG, Perin A, Anjos LHC (2011) Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração agricultura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46:1269-1276.

Macedo MCM (2009) Integração agricultura-pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia* 28:133-146.

Macedo VRM, Silva AJN, Cabeda MSV (2010) Influência de tensões compressivas na pressão de pré-compactação e no índice de compressão do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14:856-862.

Marchão RL, Balbino LC, Silva EM, Santos Junior JDG, Sá MAC, Vilela L, Becquer T (2007) Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42:873-882.

Marchão RL, Vilela L, Paludo AL (2009) Guimarães Júnior, R. Impacto do pisoteio animal na compactação do solo sob integração lavoura-pecuária no oeste baiano. Planaltina: Comunicado técnico.

Martha Júnior GB, Alves E, Contini E (2011) Dimensão econômica de sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46:1117-1126.

Mazurana M, Levien R, Müller J, Conte O (2011) Sistemas de preparo de solo: Alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35:1197-1206.

Miguel FRM, Vieira SR, Grego CR (2009) Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 44:1513-1519.

Moreira WH, Betioli Junior E, Petean LP, Tormena CA, Alves SJ, Costa MAT, Franco HHS (2012) Atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração lavoura-pecuária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36:389-400.

Pacheco LP, Pires FR, Monteiro FP, Procópio SO, Assis RL, Carmo ML, Petter FA (2008) Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43:815-823.

Pádua EJ, Guerra AR, Zinn YL (2015) Modelagem da Densidade do Solo em Profundidade sob Vegetação Nativa em Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 39:725-736.

Petter FA, Pacheco LP, Procópio SO, Cargnelutti Filho A, Volf MR (2011) Seletividade de herbicidas à cultura do milho e ao capim-braquiária cultivadas no sistema de integração lavoura-pecuária. *Semina Ciências Agrárias* 32:855-864.

Reichert JM, Reinert DJ, Braidá JA (2003) Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência e Ambiente* 27:29-48.

Sano EE, Rosa R, Brito JLL, Ferreira LG. Mapeamento de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado (2008). Planaltina: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento.

Severiano EC, Oliveira GC, Dias Júnior MS, Castro MB, Oliveira LFC, Costa KAP (2010a) Compactação de solos cultivados com cana-de-açúcar: II -quantificação das restrições às funções edáficas do solo em decorrência da compactação prejudicial. Engenharia Agrícola 30:414-423.

Severiano EC, Oliveira GC, Dias Júnior MS, Costa KAP, Castro MB, Magalhaes EM (2010b) Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 14:39-45.

Silva AP, Tormena CA, Dias Júnior M, Imhoff S, Klein VA (2010) Indicadores da qualidade física do solo. In: Lier QJV. Física do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.241-281.

Silva AR, Dias Júnior MS, Guimarães PTG, Araújo Júnior CF (2006) Modelagem da capacidade de suporte de carga e quantificação dos efeitos das operações mecanizadas em um Latossolo Amarelo cultivado com cafeeiro. Revista Brasileira de Ciência do Solo 30:207-216.

Silva JLS, Santos DT, Vieira PC, Pillon CN (2015) Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF). Boletim Técnico Informativo Plano ABC 16p.

Silva RB, Iori P, Lanças KP, Dias Júnior MS (2010) Modelagem e determinação do estado crítico de consolidação a partir da relação massa e volume em solos canavieiros. Revista de Ciências Agrárias 33:376-389.

Silva VR, Reichert JM, Reinert DJ, Bortoluzzi EC (2009) Soil water dynamics related to the degree of compaction of two Brazilian Oxisols under no-tillage. Revista Brasileira de Ciência do Solo 33:1097-1104.

Silva VR, Reinert DJ, Reichert JM, Soares JM (2002) Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I. Estado inicial de compactação. Revista Brasileira de Ciência do Solo 26:1-8.

Souza GS, Souza ZM, Silva RB, Araújo FS, Barbosa RS (2012) Compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar em manejo com e sem controle de tráfego. Pesquisa Agropecuária Brasileira 47:603-612.

Souza GS, Souza ZM, Silva RB, Barbosa RS, Araújo FS (2014) Effects of traffic control on the soil physical quality and the cultivation of sugarcane. Revista Brasileira de Ciência do Solo 38:135-146.

Stolf R, Thurler AM, Bacchi OOS, Reichardt K (2011) Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 35:447-459.

Suzuki LEAS, Reichert JM, Reinert DJ, Lima CLR (2007) Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42:1159-1167.

Suzuki LEAS, Reinert DJ, Reichert JM, Lima CLR (2008) Estimativa da suscetibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do solo* 32:963- 973.

Torres JLR, Rodrigues Junior DJ, Sene GA, Jaime DG, Vieira DMS (2012) Resistência à penetração em área de pastagem de capim Tifton, influenciada pelo pisoteio e irrigação. *Bioscience Journal* 28:232-239.

Vilela L, Martha Júnior GB, Marchão RL (2012) Integração lavoura-pecuária-floresta: alternativa para intensificação do uso da terra. *Revista Universidade Federal de Goiás* 13:92-98.

OBJETIVOS

2.1 Objetivos geral

Avaliar o efeito do pisoteio animal no sistema de integração agricultura-pecuária, no período de entressafra, sob a compactação de um Latossolo Vermelho localizado no município de Rio Verde – GO.

2.2 Objetivos específico

Modelar a capacidade de suporte de carga e a capacidade de suporte de carga a níveis críticos para o Latossolo em estudo;

Identificar o período e as condições do solo na ocorrência da compactação.

CAPÍTULO I

MODELAGEM E QUANTIFICAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO PROMOVIDA PELO PISOTEIO ANIMAL EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA

3.1 INTRODUÇÃO

Em cerca de 82% das áreas destinadas para a prática da pecuária no Brasil, a produção não é satisfatória, sendo que a média da taxa de lotação animal por hectare nessas áreas está abaixo de 1,0 UA, explicitando o processo de degradação da atividade, tendo como resultado a baixa rentabilidade para o produtor rural. Os sistemas que integram a agricultura e a pecuária vem sendo adotados pelos produtores rurais brasileiros com o objetivo de aumentar os lucros nas propriedades rurais, pois há sinergismo entre essas duas atividades (Aidar et al., 2003; Sano et al., 2008; Balbino et al., 2011).

O sistema de integração agricultura-pecuária (IAP) tem como finalidade diversificar e otimizar o uso do solo, em que se utilizam culturas anuais para produção de grãos associados a pastagens para produção de carne e leite (Alvarenga et al., 2010; Bortolini et al., 2013).

Com as incertezas do mercado e a variação do clima durante a safrinha, período compreendido entre os meses de janeiro a março, em que se faz o plantio de culturas como milho, sorgo, milheto, aveia, nabo forrageiro, girassol e adubos verdes, a adoção da IAP durante esse período, vem se tornando opção para os agricultores do Cerrado brasileiro. O plantio da forragem ocorre logo após a colheita da safra de verão e o pastejo animal acontece durante a entressafra, ou seja, no período em que ocorrem baixas precipitações pluviométricas (Pacheco et al., 2008; Petter et al., 2011).

Quando bem manejado, esse sistema pode aumentar a produtividade de forragem, aumentando assim a taxa de lotação animal e, ainda, proporcionar benefícios ao solo, como melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas, quebra de ciclos bióticos de pragas e doenças, resultando em melhores condições para implantação de culturas na safra de verão (Balbino et al., 2011; Vilela et al., 2011; Anghinoni et al., 2012).

Em estudos realizados em áreas que utilizam o sistema de IAP, Conte et al. (2011) concluíram que a introdução de animais no processo produtivo pode gerar impactos nos atributos físicos do solo, tendo como principal resultado a compactação das camadas superficiais do solo. A compactação é um processo físico, definido como a diminuição do volume do solo, ocasionada pelo descarregamento de forças aplicadas na estrutura do solo, tendo como consequência um rearranjo das partículas do solo e resultando na redução da porosidade, principalmente dos macroporos (Dias Júnior & Pierce, 1996).

A compactação do solo no sistema de IAP pode estar relacionada ao manejo inadequado dos animais, com taxas de lotação animal acima do ideal que acarretam na diminuição de forragem dando início a degradação do sistema (Anghinoni et al., 2012), ou também relacionada a etapa agrícola, em que o intenso tráfego de máquinas exerce pressões ao solo em condições inadequadas de umidade e acima da sua capacidade de suporte de carga (Conte et al., 2011; Severiano et al., 2011).

A superlotação e o não conhecimento da capacidade do solo em resistir as forças externas podem ocasionar danos a sua estrutura (Torres et al., 2012), dificultando o desenvolvimento radicular das plantas inseridas no sistema pelo menor acesso à água e nutrientes disponíveis, diminuição da aeração do solo, ocasionando menor produção do sistema agropecuário (Lanzanova et al., 2007). Isto porque condições inadequadas em termos de conteúdo de água no solo por ocasião de operações mecanizadas ou pastejo animal acarretam na deformação plástica e irreversível do solo (Conte et al., 2011; Torres et al., 2012).

Para Severiano et al. (2010a), nem sempre o incremento na densidade do solo pode ocasionar danos ao desenvolvimento das plantas, principalmente nos Latossolos do Cerrado brasileiro com estrutura granular, cuja porosidade é excessiva estando o solo sob condições naturais. Esse fato ocorre quando a compactação do solo transforma partes dos macroporos em microporos, tendo como resultado positivo, o aumento na retenção de água no solo. Entretanto, se a compactação for gerada por uma pressão

crítica capaz de comprometer o sistema poroso do solo, ocorrerá a degradação da estrutura do solo e limitará o desenvolvimento das plantas.

A modelagem da compactação e quantificação de seus impactos é, portanto, fundamental na sustentabilidade dos sistemas agropecuários (Doran & Parkin, 1994). Entre os atributos do solo, a macroporosidade e a densidade do solo são as que têm maior relação com compactação do solo (Gomes et al., 2006; Andreolla, 2010). Modelos matemáticos têm sido utilizados para estimar a capacidade de suporte de carga dos solos, com objetivo de quantificar os níveis máximos de pressão que podem ser aplicadas ao solo para evitar a compactação (Dias Júnior et al., 2005; Severiano et al., 2010b; Iori et al., 2012).

Neste contexto, o presente trabalho objetivou desenvolver um modelo de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho distrófico no município de Rio Verde no Estado de Goiás, visando quantificar o efeito do pisoteio animal no sistema IAP no processo de compactação do solo no período de entressafra. Tais resultados tornam-se importante para estabelecer manejo sustentável em sistemas que integram a agricultura e a pecuária.

3.2. Material e métodos

O estudo foi realizado no Centro Tecnológico da Cooperativa Agroindustrial dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano (CTC – COMIGO), localizada no município de Rio Verde, Goiás (latitude 17° 45' S; longitude 51° 02' W, e altitude de 840 m), e no Laboratório de Física do Solo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano), Campus Rio Verde.

A área experimental é composta de 1,97 hectares sendo dividida em oito piquetes de mesmo tamanho, conforme a Figura 02. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (Embrapa, 2013), de textura franco-argilo-arenosa (Tabela 1). A variação na distribuição das partículas por tamanho está relacionada à composição do material de origem do solo.

Tabela 1. Atributos físicos do Latossolo Vermelho Distrófico localizado na região de Rio Verde, GO.

Horizonte ⁽¹⁾	Argila	Areia	Silte	Densidade de Partículas	Densidade do solo crítica ⁽²⁾
	----- (g kg ⁻¹) -----			(kg m ⁻³)	(kg m ⁻³)
Ap	303	590	107	2,61	1,57
Bw	399	487	114	2,67	1,47

⁽¹⁾: Ap: Horizonte A com perturbação de origem antrópica, na camada de 0 a 5 cm; Bw: horizonte B latossólico, na camada de 80 a 100 cm; ⁽²⁾: Definida pela função de pedotransferência $D_{sc} = 1,8426 - 0,00089 \text{Argila}$ proposta por Severiano et al. (2011). A distribuição das partículas do solo por tamanho foi determinada via agitação rápida conforme a metodologia descrita pela Embrapa, 2011.

O clima foi classificado de acordo com Köppen (1931), como Megatérmico ou Tropical Úmido (Aw), do subtipo Tropical de Savana, com inverno seco e verão chuvoso. A média pluviométrica anual fica entre 1500 a 2000 mm, com a máxima precipitação em janeiro e menores em junho, julho e agosto. Na Figura 1, encontram-se os valores médios de temperatura e o acumulado pluviométrico na área experimental durante o ciclo produtivo. Os dados foram obtidos na estação meteorológica do CTC, instalada próxima a área experimental.

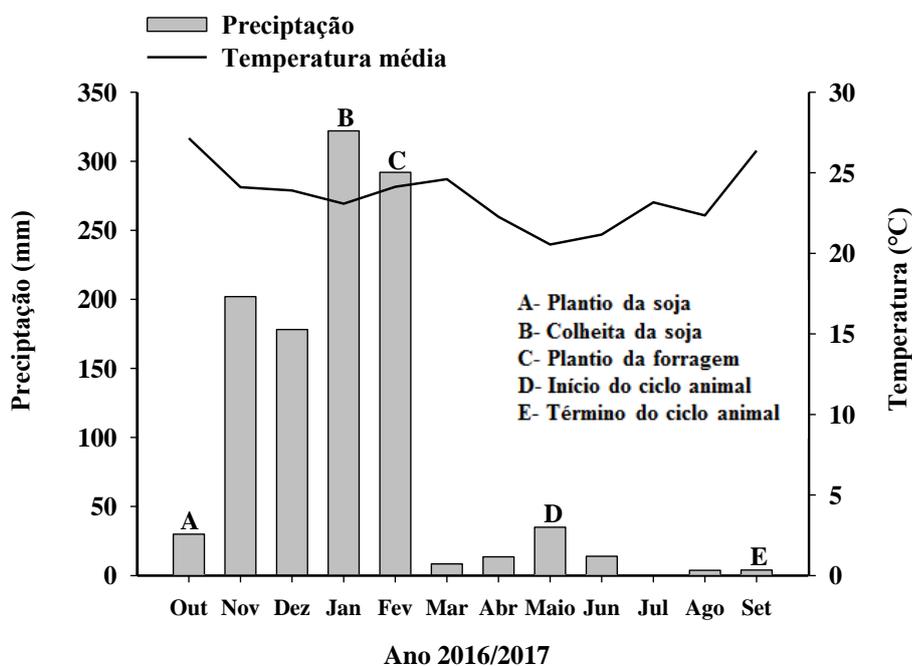


Figura 1. Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura (°C) mensal no município de Rio Verde, Goiás avaliados durante a condução do experimento.

A fase agricultura se deu por ocasião da safra de verão 2015/2016, compreendida pelo cultivo da soja. Após a colheita de grãos, ocorrida em janeiro de 2016, foi semeado mecanicamente capim da espécie *Brachiaria ruziziensis* com espaçamento de 0,50 m entrelinhas. Para tanto, foram utilizados 10 kg de semente de capim misturados a 150 kg de fertilizante superfosfato simples por hectare.

O ciclo de produção animal iniciou no dia 17 de maio de 2016, de acordo com a oferta de forragem, utilizando para tanto, bezerros não castrados com idade aproximada de oito meses e oriundos de cruzamento industrial (1/2 Canchim x Nelore) e peso médio de 220 kg. Inicialmente, utilizou-se em sistema de lotação intermitente com quatro dias ocupação no piquete e vinte e oito de descanso. A lotação no primeiro ciclo de pastejo foi de 2,25 unidades animal por hectare (UA ha⁻¹), que foi se ajustando ao longo do ano conforme a produtividade do capim. A fase pecuária se encerrou no dia 16 de setembro de 2016.

Para avaliação experimental, foram selecionados como repetições, os piquetes 1, 3, 5 e 7 (Figura 2). A amostragem de solo ocorreu antecedendo a fase pecuária e durante os quatro ciclos de pastejo, foram feitas amostragens de solo em nove pontos de cada piquete, na profundidade de 0 a 5 cm, totalizando 180 amostras (9 amostras x 4 parcelas 5 coletas).

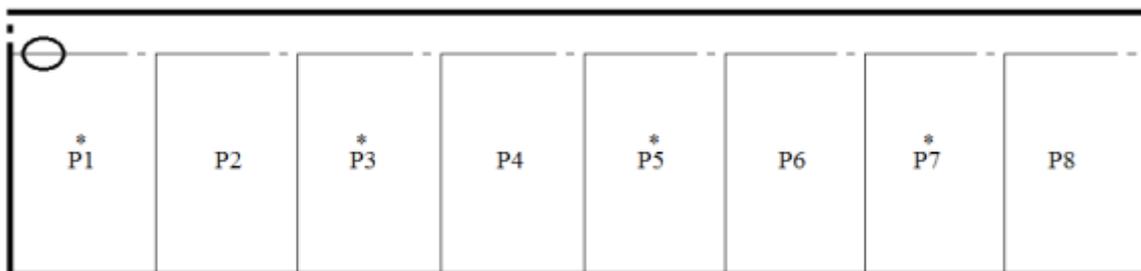


Figura 2. Croqui da área experimental, representando a quantidade e a disposição dos piquetes (P1 – P8). As coletas ocorreram nos piquetes marcados com asterisco (*).

As amostras indeformadas foram obtidas com amostrador tipo Uhland, com anéis volumétricos de 0,064m de diâmetro e por 0,025m de altura. A sequência de coleta das amostras indeformadas dentro de cada piquete obedeceu ao esquema apresentado na Figura 3. Após a coleta em campo, as amostras foram acondicionadas em filme plástico para manutenção de sua estrutura, até serem analisadas em laboratório.

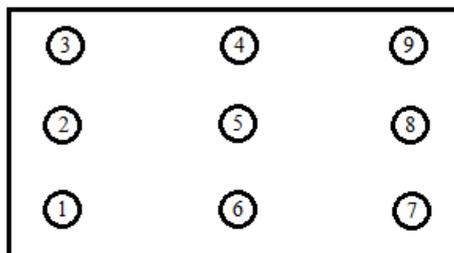


Figura 3. Esquema para obtenção das amostras indeformadas dentro de cada piquete.

O período de coleta das amostras de solo se estendeu de maio a setembro de 2016 (Tabela 2). Com o objetivo de verificar o conteúdo de água no solo no momento de cada pastejo nos piquetes, foram coletadas amostras deformadas e secadas em estufa a 105°C, por 48 horas, para determinação da umidade do solo, conforme instruções definidas por Embrapa (2011).

Tabela 2. Sequência de ciclos de pastejo e piquetes com as datas das amostragens de solo.

Ciclos	Piquete	Dia de Coleta	Taxa de lotação (UA ha ⁻¹)	Conteúdo de água no momento do pastejo (kg Kg ⁻¹)
Antes do pastejo	1	17/05/2016	--	0,09
	3	23/05/2016	--	0,07
	5	31/05/2016	--	0,09
1° Ciclo	7	08/06/2016	--	0,16
	1	23/05/2016	2,25	0,08
	3	31/05/2016	2,25	0,08
	5	08/06/2016	2,93	0,20
2° Ciclo	7	15/06/2016	2,93	0,09
	1	24/06/2016	2,93	0,08
	3	01/07/2016	3,14	0,06
	5	11/07/2016	3,14	0,03
3° Ciclo	7	18/07/2016	3,14	0,03
	1	22/07/2016	3,14	0,03
	3	01/08/2016	1,65	0,03
	5	08/08/2016	1,65	0,02
4° Ciclo	7	15/08/2016	1,65	0,02
	1	22/08/2016	1,65	0,02
	3	01/09/2016	1,77	0,07
	5	08/09/2016	1,77	0,09
	7	16/09/2016	1,77	0,02

As amostras foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial sendo, inicialmente saturadas por capilaridade e equilibradas à tensão de 6 kPa para

determinação da microporosidade (Embrapa, 2011). Na sequência, foram ajustadas aos conteúdos de água variando de 0,05 a 0,39 kg kg⁻¹, por meio de secagem em condições naturais (Kondo & Dias Júnior, 1999).

Em seguida, submeteram-nas ao ensaio de compressão uniaxial utilizando um consolidômetro modelo Terraload S-450 (Durham Geo Enterprises, USA), de acordo com a metodologia proposta por Bowles (1986) e, modificada por Dias Júnior (1994). As amostras foram mantidas dentro da célula de compressão do equipamento e submetidas às pressões sucessivas e crescentes de 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa, sem efetuar o descarregamento das pressões previamente aplicadas. Cada pressão foi aplicada até a obtenção de 90% da deformação máxima (Taylor, 1948).

Cessado o ensaio, as amostras foram submetidas à secagem em estufa (105 °C por 24 horas) e foram pesadas para determinar a densidade do solo (D_s), de acordo com a metodologia empregada pela Embrapa (2011), utilizando-se a Equação 1:

$$D_s = \frac{M_s}{V_t} \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que:

D_s = densidade do solo (kg dm⁻³)

M_s = massa da amostra de solo seca a 105°C (kg);

V_t = volume total (dm³);

A pressões de preconsolidação (σ_p) foram obtidas na curva de compressão do solo de acordo com Dias Júnior & Pierce (1995).

A densidade de partículas (D_p) foi determinada utilizando o método do Picnômetro descrito por Blake & Hartge (1986). A porosidade total (PT) foi determinada a partir da relação entre a densidade do solo e densidade de partículas, método descrito pela Embrapa (2011), utilizando-se a Equação 2.

A macroporosidade foi calculada através da diferença entre a porosidade total e a microporosidade (Embrapa, 2011).

$$PT = [1 - (D_s/D_p)] \quad \text{Eq. (2)}$$

Os resultados obtidos para os parâmetros físicos (densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade) foram submetidos à análise de variância e comparados pelo teste Tukey que considera diferença mínima significativa a 5% de probabilidade, quando constatada a significância.

Os valores de pressão de preconsolidação das amostras obtidas antes do pastejo foram ajustados em função do conteúdo de água no solo para determinação do modelo de capacidade de suporte de carga do solo conforme Dias Júnior (1994) utilizando software Sigma Plot 11.0 (Jandel Scientific, P.O. Box 7005, San Rafael, CA, USA), enquanto aquelas obtidas após o pastejo foram utilizadas para verificar os impactos estruturais do solo pelo pisoteio dos animais.

Para tanto, determinou-se o intervalo de confiança, a 95%, dos modelos de capacidade de suporte de carga e as três regiões propostas por Severiano et al. (2010b) foram utilizados no monitoramento da compactação dos solos em decorrência do pisoteio animal. A região “a” correspondente às pressões de preconsolidação determinadas após o pastejo maiores que o limite superior do intervalo de confiança, uma região, portanto, em que a compactação adicional já ocorreu; a região “b” corresponde às pressões de preconsolidação entre os limites do IC, indicando que não houve compactação nem descompactação do solo, ou seja, sem alterações estruturais; e a região “c” corresponde às pressões de preconsolidação menores que o limite inferior do IC, também determinadas após o pastejo, e vem caracterizar a descompactação do solo promovida pela ação radicular da pastagem.

Para avaliar a ocorrência de compactação prejudicial, os valores de pressão de preconsolidação foram ajustados ao modelo não linear proposto por Busscher (1990) em função do conteúdo de água no solo (U) e da D_s conforme proposição de Severiano et al. (2010a), sendo:

$$\sigma_p = 71,70U^{-0,45} D_s^{1,63}; R^2 = 0,76^{**} \quad \text{Eq. (3)}$$

em que,

σ_p : pressão de preconsolidação (kPa),

U: conteúdo de água no solo (kg kg^{-1}),

D_s : densidade do solo'

Para a modelagem da capacidade de suporte de carga na pressão crítica (σ_{cr}), considerou-se como densidade do solo crítica, a função de pedotransferência proposta por Severiano et al. (2011), cujo valor de referência encontra-se na tabela 1. A σ_{cr} foi determinada tendo como parâmetros de modelagem o conteúdo de água no solo ajustado na amostra para o ensaio de compressibilidade. Para tanto, considerou-se neste caso, os critérios propostos por Severiano et al., (2010a), e, as amostras localizadas na região “a” limitam às funções edáficas do solo; na região “b” sem compactação crítica, embora haja possibilidade de ocorrência de compactação adicional, e a região “c” como sendo sem compactação.

3.3 Resultados e discussão

A Figura 4A apresenta o modelo de capacidade de suporte de carga do Latossolo Vermelho em estudo para a profundidade 0-0,05m, contendo as 36 unidades amostrais coletadas antes do pastejo. Destaca-se que à medida que aumenta a umidade, a pressão de preconsolidação decresce exponencialmente. Os valores dos parâmetros estimados de ajuste do modelo de capacidade de suporte de carga, “a” e “b” foram “2,75” e “-1,67” e o coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,88, sendo significativo a 1%.

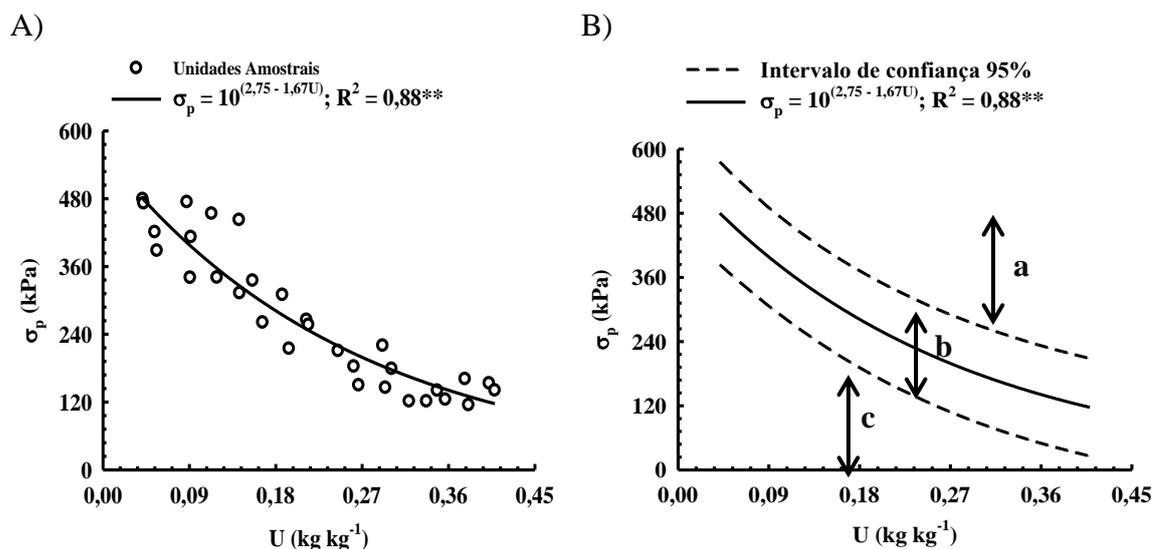


Figura 4. A) Modelo de capacidade de suporte de carga [pressão de preconsolidação (σ_p) em função do conteúdo de água no solo (U)] para o Latossolo Vermelho na

profundidade de 0-0,05 m e B) critérios utilizados para analisar o efeito do pisoteio animal em sistemas de integração agricultura-pecuária “a”: região em que houve compactação adicional do solo, “b”: região em que o solo não sofreu compactação adicional e “c”: região em que houve descompactação do solo.

A Figura 4B representa o modelo de capacidade de suporte de carga com intervalo de confiança de 95% que o divide em três regiões e subsidia a avaliação dos efeitos do pastejo sobre a estrutura do solo durante a fase pecuária do sistema de integração. A figura 5 apresenta a dispersão dos valores das pressões de preconsolidação obtidas após o pastejo em cada piquete em estudo. A classificação dos valores de pressão de preconsolidação, em porcentagem, das amostras coletadas logo após o pastejo, de acordo com cada região do intervalo de confiança, estão apresentados na Tabela 3.

Analisando a Figura 5, em associação à Tabela 3, observa-se que no primeiro ciclo de pastejo (Figura 5A) ocorreu a maior porcentagem de compactação adicional (14,59%) em relação aos demais ciclos de pastejo. Resultado semelhante foi encontrado por Flores et al. (2007) e, embora pequeno, o impacto do pisoteio animal foi mais representativo no primeiro ciclo de pastejo do que em relação aos demais, não havendo incremento na compactação do solo a partir do segundo ciclo de pastejo.

No segundo e terceiro ciclos de pastejo, (Figuras 5B e 5C), ocorreu menor variação da σ_p em relação ao primeiro e ao quarto ciclo de pastejo. Isto se deve à pequena oscilação do conteúdo de água no solo nesse período de pastejo, ocorrido entre junho e agosto (Tabela 2), que se devem aos baixos índices pluviométricos (Figura 1).

Apenas 3% das amostras do segundo e terceiro ciclo de pastejo, ficaram acima do limite superior do intervalo de confiança (Tabela 3), caracterizando compactação adicional do solo. Por outro lado, 97 e 91% das amostras, permaneceram sem alteração na estrutura do solo. Oliveira et al. (2003) e Severiano et al., (2011), em análise do comportamento compressivo do solo, observaram que em baixas umidades, o solo resiste a deformações, sendo desprezível nestas condições, os impactos do manejo sobre a estrutura do solo e, portanto, sustentável.

No quarto ciclo de pastejo (Figura 5D), a compactação adicional atingiu 5% das amostras avaliadas, percentual este considerado muito baixo. Neste ciclo, a precipitação pluviométrica acumulada em agosto (Figura 1) elevou o conteúdo de água no solo sem que houvesse incremento generalizado na compactação do solo pelo pisoteio em solo

úmido. Este resultado demonstra que, quando bem manejado e respeitando a taxa de lotação animal, mesmo com incremento do conteúdo de água solo, ocorre baixo índice de compactação do solo (Flores et al., 2007; Araújo, 2009; Carvalho et al., 2015).

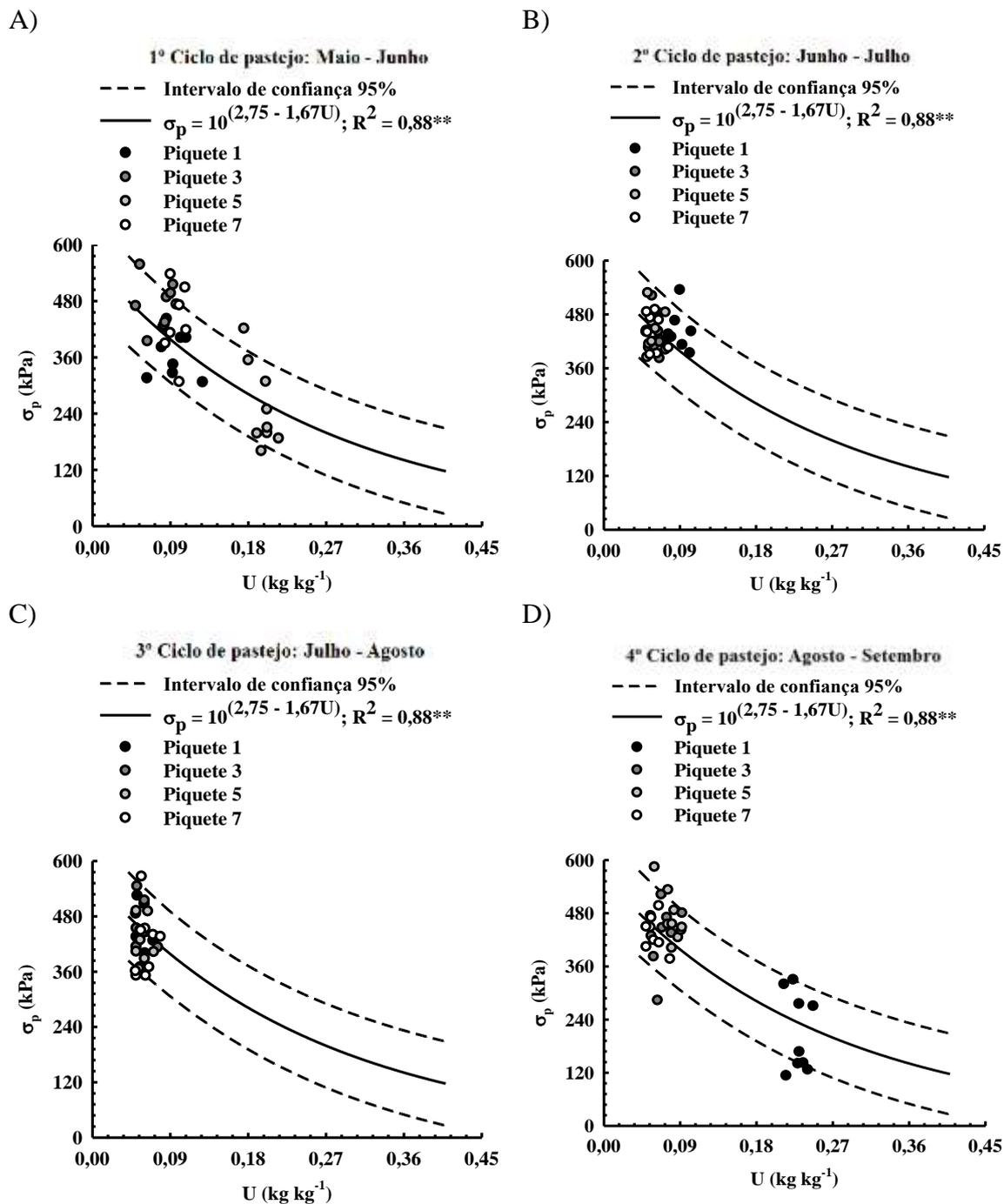


Figura 5. Modelo de capacidade de suporte de carga do solo para compactação adicional [pressão de preconsolidação (σ_p) em função do conteúdo de água no solo (U)] e valores de pressão (σ) obtidos após o pastejo bovino em um Latossolo Vermelho Distrófico típico de Rio Verde, Goiás, sob sistema de integração agricultura-pecuária.

Em todo ciclo da pecuária, a variação de σ_p entre as repetições no mesmo piquete e ciclo, é observada valores tanto acima quanto abaixo dos limites do intervalo de confiança, demonstrando a possibilidade de ocorrência tanto de compactação adicional quanto de descompactação do solo simultaneamente (Figura 5; Tabela 3). Essa variabilidade pode ser atribuída à variabilidade do pisoteio em decorrência do comportamento animal associadas à locais como a entrada e saída do piquete e de repouso dos animais. Por outro lado, em pontos de menor frequência de pastejo podem ter contribuído para o maior desenvolvimento da forrageira resultando na descompactação biológica do solo (Flávio Neto et al., 2015). Flores et al. (2007) em trabalho com pastejo animal em áreas de agricultura, concluíram que a variação da σ_p em áreas com pastejo está relacionado com a distribuição desuniforme do pisoteio animal na área pastejada e pela frequência do pisoteio animal, corroborando os resultados deste trabalho.

Tabela 3. Classificação das amostras, em porcentagem, de acordo com cada região apresentada na Figura 5, após o pastejo animal nos diferentes ciclos, em um Latossolo Vermelho na região de Rio Verde, GO.

Porcentagem de amostras de solo com a σ na região	Compactação (%)				Total
	1° Ciclo	2° Ciclo	3° Ciclo	4° Ciclo	
a – Com compactação adicional	12	3	3	5	6
b – Sem alteração estrutural	85	97	91	89	90
c – Com descompactação do solo	3	0	6	6	4
Total de amostras	36	36	36	36	144

Em toda fase pecuária do sistema integrado, 6% do total de amostras analisadas, localizaram-se na região “a” (Tabela 3), demonstrando a pequena ocorrência de compactação adicional do solo durante o ciclo de pastejo. Pesquisas têm revelado que o incremento da compactação pode limitar ou não a qualidade física do solo (Severiano et al., 2011). Nesse contexto, o estudo da pressão crítica faz-se necessário para compreender se a compactação encontrada é limitante às funções edáficas do solo.

A Figura 6A apresenta o modelo de capacidade de suporte de carga para compactação adicional (σ_p) e para a compactação crítica (σ_{cr}) do Latossolo em estudo. A pressão crítica superestima a capacidade de suporte de carga dos solos, através da incorporação da densidade do solo a níveis críticos (redução da macroporosidade

menores a $10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) na modelagem do comportamento compressivo do solo (Severiano et al., 2010a).

A Figura 6B representa o modelo de capacidade de suporte de carga para pressão crítica com o intervalo de confiança de 95%. Nesta modelagem, é assumida a possibilidade de ocorrência de compactação do solo, sem, contudo que haja restrições relacionadas à produção vegetal e recarga de água subterrânea (Severiano et al., 2011).

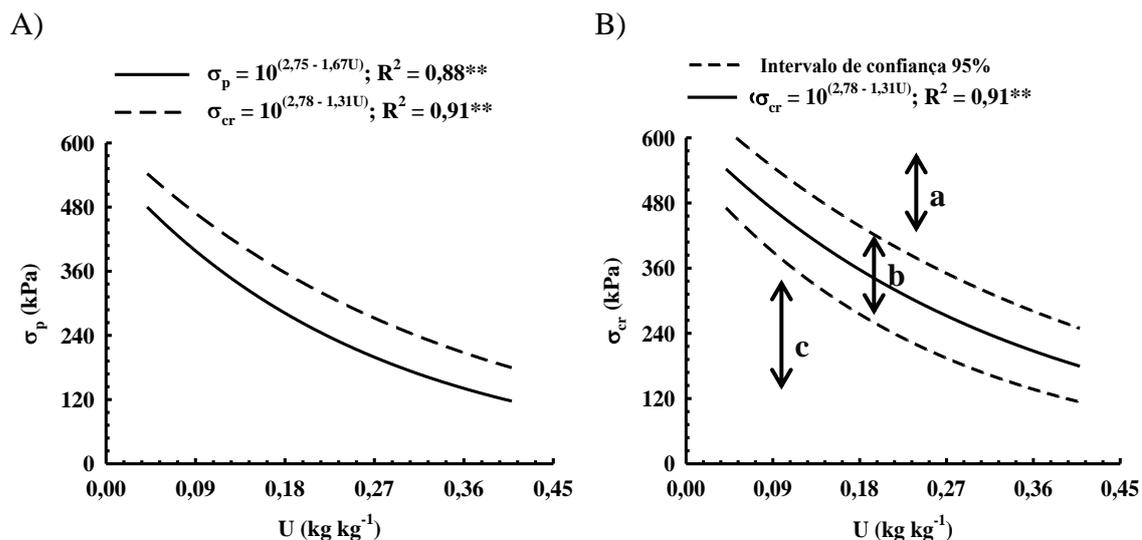


Figura 6. A) Modelos de capacidade de suporte de carga [pressão (σ) em função do conteúdo de água no solo (U)] para compactação adicional (σ_p) e crítica (σ_{cr}) do Latossolo Vermelho Distrófico típico de Rio Verde, Goiás; e B) critérios utilizados para analisar o efeito do pisoteio animal em sistemas de integração agricultura-pecuária “a”: Região limitante às funções edáficas do solo, “b”: sem compactação crítica e “c”: sem compactação.

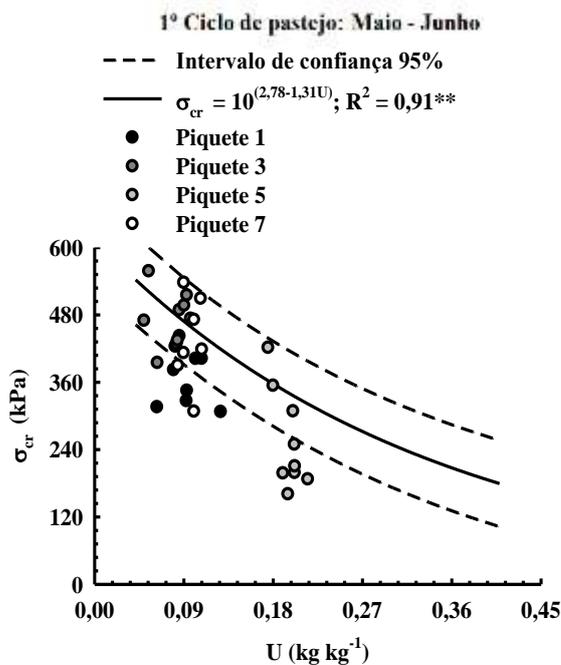
Neste sentido, adotou-se como critérios de interpretação das três regiões do modelo de capacidade de suporte de carga do solo para pressão crítica aqueles definidos por Severiano et al. (2010a), descritos anteriormente. Novamente, avaliou-se a dispersão dos valores de pressão obtidas no momento da saída dos animais em cada piquete e ciclos de pastejo (Figura 7), cuja classificação das amostras em cada região para este critério de compactação do solo está na tabela 4.

Observa-se que, embora ocorra compactação adicional pelo pisoteio animal em pequenas proporções no sistema de integração agricultura-pecuária com pastejo no período de entressafra (Figura 5), a mesma não implica em degradação estrutural do

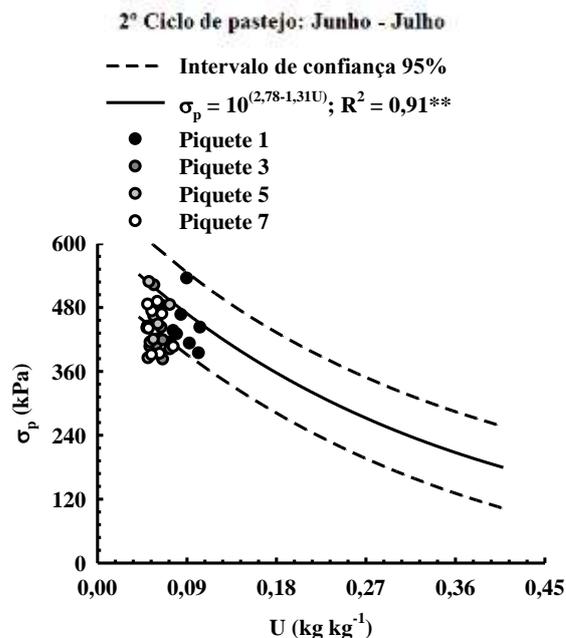
solo (Figura 7), por não reduzir a macroporosidade a valores críticos que levam ao comprometimento das funções edáficas do solo, corroborando com Silva et al. (2006); Costa et al. (2009), Flores et al. (2007), Lunardi et al. (2008), Spera et al. (2009), Araújo (2009), Bonetti et al. (2015) e Carvalho et al. (2015).

Quando bem manejado, os impactos do pastejo animal no sistema de IAP não atingem níveis críticos ao crescimento das raízes das plantas (Flores et al., 2007; Conte et al., 2011), pois a pressão aplicada pelas patas dos animais fica dentro dos limites da deformação elástica do solo. Outro fator que auxilia ao não incremento na compactação do solo é o baixo conteúdo de água neste período, resultando na maior capacidade de suporte de carga do solo (Dias Júnior & Pierce, 1996; Flores et al., 2007; Severiano et al., 2011).

A)



B)



C)

D)

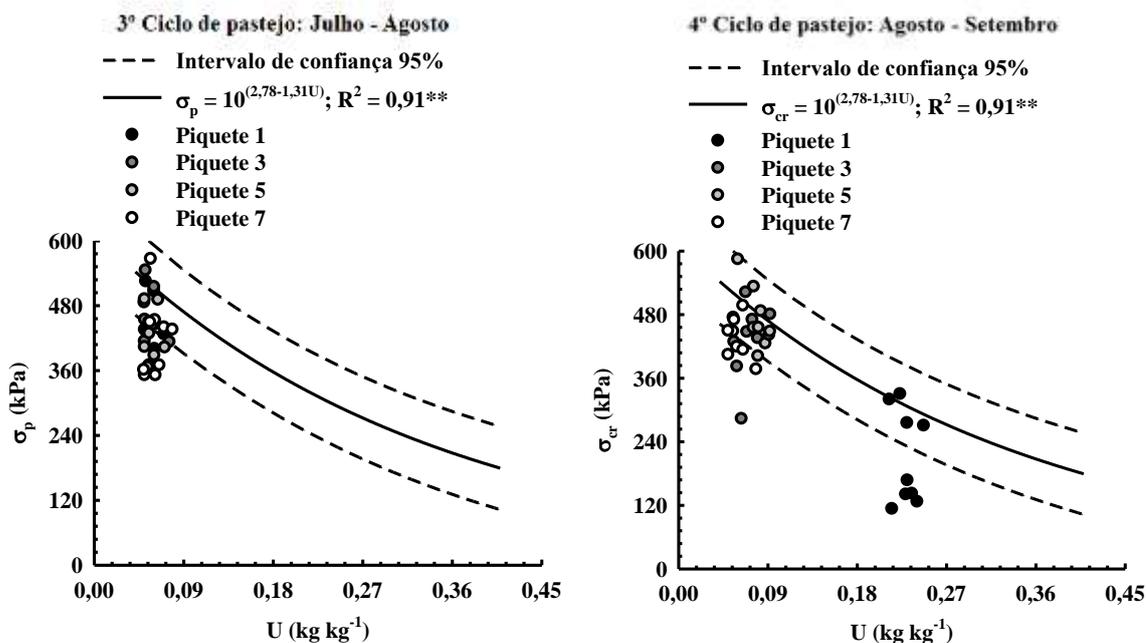


Figura 7. Modelo de capacidade de suporte de carga do solo para compactação prejudicial [pressão crítica (σ_{cr}) em função do conteúdo de água no solo (U)] e valores de pressão (σ) obtidos após o pastejo bovino em um Latossolo Vermelho Distrófico típico de Rio Verde, Goiás, sob sistema de integração agricultura-pecuária.

Pelo critério de compactação prejudicial, observa-se ausência de valores de pressão na região limitante às funções edáficas do solo (Tabela 4). Isto se deve a fase pecuária neste sistema de integração, localizar-se no período de entressafra agrícola, período que é caracterizado pelas baixas precipitações (Figura 1) e, conseqüentemente baixos conteúdos de água no solo, elevando a capacidade de suporte de carga do solo e favorecendo o pastejo animal (Figura 4).

Tabela 4. Classificação das amostras, em porcentagem, de acordo com cada região apresentada na Figura 7, após o pastejo animal nos diferentes ciclos, em um Latossolo Vermelho na região de Rio Verde, GO.

Porcentagem de amostras de solo com a σ_{cr} na região	Compactação (%)				Total
	1º Ciclo	2º Ciclo	3º Ciclo	4º Ciclo	
a – Limitante às funções edáficas	0	0	0	0	0
b – Sem compactação crítica	60	60	54	67	60
c – Sem compactação	40	40	46	33	40
Total de amostras	36	36	36	36	144

Na fase agrícola, período onde se concentra a estação chuvosa, ocorre intenso tráfego de maquinário para as operações nas lavouras, coincidindo com o momento de maior suscetibilidade dos solos a compactação (Severiano et al., 2013). Dessa forma, a definição de estratégias de manejo associadas à capacidade de suporte de carga do solo pode se tornar a base da agricultura tropical sustentável, auxiliando nas tomadas de decisões em torno do uso do solo.

Na Tabela 5, está apresentado o resumo do quadro da análise de variância para os parâmetros: densidade do solo (Ds), porosidade total do solo (PT), macroporosidade (MaP) e microporosidade (MiP). Observa-se que não houve diferença para os parâmetros avaliados durante todo ciclo de pastejo animal. O coeficiente de variação (CV) dos parâmetros físicos analisados foram, respectivamente, 6,27, 6,02, 21,30, 6,15%. Nota-se, que o CV para o parâmetro MaP teve valor mais elevado em comparação aos demais parâmetros. Para Souza et al. (2004), a elevada variabilidade da MaP é explicada pela heterogeneidade estrutural do solo, assim como, pela sua composição, atividade microbiológica e por fissuras ocasionadas pela contração do solo, atribuída pelo processo de umedecimento e secagem.

A média geral da Ds foi de 1,28 kg dm⁻³ e o efeito da pressão aplicada pelos animais durante o pastejo não alterou esse atributo. Resultados encontrados por Conte et al. (2011) divergem com do presente trabalho, em que foi constatado incremento da Ds após os ciclos de pastejo em um Latossolo Vermelho, tendo evolução de 6% na densidade do solo, mas não sendo capaz de atingir níveis para causar a degradação do solo.

Tabela 5. Quadrados médios da análise de variância para caracterização e os quatro ciclos de pastejo para densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), macroporosidade (MaP) e microporosidade (MiP), no sistema de integração agricultura-pecuária de um Latossolo Vermelho localizado na Região de Rio Verde, GO.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médios			
		Ds (Kg dm ⁻³)	Pt	MaP (m ³ m ⁻³)	MiP
Tratamentos	4	0,006136 ^{NS}	0,000880 ^{NS}	0,001066 ^{NS}	0,000719 ^{NS}
Resíduo	175	0,006417	0,000952	0,001482	0,000416
Média Geral	--	1,28	0,51	0,18	0,33
CV (%)	--	6,27	6,02	21,30	6,15

Não significativo (NS) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores médios da macroporosidade não se alteraram entre a caracterização inicial do solo e os ciclos de pastejo. A média geral foi de $0,18 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$, valores da MaP do solo acima de $0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$, considerada crítica para a boa aeração do solo e promovendo condições não propícias para desenvolvimento adequado das plantas (Giarola et al., 2007).

Bonetti et al. (2015), em estudo de um Latossolo Vermelho, não encontraram diferenças na macroporosidade entre áreas pastejadas e não pastejadas, concluindo que o pastejo não reduziu os macroporos do solo na camada superficial do solo. A macroporosidade relaciona-se diretamente com a difusão de gases no solo para as raízes das plantas, principalmente de oxigênio (Tormena, 2002), também exercendo influência na velocidade de infiltração de água no solo, e a concentração de macroporos é diretamente proporcional a velocidade de percolação de água no perfil do solo, contribuindo no abastecimento de aquíferos (Severiano et al., 2010).

Na microporosidade, também não foram observadas diferenças na camada estudada (Tabelas 5). Lanzasova et al. (2007) ao avaliarem um Argissolo Vermelho-Amarelo em áreas com e sem pastejo não encontraram diferenças significativas para MiP. Carvalho et al. (2015), em estudo de um Neossolo Quartzarênico sob manejo de integração agricultura-pecuária, também não encontraram diferenças significativas para MiP na camada de 0 – 0,05 m.

Quando em lotação animal adequada e pastejo animal com baixos conteúdo de água no solo, vários trabalhos vêm demonstrando o efeito neutro do pastejo nos atributos físicos do solo. O efeito animal, portanto, não é o agente causal de degradação estrutural do solo no sistema de IAP durante o período de entressafra (Costa et al., 2009; Flores et al., 2007; Lunardi et al., 2008; Spera et al., 2009; Araújo, 2009; Bonetti et al., 2015; Carvalho et al., 2015).

Em análise entre a Tabela 5 e as Figuras 5 e 7 demonstra que a análise compressibilidade do solo, por meio da determinação da pressão de preconsolidação e pressão crítica é um indicador refinado para avaliar as alterações estruturais do solo (Dias Júnior & Pierce, 1996; Severiano et al., 2010a), pois permite ter a compreensão do comportamento compressivo do solo, permitindo sua modelagem e quantificando a compactação.

3.4 Conclusões

O estudo da compressibilidade do solo, na avaliação dos impactos do pisoteio animal em sistemas de integração agricultura-pecuária, permite a compreensão dos processos de compactação adicional e crítica do solo, mostrando ser uma análise mais criteriosa se comparada com os métodos tradicionais de avaliação da compactação;

O pisoteio animal decorrente do pastejo de entressafra na região do cerrado brasileiro não é responsável pela disseminação da degradação estrutural do solo em sistemas de integração agricultura-pecuária.

3.5 Referências bibliográficas

Aidar H, Kluthcouski J (2003) Evolução das atividades lavoureira e pecuária nos Cerrados. In: Kluthcouski J, Stone LF, Aidar H (eds.). *Integração Lavoura-Pecuária*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p 25-58.

Alvarenga RC, Porfírio-Da-Silva V, Gontijo Neto MM, Viana MCM, Vilela L (2010) Sistema integração lavoura-pecuária-floresta: condicionamento do solo e intensificação da produção de agriculturas. *Informe Agropecuário* 31:59-67.

Andreolla VRM (2010) *Integração agricultura-pecuária: atributos físicos do solo e produtividade das culturas do feijão e milho*. Tese Doutorado, Universidade Federal do Paraná.

Anghinoni I, Moraes A, Carvalho PCF, Souza ED, Conte O, Lang CR (2012) Benefícios da integração agricultura-pecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio direto. In: Fonseca AF, Caires, EF, Barth G (eds). *Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto*. Ponta Grossa: AEACG/Inpag, p 1-31.

Araújo FS (2009) *Qualidade física e biológica de um Latossolo Amarelo sob sistema de integração agricultura-pecuária no cerrado piauiense*. Dissertação Mestrado, Universidade Federal do Piauí.

Balbino LC, Barcellos AO, Stone LF (2011) *Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta*. Brasília: Embrapa, 130p.

Blake GR, Hartge KH (1986) Particle density. In: Klute A. *Methods of soil analysis*. Madison: ASA/SSSA, 2 ed. p377-382.

Bonetti JA, Paulinom HB, Souza ED, Carneiro MAC, Silva GN (2015) Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 45:104-112.

Bortolini D, Braida JA, Cassol LC, Migliorini F, Silva MR, Ferrazza JM (2013) Altura de manejo de papuã e propriedades de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. *Revista Ceres* 60:535-543.

Bowles JE (1986) *Engineering properties of soils and their measurements*. Auckland: McGraw-Hill, 3 ed. 218p.

Busscher WJ (1990) Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 33:519-523.

Carvalho RP, Daniel O, Davide AC, Souza FR (2015) Atributos físicos e químicos de um neossolo quartzarênico sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Caatinga* 28(1):148-59.

Conte O, Flores JPC, Cassol JC, Anghinoni I, Carvalho PCF, Levien R, Wesp CL (2011) Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração agricultura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46:1301-1309.

Costa A, Albuquerque JA, Mafra AL, Franciani RS (2009) Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração lavoura-pecuária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 33:235-244.

Dias Júnior MS (1994) *Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic*. PhD Thesis, East Lansing: Michigan State University.

Dias Júnior MS, Leite FP, Lasmar Junior E, Araujo Junior CF (2005) Traffic effects on the soil preconsolidation pressure due to eucalyptus harvest operations. *Scientia Agricola* 62:248-255.

Dias Júnior MS, Pierce FJ (1995) A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. *Soil Technology* 8:139-151.

Dias Júnior MS, Pierce FJ (1996) O processo de compactação do solo e sua modelagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 20:175-182.

Doran JW, Parkin TB (1994) Defining and assessing soil quality. In: Doran JW. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Minneapolis, MN: SSA/ASA; Special Publication, 35:3-21.

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2013) *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, 3 ed. 353p.

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2011) *Manual de métodos de análises de solo*. Rio de Janeiro, 2 ed. 230p.

Flávio Neto J, Severiano EC, Costa KAP, Guimarães Junnyor WS, Gonçalves WG, Andrade R (2015) Biological soil loosening by grasses from genus *Brachiaria* in croplivestock integration. *Acta Scientiarum Agronomy* 37:375-383.

Flores JPC, Anghinoni I, Cassol LC, Carvalho PCF, Leite JGD, Fraga TI (2007) Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 31:771-780.

Giarola NFB, Tormena CA, Dutra AC (2007) Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 31:863-873.

Gomes AS, Silva CAS, Parfitt JMA, Pauletto EA, Pinto LFS (2006) Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 40p.

Iori P, Silva RB, Dias Júnior MS, Lima JM (2012) Pressão de preconsolidação como ferramenta de análise da sustentabilidade estrutural de classes de solos com diferentes usos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36:1448-1456.

Kondo MK, Dias Júnior MS (1999) Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23:211-218.

Köppen WP (1931) *Grundriss der klimakunde*. Berlin: Walter de Gruyter, 388p.

Lanzanova ME, Nicoloso R S, Lovato T, Eltz FLF, Amado TJC, Reinert DJ (2007) Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 31:1131-1140.

Lunardi R, Carvalho PCF, Trein CR, Costa JA, Cauduro GF, Barbosa CMP, Aguinaga AAQ (2008) Rendimento de soja em sistema de integração lavoura pecuária: efeito de métodos e intensidades de pastejo. *Ciência Rural* 38:795-801.

Oliveira GC, Dias Júnior MS, Resck DVS, Curi N (2003) Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 38:291-299.

Pacheco LP, Pires FR, Monteiro FP, Procópio SO, Assis RL, Carmo ML, Petter FA (2008) Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43:815-823.

Petter FA, Pacheco LP, Procópio SO, Cargnelutti Filho A, Volf MR (2011) Seletividade de herbicidas à cultura do milho e ao capim-braquiária cultivadas no sistema de integração lavoura-pecuária. *Semina Ciências Agrárias* 32:855-864.

Sano EE, Rosa R, Brito JLL, Ferreira LG. Mapeamento de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado (2008). Planaltina: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento.

Severiano EC, Oliveira GC, Dias Júnior MS, Curi N, Costa KAP, Carducci CE (2013) Preconsolidation pressure, soil water retention characteristics, and texture of Latosols in the Brazilian Cerrado. *Soil Research* 51:193-202.

Severiano EC, Oliveira GC, Dias Júnior MS, Castro MB, Oliveira LFC, Costa KAP (2010a) Compactação de solos cultivados com cana-de-açúcar: II - quantificação das restrições às funções edáficas do solo em decorrência da compactação prejudicial. *Engenharia Agrícola* 30:414-423.

Severiano EC, Oliveira GC, Dias Júnior MS, Costa KAP, Castro MB, Magalhaes EM (2010b) Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14:39-45.

Severiano EC, Oliveira GC, Dias Júnior MS, Costa KAP, Silva FG, Ferreira Filho SM (2011) Structural changes in Latosols of the cerrado region: I – relationships between soil physical properties and least limiting water range. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35:773-782.

Silva AR, Dias Junior MS, Guimarães PTG, Araújo Júnior CF (2006) Modelagem da capacidade de suporte de carga e quantificação dos efeitos das operações mecanizadas em um latossolo amarelo cultivado com cafeeiros. *Revista Brasileira Ciência Solo* 30:207-216.

Souza ZM, Marques Júnior J, Pereira GT, Bento MJC (2004) Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 8:51-58.

Spera ST, Santos HP, Fontaneli RS, Tomm GO (2009) Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 33:129-136.

Taylor DW (1948) *Fundamentals of soil mechanics*. New York: John Wiley, 700p.

Tormena CA, Barbosa MC, Costa ACS, Gonçalves ACA (2002) Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Scientia Agricola* 59:795-801.

Torres JLR, Rodrigues Junior DJ, Sene GA, Jaime DG, Vieira DMS (2012) Resistência à penetração em área de pastagem de capim Tifton, influenciada pelo pisoteio e irrigação. *Bioscience Journal* 28:232-239.

Vilela L, Martha Júnior GB, Macedo MCM, Marchão RL, Guimarães Júnior, Pulrolnik K, Maciel GA (2011) Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46:1127-1138.