

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

**INTER-RELAÇÕES SOLO, PLANTA E ANIMAL EM
SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-
PECUÁRIA**

Autor: André Alves Barbosa
Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Kátia Aparecida de Pinho Costa

Rio Verde – GO
Novembro - 2020

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

**INTER-RELAÇÕES SOLO, PLANTA E ANIMAL EM
SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-
PECUÁRIA**

Autor: André Alves Barbosa
Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Kátia Aparecida de Pinho Costa

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 em Produção Vegetal.

Rio Verde – GO
Novembro - 2020

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

Barbosa, André Alves

B238i

Inter-relações solo, planta e animal em sistemas de integração agricultura-pecuária / André Alves Barbosa; orientador Dr. Eduardo da Costa Severiano; co-orientadora Dr^a. Kátia Aparecida de Pinho Costa. -- Rio Verde, 2020. 70 p.

Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias-Agronomia) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2020.

1. Sistemas integrados de produção agropecuária. 2. Intervalo Hídrico Ótimo. 3. *Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás. 4. *Panicum maximum* cv. BRS Tamani. I. da Costa Severiano, Eduardo, orient. II. Aparecida de Pinho Costa, Kátia, co-orient. III. Título.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 n°2376

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: **André Alves Barbosa**

Matrícula: **2018202310140016**

Título do Trabalho: **Inter-relações solo, planta e animal em sistemas de integração agricultura-pecuária.**

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: __/__/__

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde-GO, 11 de março de 2021.



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 71/2020 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

INTER-RELAÇÕES SOLO, PLANTA E ANIMAL EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA

Autor: André Alves Barbosa
Orientador: Dr. Eduardo da Costa Severiano

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

APROVADA em, 27 de novembro de 2020.

Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano (Presidente)
Prof^a. Dra. Kátia Aparecida de Pinho Costa (Membro interno)
Prof. Dr. Piero Iori (Membro externo)
Prof. Dr. Milson Evaldo Serafim (Membro externo)

Documento assinado eletronicamente por:

- Katia Aparecida de Pinho Costa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 04/12/2020 10:43:56.
- Milson Evaldo Serafim, Milson Evaldo Serafim - Professor Avaliador de Banca - Campus Caceres - Prof. Olegario Baldo (10784782000312), em 03/12/2020 09:00:46.
- Piero Iori, Piero Iori - Professor Avaliador de Banca - Universidade Federal de Jatai (35840659000130), em 30/11/2020 07:56:04.
- Eduardo da Costa Severiano, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 27/11/2020 18:59:01.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 26/11/2020. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 215153
Código de Autenticação: b82b1d3fab



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, proteção, oportunidade de conhecer pessoas incríveis nessa jornada e por conceder força durante os momentos de dificuldades.

Ao Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, pela oportunidade de realização do mestrado no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Agrárias – Agronomia, em especial ao Prof. Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares e Vanilda, pela receptividade e eficiência na condução dos trabalhos no PPGCA-Agro.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa, que foi essencial para minha manutenção durante o curso de mestrado.

Ao Instituto de Ciência e Tecnologia Comigo pela disponibilização da área para condução do experimento e auxílio técnico e financeiro em todas as etapas da pesquisa, especialmente ao Dr. Dieimisson Paulo Ameida, Dr. Diego Tolentino de Lima e Dr. Ubirajara Oliveira Bilego.

Ao meu orientador Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano, pela dedicação e orientação durante o curso, ao qual tenho grande admiração.

A minha coorientadora Prof.^a Dr.^a Kátia Aparecida de Pinho Costa, pelas contribuições, recomendações de literatura e presteza no desenvolvimento e finalização da pesquisa.

A minha família, especialmente aos meus pais João e Selma, que sempre estiveram ao meu lado apoiando em todos os momentos, contribuindo financeiramente e emocionalmente em todas as fases da minha vida.

Aos Docentes do Programa de Pós-Graduação, por mediarem o conhecimento e compartilharem suas experiências.

Aos meus amigos do Laboratório de Física do Solo, Jordaanny Lima, Marlete F. de Brito, Bruna Silva Moraes, Victória Caroline de Souza Rosa, Wainer Gomes Gonçalves, que contribuíram de alguma maneira na condução do meu estudo, por meio de ensinamentos, auxílio nas atividades de campo, análises laboratoriais, dentre outras atividades e aos colegas, Lucas, Lara, Ludimila, Lorena e Camila.

À grande amiga Juliana Cunha Barros, do mestrado em Biodiversidade e Conservação, companheira de disciplinas e de laboratório que me auxiliou com presteza na condução das minhas atividades.

Aos Parceiros do Laboratório de Forragicultura e Pastagem do IF Goiano - Campus Rio Verde.

Aos dois grandes amigos Edivaldo Soares Silva e Robson dos Santos Carvalho que foram fundamentais para o meu ingresso no programa de mestrado.

Aos amigos que conquistei durante esta caminhada aqui em Rio Verde, em especial ao Rômulo Moreira Silva, Aldo Max Custódio, Demilly Andrômeda, Mariane Porto Muniz, Octávio Barbosa Plaster, Janyne Moura, Kaine Meira, Valdere, Carlos Henrique Lima e Silva, Alexandre Borges e Sadraque Santos. E, a todos os meus amigos da comunidade evangélica.

A Banca Examinadora pela dedicação de tempo e conhecimento, contribuições, sugestões e correções, fundamental para a melhoria do trabalho.

Enfim, a todos que contribuíram de alguma maneira, meu muito obrigado!

BIOGRAFIA DO AUTOR

André Alves Barbosa, natural de São Félix do Araguaia - Mato Grosso, nasceu em 05 de julho de 1994, filho de João Pinto Barbosa e Selma Alves Cordeiro Barbosa. Em abril de 2010 ingressou no curso Técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - IFMT Campus Confresa, concluindo em maio de 2013, ano em que iniciou o curso de Bacharelado em Agronomia na mesma instituição, finalizando em maio de 2018. Durante a graduação participou do Grupo de Estudos em Agroecologia, atuou como monitor do Laboratório de Química (2013) e do Laboratório de Microbiologia (2014) e foi bolsista de Inovação Tecnológica durante o ano de 2015. Em setembro de 2018 ingressou no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Agrárias - Agronomia, nível mestrado no Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, desenvolvendo a pesquisa em parceria com o Instituto de Ciência e Tecnologia Comigo (ITC) da Cooperativa Agroindustrial dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano (COMIGO). Foi bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), concluindo o mestrado em novembro de 2020.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES	ix
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	15
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
3. OBJETIVOS	23
4. CAPÍTULO I	24
4.1 INTRODUÇÃO	25
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	28
4.3 RESULTADOS	37
4.4 DISCUSSÃO	44
4.5 CONCLUSÕES	54
4.6 REFERÊNCIAS	56

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Taxa de lotação e peso médio dos animais durante os ciclos de pastejos em forrageiras do gênero <i>Brachiaria</i> e <i>Panicum</i> sob taxa de lotação variável.....	31
Tabela 2. Comparação entre as regressões lineares das curvas de dessecação dos capins Paiaguás (P) e Tamani (T) ($y = a + bX$), de acordo com Snedecor e Cochran (1989) ⁽¹⁾	39
Tabela 3. Coeficientes de ajuste das equações das curvas de retenção de água no solo e de resistência à penetração em função das inter-relações entre solo, planta e animal em sistemas de integração agricultura-pecuária (IAP) e na sucessão soja-milho, em um Latossolo Vermelho Distrófico típico.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Mapa de caracterização da área experimental.....	28
Figura 2. Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura máxima (Tmax.), média (Tmed.) e mínima (Tmin.) (°C) mensal durante o período de fevereiro de 2018 a fevereiro de 2019, ano de condução do experimento.....	29
Figura 3. Etapas de condução de sistemas de manejo de transição da fase pecuária para a agricultura em sistemas de integração agricultura-pecuária (a) e sucessão soja-milho (b) no sistema tradicional de plantio direto.....	36
Figura 4. Produção de massa seca (A) e desempenho animal em pastejo de capins Paiaguás e Tamani (B) em sistemas de integração agricultura-pecuária em função dos dias de pastejo.....	37
Figura 5. Altura de plantas (A) e produção de biomassa de cobertura (B) dos capins Paiaguás e Tamani, em função do tempo de rebrota após a retiradas dos animais, e do milho em segunda safra.....	38
Figura 6. Relação entre a formação de biomassa e altura de plantas dos capins Paiaguás e Tamani, em função do tempo de rebrota após a retiradas dos animais, e do milho em segunda safra.....	38

- Figura 7.** Massa seca de forrageiras dos capins Paiaguás e Tamani em sistemas de integração agricultura-pecuária e em função do tempo pós-dessecação.....40
- Figura 8.** Atributo físico do solo [Densidade do solo] em decorrência dos sistemas de integração agricultura-pecuária e sistema de sucessão soja-milho cultivados em um Latossolo Vermelho Distrófico.....40
- Figura 9:** Intervalo hídrico ótimo do Latossolo Vermelho Distrófico em sistemas de integração agricultura-pecuária e sistema de sucessão soja-milho.....42
- Figura 10.** Desempenho de semeadura em decorrência dos sistemas de integração agricultura-pecuária e sistema de sucessão soja-milho. (A) população de plantas; (B) Espaçamento normal entre plantas; (C) plantas duplas e; (D) falhas na semeadura sob a biomassa dos capins Paiaguás e Tamani em função do tempo de rebrota após a retiradas dos animais, e do milho em segunda safra. ^{ns}: não significativo.....43
- Figura 11.** Variável produtiva da fase agricultura: produtividade de grãos de soja ($Mg\ ha^{-1}$) sob a biomassa dos capins Paiaguás e Tamani, em função do tempo de rebrota após a retiradas dos animais, e do milho em segunda safra. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$)44

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

IAP	.....	Integração Agricultura-Pecuária
ITC	.....	Instituto de Ciência e Tecnologia Comigo
Ds	.....	Densidade do solo (kg dm^{-3})
kg dm^{-3}	.....	quilogramas por decímetro cúbico
ABIEC	.....	Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes
CONAB	.....	Companhia Nacional de Abastecimento
CNA	.....	Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária do Brasil
SPD	.....	Sistema de Plantio Direto
IHO	.....	Intervalo Hídrico Ótimo (kg dm^{-3})
MPa	.....	Mega pascal
g kg^{-1}	.....	gramas por quilograma
ha	.....	hectare
Mg ha^{-1}	.....	Mega grama por hectare
SPV	.....	Sementes Puras Viáveis
VC	.....	Valor Cultural
DAS	.....	Dias Após a Semeadura
UA ha^{-1}	.....	Unidade Animal por hectare
m	.....	metro
m^2	.....	metro quadrado
m^3	.....	metro cúbico
MS	.....	Massa Seca
$^{\circ}\text{C}$	.....	Graus Celsius
PT	.....	Porosidade Total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)
mm	.....	milímetros

CRP	.....	Curva de Resistência do solo à penetração
mm min ⁻¹	.....	milímetros por minuto
cm	.....	centímetros
Dp	.....	Densidade de partículas (kg dm ⁻³)
kPa	.....	quilo pascal
CRA	.....	Curva de Retenção de Água no Solo
Ψ	.....	Potencial mátrico
θ	.....	conteúdo de água no solo (dm ³ dm ⁻³)
θ _{CC}	.....	conteúdo de água na capacidade de campo (dm ³ dm ⁻³)
θ _{PMP}	.....	conteúdo de água no ponto de murcha permanente (dm ³ dm ⁻³)
θ _{RP}	.....	conteúdo de água na resistência do solo à penetração (dm ³ dm ⁻³)
θ _{PA}	.....	conteúdo de água na porosidade de aeração a 10% (dm ³ dm ⁻³)
θ _{RP}	.....	conteúdo de água na resistência do solo à penetração (dm ³ dm ⁻³)
e.a	.....	equivalente ácido (g kg ⁻¹)
CaCl ₂	.....	Cloreto de Cálcio
cmol _c dm ⁻³	.....	centimol de carga por decímetro cúbico
pH	.....	potencial hidrogeniônico
Mg	.....	Magnésio
H ⁺ + Al ³⁺	hidrogênio mais alumínio
K ⁺	Potássio
CTC	.....	Capacidade de Troca Catiônica
V1	.....	Saturação por bases atual
P	.....	Fósforo
Mn	.....	Manganês
mg dm ⁻³	.....	miligrama por decímetro cúbico
B	.....	Boro
Fe ²⁺	Ferro
M.O	.....	Matéria orgânica
mL	.....	mililitro
p.c.	.....	produto comercial
L	.....	litro
P ₂ O ₅	.....	Pentóxido de fosforo
K ₂ O	.....	Cloreto de potássio
%	.....	porcentagem

RESUMO

BARBOSA, ANDRÉ ALVES. Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde – GO, novembro de 2020. **Inter-relações solo, planta e animal em sistemas de integração agricultura-pecuária**. Orientador: Dr. Eduardo da Costa Severiano, coorientadora: Dr.^a Kátia Aparecida de Pinho Costa.

O sistema de integração agricultura-pecuária (IAP) é uma estratégia que envolve a consorciação e a sucessão de culturas anuais, pastagens e animais na mesma área, atenuando o processo erosivo do solo e promovendo o sequestro de carbono, considerados serviços ambientais. Neste cenário, objetivou-se avaliar nesta pesquisa o desempenho de bovinos de corte sob pastejo no capim-Tamani (*Panicum maximum* cv. BRS Tamani) e capim-Paiaguás (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás), em sistemas integrados na segunda safra, os efeitos do pisoteio animal durante o pastejo e do tráfego de máquinas agrícolas sob a compactação do solo, por ocasião da transição da fase pecuária para agricultura e determinar a eficiência de formação de biomassa de cobertura para o plantio direto da soja, em relação ao sistema agrícola tradicional de sucessão soja-milho. O experimento foi realizado no Instituto de Ciência e Tecnologia Comigo (ITC) no município de Rio Verde-GO, Brasil. Para a condução da fase pecuária, foi realizada a semeadura das forrageiras em 28 de fevereiro de 2018 que permaneceu em livre crescimento por 84 dias após a semeadura, depois foram inseridos em cada módulo de pastejo, bovinos da raça Nelore que foram avaliados em quatro ciclos de pastejo. Após a retirada dos animais da área foram colhidas amostras de solo com estrutura preservada nas profundidades de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40 e 0,40-0,50 m. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com oito repetições e esquema

fatorial $2 \times 4 + 1$, sendo dois sistemas de cultivo de soja em sucessão sob biomassa de capim-paiaguás e capim-tamani, e quatro intensidade de descanso, 54, 47, 40 e 22 dias após a saída dos animais com intuito da formação de biomassa para o plantio da soja na safra seguinte, além de um tratamento adicional de soja semeada sob biomassa de cobertura de milho cultivado em sistema tradicional de plantio direto e considerado como testemunha. Foi possível constatar que as forrageiras foram capazes de suprir a necessidade nutritiva dos animais e que mesmo em período de baixa precipitação, o capim-paiaguás promoveu maior produção de carne e elevada formação de biomassa de cobertura. As forrageiras nas intensidades de rebrota, não afetaram o desempenho da semeadura de soja em sucessão. Os sistemas na integração apresentaram maiores valores de densidade do solo em relação à sucessão milho-soja nas camadas de 0,05 a 0,10 m, no entanto, esse incremento não reduziu a qualidade física do solo e, por conseguinte, o rendimento de grãos de soja. Os sistemas de cultivo não influenciaram na produtividade da soja.

Palavras-Chave: Sistemas integrados de produção agropecuária; Intervalo Hídrico Ótimo; *Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás; *Panicum maximum* cv. BRS Tamani.

ABSTRACT

BARBOSA, ANDRÉ ALVES. Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde - GO, November 2020. **Soil, plant and animal interrelationships in agricultural-livestock integration systems.** Advisor: Dr. Eduardo da Costa Severiano, co-supervisor: Dra. Kátia Aparecida de Pinho Costa

The agriculture-livestock integration system (IAP) is a strategy that involves the intercropping and succession of annual crops, pastures and animals in the same area, attenuating the soil erosion process and promoting carbon sequestration, considered environmental services. In this scenario, the objective was to evaluate the performance of beef cattle under grazing in Tamani grass (*Panicum maximum* cv. BRS Tamani) and Paiaguás grass (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás) in integrated systems in the second harvest as well as the effects of animal trampling during grazing and the traffic of agricultural machinery under soil compaction, during the transition from livestock to agriculture phase and determine the efficiency of top-dressed biomass formation for no-tillage soybean, in relation to the traditional agricultural system of succession soybean-corn. The experiment was carried out at the Instituto de Ciência e Tecnologia Comigo (ITC) in the municipality of Rio Verde-GO, Brazil. For livestock phase, forage was sown on February 28, 2018, remaining in free growth for 84 days after sowing, then Nelore cattle were inserted in each grazing module, evaluated in four grazing cycles. After removing animals from the area, soil samples with preserved structure were collected, at depths of 0-0.05; 0.05-0.10; 0.10-0.20; 0.20-0.30; 0.30-0.40 and 0.40-0.50 m in the row and inter-row positions of the crop for soil physical-hydric determinations, in two seasons, after soybean sowing and before harvest. The experimental design was a

randomized block with eight replications and a $2 \times 4 + 1$ factorial scheme, with soybean cultivation in succession under biomass of paiaguás and tamani grass, and four resting intensities, 54, 47, 40 and 22 days after the animals exit to form biomass for planting soybeans in the next harvest, and one additional treatment of soybeans sown under top-dressed corn biomass grown in a traditional no-tillage system, considered as a control. It was possible to verify that the forages were able to supply the nutritional need of the animals and that even in a period of low precipitation, the paiaguás grass promoted greater meat production and high formation of top-dressed biomass. It is worth mentioning that tamani grass obtained the greatest increase in biomass after desiccation. Forages in the regrowth intensities did not affect the performance of soybean sowing in succession. The systems in the integration showed higher values of soil density in relation to the succession corn-soybean in the layers of 0.05 to 0.10 m, however, this increase did not reduce the soybean grain yield. Cultivation systems did not influence soybean productivity.

Key Words: Integrated agricultural production systems; Optimal Water Interval; *Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás; *Panicum maximum* cv. BRS Tamani.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem se destacado como a fazenda do mundo pelas condições edafoclimáticas favoráveis ao desenvolvimento da agricultura, dedicando a cerca de 7,6% de seu território para produção de grãos e aproximadamente 21,3% com pastagens naturais e cultivadas, contando com rebanho bovino de 213,52 milhões de animais (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2019). Somente no ano de 2019 foram abatidos a cerca de 43,3 milhões de bovinos, movimentando 618,50 bilhões de reais em toda cadeia produtiva (Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes - ABIEC, 2020).

Em relação à produção de grãos, estima-se que na safra 2019/20 foram colhidas 250,9 milhões de toneladas de grãos a cerca de 67,7 milhões de hectares e com destaque para cultura da soja, representando 47,95% do total (Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, 2020). Da área colhida, a cerca de 50% localiza-se em regiões do Cerrado (Carneiro Filho e Costa, 2016).

No ano de 2019, o agronegócio brasileiro foi responsável por 21,4% do PIB total, impulsionado principalmente pelo setor pecuário (Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária do Brasil - CNA, 2020), isso só foi possível graças ao processo de modernização nos sistemas de produção, que proporciona a redução de custos e a rapidez na realização das operações, além das expressivas mudanças ocorridas no setor, que passou a priorizar tecnologias mais intensivas em capital que se consolidaram na última década (Vilela et al., 2012).

A transformação da condição natural do solo para atividade agropecuária tem ocasionado alterações importantes na sua estrutura original, nas propriedades e processos, principalmente em condições de uso inadequado do solo, levando intensas áreas ao

processo de degradação (Santos et al., 2009; Mendonça et al., 2012; Arcoverde et al., 2015). Este fator limita a capacidade produtiva dos solos pelo decréscimo na qualidade física e perda da fertilidade, reduzindo a produtividade das culturas agrícolas desencadeando processos de degradação de recursos naturais (Lanzanova et al., 2007; Cavallini et al., 2010). Nas últimas décadas, o peso das máquinas utilizadas na agricultura quadruplicou, colocando a cerca de 80 milhões de hectares de solos no planeta sob o risco de compactação, totalizando 15% dos solos do mundo (Diserens, 2013; Lopes, 2014).

O elevado tráfego de máquinas e implementos agrícolas, que em condições inadequadas de umidade altera a estrutura do solo e, conseqüentemente, a geometria e distribuição de poros por tamanho, modificando o comportamento físico-hídrico e a condutividade de água no solo, contribuindo para a compactação, levando à perda da sustentabilidade do sistema agrícola (Machado et al., 2005; Lopes, 2014; Oliveira et al., 2003). A presença de animais em áreas de agricultura também pode alterar a estrutura do solo, principalmente na camada superficial, sendo que a intensidade de pastejo contribui para o decréscimo da porosidade e incremento na densidade do solo (Bonetti et al., 2015; Nascimento Junior et al., 2018).

No entanto, a busca por altas produtividades em equilíbrio com os ecossistemas naturais tem despertado interesses para o desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis, como é o caso dos sistemas de integração agricultura-pecuária (IAP) e o sistema de plantio direto (SPD), que visam atender as necessidades de recuperação das extensas áreas de pastagens e solos degradados visando a sustentabilidade econômica da atividade (Glória et al., 2017). A IAP assumi função estratégica no planejamento agropecuário diante das variações climáticas observadas nos últimos anos (Vilela et al., 2011) e, nas regiões do cerrado brasileiro, as práticas conservacionistas têm sido adotadas como estratégia para assegurar a produção de grãos, forragens, carnes e leite, visando a minimização dos impactos ambientais (Ramos et al., 2017; Nascimento Junior, 2018).

No Brasil, a cultura da soja é utilizada como predominante na safra, semeada em sistema de IAP sob SPD. Após a colheita da soja em sistemas integrados, o produtor tem a possibilidade de três formas de uso da área, como: cultivo de grãos em segunda safra, o uso de forragem para pastagem (gado) e/ou a produção de palha para SPD (Costa et al., 2016). A adoção dessa prática pelos produtores ainda é relativamente pequena, isto se deve, em parte, a maior complexidade do manejo e a necessidade de altos investimentos iniciais (Barbero et al., 2017).

Os sistemas integrados quando empregados de forma adequada tende a ser uma opção de uso racional dos recursos naturais e utilização de insumos (Carassai et al., 2011; Carvalho et al., 2018), tendo em vista que nesse processo ocorre adição de resíduos tanto vegetais como de animais ao solo (Souza et al., 2010). Além do mais, há geração e diversificação de renda quando comparada ao sistema convencional que necessita de altos investimentos. As forrageiras, neste contexto, assumem a função de resistir e/ou reverter a compactação ocasionada pelo pisoteio animal ou o tráfego de máquinas agrícolas por meio da descompactação influenciada pelas raízes das pastagens (Flávio Neto et al., 2015).

As pastagens tropicais são largamente utilizadas tanto para a cobertura de solo como para a alimentação de bovinos, principalmente em períodos de escassez de alimento, quando se tem oferecimento de forragem de melhor qualidade em maior quantidade (Montagner et al., 2018). São mais vantajosas para desempenho animal as pastagens de sistemas integrados quando comparadas as convencionais com destaque no maior valor nutricional e maior disponibilidade de massa seca de forragem consumida, em plena estação da seca (Muniz, 2020).

Considerando as variações climáticas ao longo do ano que influenciam diretamente o desempenho animal, pesquisas são necessárias a respeito de gramíneas tropicais adaptadas, capazes de minimizar os efeitos adversos na estação seca, visando maior eficiência no sistema de produção animal em pastagem (Fernandes et al., 2020). É importante destacar que o manejo da biomassa é fundamental para determinação do sucesso ou fracasso da IAP, principalmente nas regiões do Cerrado que apresentam elevado volume de chuvas e altas temperaturas, favorecendo a decomposição dos resíduos de culturas (Almeida et al., 2018; Lopes et al., 2009). A longo prazo esses sistemas permitem a liberação constante de nutrientes de forma eficiente pelos resíduos de animais, pastagens e culturas em taxas diferentes (Assmann et al., 2017), além da ativação biológica do solo via excreta dos animais.

Os sistemas integrados de produção agropecuária são conhecidos como tecnologias de crescimento sustentável, ainda que pouco utilizadas pelos agricultores (Tollefon, 2010). Isto se deve ao desconhecimento do comportamento da planta forrageira quanto à formação de palhada e a eventuais problemas relativos à eficiência de semeadura das culturas em palhadas de capins, tornando necessário a introdução de espécies capazes de produzir grande volume de biomassa, com rápido desenvolvimento inicial, alta velocidade de rebrota e boa persistência na cobertura do solo (Nepomuceno et al., 2017).

A utilização de espécies do gênero *Brachiaria* (syn. *Urochloa*) na entressafra em consórcio com o milho ou em sucessão à cultura da soja tem proporcionado aumentos significativos na macroporosidade, porosidade total e redução da densidade do solo (Chioderoli et al., 2012; Mendonça et al., 2013). Flavio Neto et al. (2015), avaliando o potencial de descompactação biológica do solo com a utilização de cultivares do gênero *Brachiaria*, relataram que as *Brachiaria Brizantha* cv. Xaraés e Piatã demonstraram elevado potencial de rompimento de camadas compactadas do solo pelo sistema radicular dessas forrageiras.

Atualmente nos sistemas integrados, dentre as forrageiras mais utilizadas, destacam os capim-Paiaguás (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás) e o Tamani (*Panicum maximum* cv. BRS Tamani), tornando-se necessário, portanto, estudos voltados para avaliação da qualidade da sementeira das culturas de grãos em sistemas de IAP, notadamente sob a biomassa desses capins, em relação ao sistema tradicionalmente utilizado de sucessão soja-milho safrinha. Pois, embora produzam palhada em quantidade satisfatória, estes capins apresentam crescimento cespitoso e isto pode afetar o desempenho da sementeira e a distribuição das plantas uniformemente na área.

Além do rendimento animal e de grãos, torna-se necessário também a adequação do manejo de transição da fase pecuária para a agricultura, visando o equilíbrio entre essas atividades, pois existe preocupação com relação a quantidade e qualidade dos resíduos vegetais associados com a planta forrageira adotada e ao tempo destinado ao pastejo que não afetará a formação da cobertura do solo pela decomposição, a produção de biomassa e o desempenho da operação de sementeira, principalmente no que se refere ao desempenho da operação de sementeira.

As hipóteses deste trabalho são: a produtividade da soja é maior em áreas de IAP em relação às áreas de sucessão soja-milho. Segunda hipótese: quanto maior o tempo de descanso entre o último pastejo e a dessecação da braquiária maior é o acúmulo de biomassa e acarreta maior produtividade da soja.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC, Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. **Perfil da Pecuária no Brasil 2020**. Brasília: 2020. Disponível em: < <http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2020/>>. Acesso em: mai. 2020.

ALMEIDA, R. E. M. D.; FAVARIN, J. L.; OTTO, R.; FRANCO, H.; REIS, A. F. B.; MOREIRA, L. A.; TRIVELIN, P. Nitrogen recovery efficiency for corn intercropped with palisade grass. **Bragantia**, v. 77, n. 4, p. 557-566, 2018.

ARCOVERDE, S. N. S.; SALVIANO, A. M.; OLSZEWSKI, N.; MELO, S. B.; CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V.; PEREIRA, J. S. Qualidade física de solos em uso agrícola na região Semiárida do Estado da Bahia. **Ciência do Solo**, v.39, n.5, p. 1473-1482, 2015.

ASSMANN, J. M.; MARTINS, A. P.; ANGHINONI, I.; DENARDIN, L. G. O.; NICHEL, G. H.; COSTA, S. E. G. A.; SILVA, R. A. P.; BALERINI, F.; CARVALHO, P. C. F.; FRANZLUEBBERS, A. J. Phosphorus and potassium cycling in a long-term no-till integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities in subtropics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 108, n. 1, p. 21-33, 2017.

BARBERO, L. M.; CECATO, U.; SICHIERI, F. R.; BASSO, K. C.; IGARASI, M. S. Produção de soja e de forragem em sistemas de integração agricultura e pecuária. **Boletim de Indústria Animal**, v. 74, n. 3, p. 229-236, 2017.

BONETTI, J. A.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, G. N. Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. 2015. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 1, p. 104-112, 2015.

CARASSAI, I. J.; CARVALHO, P. C. D. F.; CARDOSO, R. R.; FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; NABINGER, C.; FREITAS, F. K.; MACARI, S.; TREIN, C. R. Atributos físicos do solo sob intensidades de pastejo e métodos de pastoreio com cordeiros em integração lavoura-pecuária. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1284-1290, 2011.

CARNEIRO FILHO, A.; COSTA, K. **A expansão da soja no Cerrado: Caminhos para a ocupação territorial, uso do solo e produção sustentável**. São Paulo: Agroincone, 2016. 30p.

CARVALHO, P. C. D. F.; PETERSON, C. A.; NUNES, P. A. D. A.; MARTINS, A. P.; SOUZA FILHO, W.; BERTOLAZI, V. T.; KUNRATH, T. R.; MORAES, A.; ANGHINONI, I. Animal production and soil characteristics from integrated crop-livestock systems: toward sustainable intensification. **Journal of animal science**, v. 96, n. 8, p. 3513-3525, 2018.

CAVALLINI, M. C.; ANDREOTTI, M.; OLIVEIRA, L. L.; PARIZ, C. M.; CARVALHO, M. P. Relações entre produtividade de *Brachiaria brizantha* e atributos físicos de um Latossolo do Cerrado. **Ciência do solo**, v. 34, v. 1, p. 1007-1015, 2010.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p.37-43, 2012.

CNA, Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária do Brasil. **O PIB do Agronegócio cresce 3,81% em 2019**. Brasília: CNA, 2020.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Levantamento de grãos confirma produção acima de 250 milhões de toneladas na safra 2019/2020**. Brasília: 2020. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3371-levantamento-de-graos-confirma-producao-acima-de-250-milhoes-de-toneladas-na-safra-2019-2020>>. Acesso em: mai. 2020.

COSTA, R. R. G. F.; PINHO COSTA, K. A.; ASSIS, R. L.; SANTOS, C. B.; SEVERIANO, E. C.; SOUZA ROCHA, A. F., OLIVEIRA, I. P.; COSTA, P. H. C. P.; SOUZA, W. F.; AQUINO, M. M. Dynamics of biomass of pearl millet and Paiaguas palisadegrass in different forage systems and sowing periods in yield of soybean. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 45, p. 4661-4673, 2016.

DISERENS, E. **Tyres/tracks And Soil Compaction (2013)**. Disponível em: <https://www.agroscope.admin.ch/.../tasc.../Flyer_TASC.pdf>. Acesso em: 18 out. 2018.

FERNANDES, L. S.; SANTOS DIFANTE, G.; COSTA, M. G.; NETO, J. V. E.; ARAÚJO, I. M. M.; DANTAS, J. L. S.; GURGEL, A. L. C. Pasture structure and sheep performance supplemented on different tropical grasses in the dry season. **Revista Mexicana de Ciências Pecuárias**, v. 11, n. 1, p. 89-101, 2020.

FLAVIO NETO, J.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, K. A. P.; GUIMARÃES JUNNYOR, W. S.; GONÇALVES, W. G.; ANDRADE, R. Biological soil loosening by grasses from genus *Brachiaria* in crop-livestock integration. **Acta Scientiarum Agronomy**. v.37, n. 3, p. 375-383, 2015.

GLÉRIA, A. A.; SILVA, R. M.; SANTOS, A. P. P.; SANTOS, K. J. G.; PAIM, T. P. Produção de bovinos de corte em sistemas de integração lavoura pecuária. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, n. 253, p. 141-150, 2017.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Tabela 3939 - Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho**. Brasília: 2019. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>>. Acesso em: mai. 2020.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Ciência do solo**, v. 31, n. 5, 2007.

LOPES, E. W. **Efeito das operações de implantação do cafeeiro Sobre características físicas do solo**. 2014. 85 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) apresentada a Universidade Federal de Viçosa - Campus Rio Paranaíba, Viçosa.

MACHADO, A.L.T.; REIS, A.; FERREIRA, M.; MACHADO, R.; MACHADO, A.; BAUER, G. Influência da pressão de inflação do pneu do trator na resistência do solo à penetração. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 11, n. 4, p.481-486, 2005.

MENDONÇA, V. Z.; MELLO, L. M. M.; ANDREOTTI, M.; PEREIRA, F. C. B. L.; LIMA, R. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; YANO, E. H. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras e milho em sucessão com soja em região de cerrados. **Ciência do Solo**, p. 251-259, 2013.

MONTAGNER, D.; ARAUJO, A. R.; EUCLIDES, V.; MACEDO, M.; ZIMMER, A.; ANDRADE, R. **Potencial produtivo dos capins BRS Piatã e BRS Paiaguás em sistema de integração lavoura-pecuária**. Embrapa Gado de Corte - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (Infoteca-E), 2018. 30p.

MUNIZ, M. P. **Sucessão de forrageiras após a soja, desempenho de bovinos e produção de biomassa em sistema de integração lavoura-pecuária**. 2020. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia) apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, Rio Verde.

NASCIMENTO JUNIOR, L. F.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, K. A. P.; BRITO, M. F.; BILEGO, U. O.; VANIN, A.; MENEZES, C. C. **Compactação do solo pelo pisoteio animal em sistema de Integração Agricultura-Pecuária**. Anuário de Pesquisas – Agricultura, 17ª ed. Rio Verde, 2018. (Comigo).

NEPOMUCENO, M.; CHINCHILLA, N.; VARELA, R. M.; MOLINILLO, J. M.; LACRET, R.; ALVES, P. L.; & MACIAS, F. A. Chemical evidence for the effect of *Urochloa ruziziensis* on glyphosate-resistant soybeans. **Pest management science**, v. 73, n. 10, p. 2071-2078, 2017.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S. Compressibilidade de um Latossolo Vermelho argiloso de acordo com a tensão de água no solo, uso e manejo. **Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p.773-783, 2003.

RAMOS, M. R.; DEDECEK, R. A.; DA SILVA, T. R.; FREIRE, T. M. Atributos físicos do solo no horizonte superficial em diferentes usos. **Agri-environmental Sciences**, v. 3, n. 1, p. 37-41, 2017.

SANTOS, L. N. S.; PASSOS, R. R.; CARDOSO, L. C. M.; SANTOS, C. L.; GARCIA, G. O.; CECÍLIO, R. V. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo sob diferentes coberturas vegetais em Alegre (ES). **Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 140-149, 2009.

SOUZA, E. D. D.; COSTA, S. E. V. G. D.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S. D.; CARVALHO, P. C. D. F.; MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 79-88, 2010.

TOLLEFSON, J. The Global Farm. **Nature**, v. 466, p.554-556, 2010.

VILELA, L.; JUNIOR, M.; BUENO, G.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2011.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MARCHÃO, R. L. Integração lavoura-pecuária-floresta: alternativa para intensificação do uso da terra. **Revista UFG**, v. 1, n. 13, p. 92-99, 2012.

3. OBJETIVOS

1. Avaliar o desempenho de bovinos de corte sob pastejo em sistemas integrados na segunda safra; 2. Avaliar os efeitos do pisoteio animal durante o pastejo e tráfego de máquinas agrícolas sob a compactação do solo, por ocasião da transição da fase pecuária para agricultura e; 3. Determinar a eficiência de formação de biomassa de cobertura para o plantio direto, desempenho de semeadura e rendimento de grãos da soja em sucessão semeada sob a biomassa das forrageiras *Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás e *Panicum maximum* cv. BRS Tamani em relação ao sistema agrícola tradicional de sucessão soja-milho.

(Normas de acordo com a Agriculture, Ecosystems & Environment)

4. CAPÍTULO I

INTER-RELAÇÕES SOLO, PLANTA E ANIMAL EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA

Resumo: Os sistemas integrados de produção agropecuária envolvem a consorciação e a sucessão de culturas anuais com pastagens e o desenvolvimento de animais na mesma área, fatores que se inter-relacionam entre si. Sendo assim, essa pesquisa objetivou avaliar o desempenho de bovinos de corte sob pastejo no capim-Tamani (*Panicum maximum* cv. BRS Tamani) e capim-Paiaguás (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás) em sistemas integrados na segunda safra, através do pisoteio animal durante o pastejo e o tráfego de máquinas agrícolas sob a compactação do solo por ocasião da transição da fase pecuária para agricultura e da determinação a eficiência de formação de biomassa de cobertura para o plantio direto da soja em relação ao sistema agrícola tradicional de sucessão soja-milho sob o rendimento da soja em sucessão. O experimento foi realizado no Instituto de Ciência e Tecnologia Comigo (ITC) no município de Rio Verde-GO. A fase pecuária iniciou em 28 de fevereiro de 2018 com o estabelecimento das forrageiras e após 84 dias foram inseridos em cada módulo de pastejo, bovinos da raça Nelore, avaliados em quatro ciclos de pastejo. Para fase agricultura, utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso com oito repetições e esquema fatorial $2 \times 4 + 1$, sendo o cultivo de soja em sucessão sob biomassa de dois capins Paiaguás e Tamani em quatro intensidade de rebrota, sendo 54, 47, 40 e 22 dias após a saída dos animais, além de um tratamento adicional de soja semeada sob biomassa de cobertura de milho cultivado em sistema tradicional de plantio

direto, considerado como testemunha. Para avaliação da fase pecuária, foram feitas avaliações de rendimento de forragem e pesagens individuais dos animais a cada ciclo de pastejo e, por ocasião da transição para a agricultura, foram colhidas amostras de solo com estrutura preservada nas profundidades de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40 e 0,40-0,50 m para as determinações físico-hídricas do solo e a avaliação da dinâmica de dessecação das plantas forrageiras. O rendimento de grãos de soja foi realizado ao final do ciclo da cultura e em função da uniformidade de semeadura em cada intensidade de rebrota do capim. As forrageiras foram capazes de suprir a necessidade nutritiva dos animais mesmo em período de baixa precipitação pluviométrica. O capim-Paiaguás promoveu maior produção de carne e elevada formação de biomassa de cobertura. As intensidades de rebrota não afetaram o desempenho da semeadura de soja. Os sistemas de cultivo não influenciaram na produtividade da soja.

Palavras-Chave: Sistemas integrados de produção agropecuária; Intervalo Hídrico Ótimo; *Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás; *Panicum maximum* cv. BRS Tamani.

4.1 INTRODUÇÃO

A região Central do Brasil é considerada a fronteira agrícola de uma fazenda global, graças a produção, a exportação de carnes e grãos e ao potencial de expansão da atividade agropecuária, pela ocorrência de solos aptos, aos avanços tecnológicos e ao clima favorável (Tollefson, 2010; Vilela et al., 2012; Severiano et al., 2013). Atrelado a tal, surgem problemas decorrentes da degradação do solo pela compactação pela exploração desorganizada e supressão de práticas conservacionistas. Este fato compromete a sustentabilidade ambiental, reduz a produtividade nos campos de produção e incentiva o desmatamento de novas áreas para expansão dos cultivos (Flávio Neto et al., 2015; Carvalho et al., 2018; Aranha et al., 2019).

Como alternativa, a intensificação do uso de terras já cultivadas por meio da verticalização da produção, como o sistema de integração agricultura-pecuária (IAP) em plantio direto (SPD), assegura a produção e a prestação de serviços ambientais, bem como incrementos na produtividade das culturas vegetais e animais (Salton et al., 2014; Ramos et al., 2017; Sant'Anna et al., 2017; Soares et al., 2019; Franchini et al., 2015). Por esses motivos, as inovações tecnológicas em torno dos sistemas integrados de produção

agropecuária têm sido a tônica de soluções de conflitos entre a viabilidade técnico-econômica e a sustentabilidade agroambiental no Brasil (Costa et al., 2016; Barbero et al., 2017; Assmann et al., 2017; Carvalho et al., 2018), fornecendo assim, alimentos saudáveis e de menor impacto ecológico, para o mundo.

Estudos acerca dos aspectos de pastejo em IAP buscando o equilíbrio entre o desempenho animal e a produção de biomassa em cobertura para o desenvolvimento de culturas de grãos subsequentes em SPD são pontuais e inconclusivos. Essas informações são necessárias para subsidiar tomadas de decisão acerca da transição da fase pecuária para agricultura em sucessão e determinar o êxito das atividades, principalmente em anos com escassez de chuvas e em comparação aos cultivos tradicionais de sucessão soja-milho (Silva et al., 2014; Euclides et al., 2016).

O gênero *Brachiaria* corresponde a 80% das pastagens cultivadas na IAP no Brasil, pelo elevado desempenho em solos corrigidos quimicamente, além das características da lâmina foliar e da touceira que facilitam a semeadura na safra seguinte, bem como boa adaptação as condições climáticas variáveis, principalmente nas áreas inseridas no bioma Cerrado (Barros et al., 2019). No entanto, o interesse pelas forrageiras do gênero *Panicum* têm crescido nos últimos anos (Dias et al., 2020), provavelmente em virtude de seu potencial de produção de massa seca por unidade de área, adaptabilidade, qualidade de forragem e facilidade de estabelecimento (Correia e Santos, 2003), criando expectativas de rendimentos superiores tanto dos produtos animais quanto vegetais com incremento de carbono e melhoria da estrutura do solo, além da redução do processo erosivo (Silva et al., 2019b) e do potencial de inserção em sistemas de IAP.

Os capins Paiaguás (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás) e Tamani (*Panicum maximum* cv. BRS Tamani) foram lançados recentemente com enfoque em sistemas integrados de produção agropecuária e, por este motivo, pouco se sabe sobre as suas potencialidades e limitações. Torna-se necessário, portanto, estudos acerca do equilíbrio entre as fases pecuária e agricultura, notadamente relacionados ao desempenho animal, conversão da pastagem em cobertura morta para o plantio direto, desempenho da operação de semeadura e a produção de grãos, porque embora produzam biomassa em quantidade satisfatória (Dias et al., 2020), esses capins apresentam crescimento cespitoso que podem afetar a qualidade de semeadura e o arranjo populacional das culturas agrícolas e conseqüentemente, comprometer o potencial produtivo de grãos.

Na IAP, a produção e a demanda de forragem podem minimizar as alterações na estrutura do solo (Bonetti et al., 2015), e o resíduo vegetal amortece o impacto do pisoteio

animal e reduz a perda de água por evaporação, mantendo a temperatura do solo amena (Kunz et al., 2013; Bonetti et al., 2015; Ramos et al., 2017) proporcionando maior retenção de água no solo, permitindo maior exploração do solo pelas raízes da cultura sucessora (Tormena et al., 2007; Chioderoli et al. 2012). A qualidade física do solo, por sua vez, é a capacidade do solo em promover ao sistema radicular condições para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Tormena; Silva; Libardi, 1998). Em cultivos agrícolas tem sido utilizado amplamente o intervalo hídrico ótimo (IHO) como indicador dos impactos da compactação do solo sobre sua estrutura para o crescimento das plantas (Leão, 2017; Ferreira et al., 2020). Esse índice faz a integração de atributos como a densidade do solo, a porosidade de aeração, a resistência mecânica do solo à penetração e variação do potencial mátrico do solo (Tormena; Silva; Libardi, 1998).

Vale destacar que biotecnologias têm sido desenvolvidas para elevação dos rendimentos, com destaque ao melhoramento genético de plantas forrageiras tropicais. No entanto, para adequação do manejo de transição da fase pecuária para a agricultura e visando o sinergismo entre as atividades, existe preocupação com o manejo dos resíduos, fatores estes associados à planta forrageira e ao tempo destinado ao pastejo que, por sua vez, afetarão a formação da cobertura do solo e, principalmente, o desempenho da operação de semeadura.

A dualidade entre os componentes zootécnicos e agronômicos no manejo de transição da fase pecuária para a agricultura foi a tônica do nosso estudo. As hipóteses deste trabalho são que a produtividade da soja é maior em áreas de IAP em relação às áreas de sucessão soja-milho e que quanto maior o tempo de descanso entre o pastejo e a dessecação da braquiária, respeitando o desempenho animal, maior será o acúmulo de biomassa que acarretará maior produtividade da soja. Os objetivos foram: 1 - avaliar o desempenho de bovinos de corte sob pastejo no capim-Tamani e capim-Paiaguás em sistemas integrados na segunda safra; 2 - avaliar o pisoteio animal durante o pastejo sob a compactação do solo por ocasião da transição da fase pecuária para agricultura e; 3 - determinar a eficiência de formação de biomassa de cobertura para o plantio direto, desempenho de semeadura e o rendimento de grãos da soja em sucessão semeada sob a biomassa das forrageiras *Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás e *Panicum maximum* cv. BRS Tamani em relação ao sistema agrícola tradicional de sucessão soja-milho.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização das condições experimental

A pesquisa foi conduzida no campo experimental do Instituto de Ciência e Tecnologia COMIGO (ITC-COMIGO) da Cooperativa Agroindustrial dos Produtores do Sudoeste Goiano (COMIGO) e as análises de solo foram realizadas no Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde (IF Goiano), localizados no município de Rio Verde, Goiás, Brasil, a 17° 47' 53" S e 50° 55' 41" W, e altitude de 840 m (Figura 1).

O clima é classificado segundo classificação de Köppen (Alvares et al., 2013) em megatérmico ou tropical úmido (Aw), subtipo tropical de savana, com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média anual da região é de 25°C e a média pluviométrica anual de aproximadamente 1600 mm. O período chuvoso se estende de novembro a abril e as menores precipitações ocorrem entre junho e agosto ($< 50 \text{ mm mês}^{-1}$). O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (Sistema Brasileiro de Classificação do Solo – SiBCS, 2018) de textura franco-argilo-arenosa (Teixeira et al., 2017), com conteúdo de argila, silte e areia de 559,853, 94,165 e 345,982 g kg⁻¹ na camada superficial e 399, 114 e 486 g kg⁻¹ no horizonte diagnóstico subsuperficial Bw (Severiano et al., 2011).

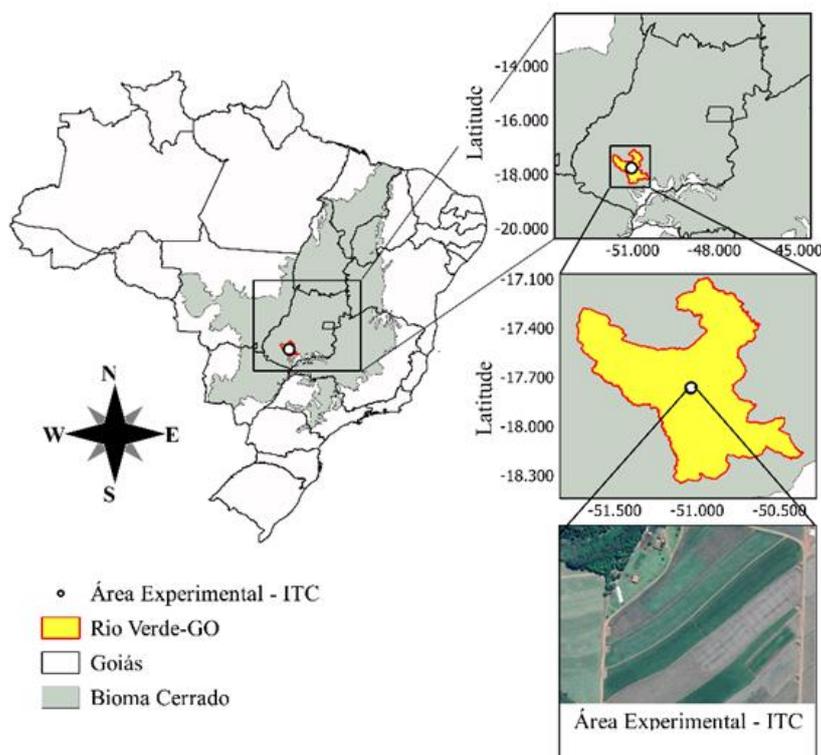


Figura 1. Mapa de caracterização da área experimental.

O solo da área está inserido num relevo suave ondulado (5 a 8% de declive), que possibilita o desenvolvimento de agricultura intensiva e altamente mecanizada. É cultivado com culturas anuais nos últimos 10 anos, e contribuiu para correção de sua fertilidade química. O experimento foi instalado em dois talhões, o primeiro talhão com tamanho de 2,93 hectares (ha) sob sistema de IAP há cerca de três anos e o segundo talhão com 2,21 ha e seis anos de IAP. Durante a condução do experimento, realizou-se o monitoramento das condições climáticas, conforme a Figura 2.

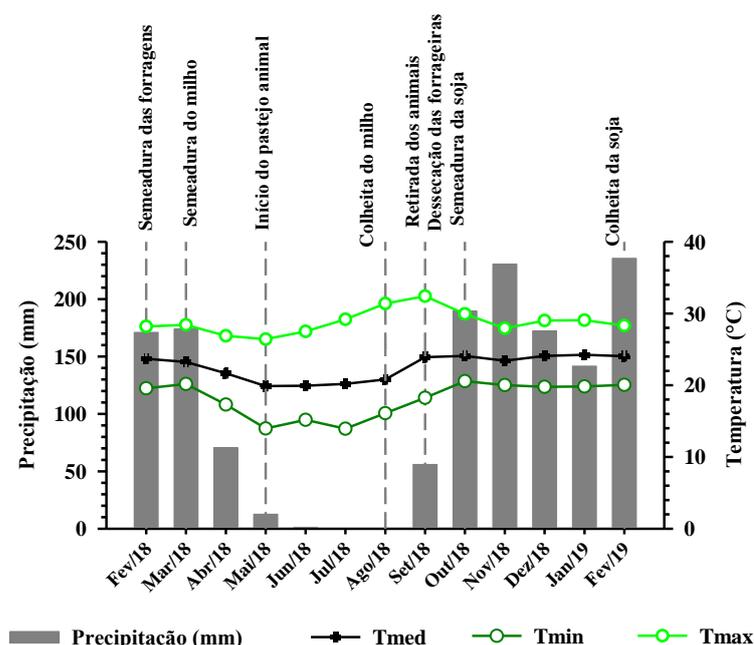


Figura 2. Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura máxima (Tmax.), média (Tmed.) e mínima (Tmin.) (°C) mensal durante o período de fevereiro de 2018 a fevereiro de 2019, ano de condução do experimento.

Fase Pecuária

Em outubro de 2017, o solo da área foi corrigido com a aplicação de 1 Mg ha⁻¹ de calcário, 25 kg de N e 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅, utilizando o fertilizante Fosfato Monoamônico.

Após a colheita da soja correspondente à safra 2017-2018, foram demarcadas dez parcelas (piquetes) em cada talhão para condução da fase pecuária. O estabelecimento das pastagens se deu em 28 de fevereiro de 2018, utilizando duas plantas forrageiras, sendo:

- *Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás.
- *Panicum maximum* cv. BRS Tamani.

Duas parcelas por talhão foram destinadas ao cultivo de milho em segunda safra para fins de comparação dos impactos do uso da terra na estrutura do solo e no desempenho agrônômico da soja em sucessão. Foram utilizados 5,0 kg de sementes puras viáveis (SPV) para o capim-Paiaguás e 3,5 kg de SPV para o capim-Tamani, com 60% e 40% de valor cultural (VC), respectivamente. As sementes foram misturadas ao fertilizante Fosfato Monoamônico (P_2O_5) na dosagem de 150 kg ha⁻¹ e semeadas nas respectivas áreas com auxílio da semeadora-adubadora pneumática na profundidade de 0,05 m.

A fase pecuária foi constituída por 203 dias, equivalente ao período de entressafra em que os capins permaneceram em livre crescimento por 84 dias após a semeadura (DAS) e com ciclos de pastejo aos 28, 56, 84 e 97 dias, conforme o período de ocupação dos piquetes e 54, 47, 40, 22 dias de descanso até a dessecação para rebrota e acúmulo de biomassa de cobertura, conforme o período de retirada dos animais. Salienta-se que este período de descanso constituiu os tratamentos avaliados na fase agricultura apresentada em sequência. Foram utilizados bovinos da raça Nelore, machos não castrados, com idade média de 13,25±0,77 meses, oriundas de rebanho comercial da própria região e com peso corporal médio inicial de 239,43±29,98 kg. Inicialmente, os animais foram pesados, randomizados e distribuídos aleatoriamente entre os tratamentos. As pesagens para avaliação do ganho de peso foram realizadas após jejum total de 16 horas, conforme descrito Euclides et al. (2016), os quais foram utilizados para avaliar o desempenho animal.

A distribuição dos animais ocorreu utilizando inicialmente cinco animais por piquete, ajustando a taxa de lotação (UA ha⁻¹) à oferta de forragem ao longo do estudo, conforme avaliada antes da entrada dos animais no pasto, utilizando como valor padrão de 6% matéria seca em relação ao peso corporal destes, estimando a eficiência de pastejo de 50%. A oferta de forragem foi estimada pelo método de corte da forrageiras a 20 cm da superfície do solo, sendo amostrados oito pontos aleatórios dentro de cada parcela com o auxílio de um quadrado metálico de 0,5 x 0,5 m (0,25 m²). A forragem colhida foi colocada em sacos plásticos, pesadas no campo e, posteriormente, no Laboratório de Forragicultura e Pastagem, levadas a estufa com circulação forçada de ar a 55°C por 72 horas, estimando a produção de massa seca (MS) e calibrando o resultado para quilogramas por hectares.

O pastejo foi realizado de maio a setembro de 2018, totalizando quatro ciclos de pastejo em pastejo rotativo com ocupação variável, conforme apresentado na Tabela 1

(Mott e Lucas, 1952). O período de ocupação dos animais em cada piquete foi de sete dias, mantendo o resíduo pós-pastejo a 20 cm de altura, com intervalo de rebrota de aproximadamente 21 dias. As informações adicionais a respeito dos teores energéticos, bem como qualidade e composição bromatológica das forrageiras se encontram no trabalho desenvolvido por Muniz (2020).

O delineamento experimental da fase pecuária foi de blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial 2x4, sendo duas plantas forrageiras (capim-Paiaguás e capim-Tamani) e o desempenho animal em quatro ciclos de pastejo, 28, 56, 84 e 97 dias.

Tabela 1. Taxa de lotação e peso médio dos animais durante os ciclos de pastejos em forrageiras do gênero *Brachiaria* e *Panicum* sob taxa de lotação variável.

Variáveis consideradas	Forrageiras ¹	Ciclos de pastejos ¹			
		1º ciclo	2º ciclo	3º ciclo	4º ciclo
Taxa de lotação (UA ha ⁻¹)	Capim-Paiaguás	3,08	3,33	2,31	2,33
	Capim-Tamani	2,96	3,20	1,68	1,69
Peso médio dos animais	Capim-Paiaguás	270,3	291,3	289,2	292,3
	Capim-Tamani	266,6	288,2	302,2	303,5

1º ciclo: 28 dias; 2º ciclo 56 dias; 3º ciclo 84 dias; 4º ciclo: 97 dias

Qualidade física do solo por ocasião da transição da fase pecuária para agricultura

Para condução da safra 2018/19, os animais foram retirados da área experimental entre agosto e setembro de 2018. E, para avaliar o efeito do pisoteio animal durante o pastejo sob a compactação do solo, após a retirada destes foram colhidas amostras de solo com estrutura preservadas em anéis metálicos de dimensão de 0,050 m de altura por 0,063 m de diâmetro interno (volume aproximado de $16 \times 10^{-4} \text{ m}^3$) com auxílio do amostrador de solo tipo Uhland nas camadas de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40 e 0,40-0,50 m para as determinações físico-hídricas.

Colheu-se amostras com estrutura preservadas (6 camadas x 5 sistemas de manejo x 4 repetições) para avaliação da qualidade física do solo, em que os sistemas de manejo consistiam na cultura da soja conduzida sob biomassa de cobertura das forrageiras nos quatro intervalos de rebrotas dos capins mais o tratamento adicional da sucessão milho-soja. As amostras foram envolvidas em filme de PVC e levadas e armazenadas em temperatura ambiente no Laboratório de Física do Solo até a data de realização das análises laboratoriais. Na ocasião, foram colhidas amostras deformadas nos tratamentos

para textura do solo e densidade de partículas (D_p , kg dm^{-3}) nos tratamentos e nas profundidades descritas anteriormente. A textura foi realizada pelo método da pipeta e D_p foi estabelecida pelo método do picnômetro conforme Teixeira et al. (2017).

Para determinação da curva de retenção de água no solo (CRA), as amostras foram divididas em 10 grupos aleatórios, em seguida preparadas e saturadas por elevação gradual da lâmina d'água destilada em uma bandeja até atingir 2/3 da altura dos anéis por 48 horas (Tormena; Silva e Libardi, 1998), depois foram submetidas nos Potenciais Matriciais de 2, 4, 6, 8, 10 kPa utilizando funis de placa porosa, 33, 60 kPa na mesa de tensão e 100, 500 e 1500 kPa por meio de pressões aplicadas pelo Extrator de Richards (Teixeira et al., 2017).

Ao atingirem o equilíbrio hidráulico, para determinação da curva de resistência a penetração do solo (CRP), as amostras foram pesadas e submetidas ao teste de penetrometria utilizando o penetrômetro de bancada MARCONI-MA 933/30 dotado de variador eletrônico de velocidade de 10 mm min^{-1} com ângulo de cone de 60° , diâmetro de 4 mm e profundidade de 5 cm com sistema de registro de dados, com um receptor acoplado a um microcomputador com software específico (Araújo et al., 2004; Severiano et al., 2008; Severiano et al., 2011; Passos et al., 2017; Lima et al., 2020). Por conseguinte, as amostras foram secas em estufa com ajuste para 105°C por 48 horas e calculado a densidade do solo (D_s , kg dm^{-3}) pelo método do cilindro volumétrico, assim como calculado a porosidade total (PT, $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) pelo método indireto descrito por Almeida et al. (2017), conforme a equação 1.

$$PT = \frac{D_p - D_s}{D_p} \quad \text{eq. 1}$$

A curva de retenção de água para cada camada nos tratamentos foi obtida mediante o ajuste no software estatístico SAS, utilizando o modelo não linearizado proposto Ross et al. (1991), adaptado por Leão et al. (2005) com a adição da densidade do solo, conforme a equação 2:

$$\theta = \exp(a + b * D_s) * (\psi^c) \quad \text{eq. 2}$$

Em que: θ é o conteúdo volumétrico de água do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$), D_s é considerado a densidade do solo (Mg m^{-3}), Ψ : potencial mátrico (kPa) e a , b e c são coeficientes obtidos no ajuste do modelo aos dados experimentais.

A curva de resistência do solo à penetração foi obtida pelo ajuste da RP em função do conteúdo de água no solo (θ) e D_s usando o modelo não linear proposto por (Busscher 1990; Silva et al., 1994), de acordo com a equação 3:

$$RP = d\theta^e Ds^f \quad \text{eq. 3}$$

Em que: RP é a resistência do solo à penetração (MPa), e θ conteúdo volumétrico de água do solo; d , e e f são coeficientes do modelo.

O ajuste da CRA e CRP foi determinado seguindo as rotinas PROC GLM e PROC REG (SAS, 2002). No procedimento, foram consideradas as amostras agrupadas de 0 a 0,20 e 0,30 a 0,50 em cada tratamento para o ajuste de uma curva para camada superficial e subsuperficial, respectivamente.

Com a finalidade de avaliar a sensibilidade do solo às modificações estruturais ocasionadas pelos sistemas de manejo, o Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) foi determinado em acordo com os procedimentos descritos por Silva et al. (1994) mediante o ajuste dos limites do conteúdo de água no solo (θ). O menor valor entre θ_{CC} e θ_{PA} foi considerado o limite superior e o maior valor entre θ_{PMP} e θ_{RP} , o limite inferior. A porosidade de aeração (θ_{PA}) foi obtida descontando os 10% que não seria suficiente para fornecer difusão mínima dos gases (eq. 4, de acordo com Grable e Siemer, 1968; Lima et al., 2020). O cálculo da capacidade de campo (θ_{CC}) e do ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) se deu a partir da equação 2 por meio da substituição do Ψ pelos valores 6 e 1500 kPa (eq. 5 - Ferreira e Marcos, 1983; Mello et al., 2002; Severiano et al., 2011 e eq. 6 - Bernardo et al. 2008; Ferreira e Marcos 1983, respectivamente). A resistência a penetração foi obtida a partir do ajuste matemático expresso na equação 3, considerando o valor limitante de 3,5 MPa (eq. 7), conforme instruções de Moraes et al. (2014) e Ferreira et al. (2020).

$$\theta_{PA} = PT - 0,1 \quad \text{eq. 4}$$

$$\theta_{CC} = \exp(a + b * Ds) * (6^c) \quad \text{eq. 5}$$

$$\theta_{PMP} = \exp(a + b * Ds) * (1500^c) \quad \text{eq. 6}$$

$$\theta_{RP} = (3,5/d * Ds)^{1/e} \quad \text{eq. 7}$$

Fase Agricultura

O delineamento experimental desta etapa foi o de blocos ao acaso com oito repetições (quatro repetições por talhão) em esquema fatorial 2 x 4 + 1, sendo o cultivo de soja sob a biomassa de cobertura dos capim-Paiaguás e capim-Tamani, e quatro intervalos de descanso: 54, 47, 40 e 22 dias após a saída dos animais com intuito formação de biomassa para o plantio da soja na safra seguinte, além de um tratamento adicional de soja semeada sob biomassa de cobertura de milho cultivado em sucessão em sistema tradicional de plantio direto há dez anos, considerado como testemunha e instalado em

parcelas experimentais adjacentes à área com o propósito de mensurações de produtividade e viabilidade em relação às áreas de IAP.

A semeadura do milho nas parcelas de referência de agricultura tradicional ocorreu em 01 de março de 2018, utilizando o híbrido AG 7098 PRO2 visando a atingir população final entre 60 a 70 mil plantas ha⁻¹. A adubação de base foi de 300 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado 08-20-18, aplicado no sulco de plantio. No estágio fenológico V6, aplicou-se 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio na fonte ureia. A colheita do milho para grão foi realizada aos 156 dias, em 03 de agosto de 2018. Ressalta-se que indicadores agrônômicos deste cultivo não foram avaliados neste trabalho.

A dessecação das forrageiras ocorreu no dia 25 de setembro de 2018 com os intervalos de descanso pré-estabelecidos. Para tanto, utilizou o herbicida glyphosate na dose de equivalente ácido (e.a.) de 1,92 kg ha⁻¹ (Roundup Transorb, 480 g e.a. kg⁻¹, SL, Monsanto), com volume de calda 150 L ha⁻¹. Na ocasião, foram medidas a altura das plantas no dossel com o uso de trenas. Para quantificação da produção de biomassa das forrageiras, foi avaliado 13 dias após a dessecação com quatro amostras residuais rente ao solo por parcela com auxílio de um quadrado de 0,50 x 0,50 m (0,25 m²). As amostras foram enviadas ao laboratório, e o material foi pesado e retirado uma subamostra com aproximadamente 0,5 kg colocada em estufa de circulação de ar forçada a 55±2°C por 72 horas, sendo as quantidades extrapoladas para kg ha⁻¹. Assim, foi possível estabelecer a relação entre a altura de plantas no momento da dessecação e a produção de biomassa em cobertura do solo.

Para determinação da eficiência de dessecação, foram colhidas aos 0, 5, 10, 15, 20 e 25 dias após a aplicação do herbicida, quatro amostras de biomassa rente ao solo em cada tratamento e determinado conteúdo de matéria seca (MS) em g kg⁻¹, após secá-las em estufa de circulação de ar forçada a 65°C até atingir peso constante.

A implantação da soja na safra 2018/2019 foi estipulada com a adubação baseada expectativa de rendimento descrita por Souza e Lobato (2004) e na análise de solo na profundidade de 0-20 cm, cujo os valores foram: pH: 4,83 em CaCl₂; Ca: 2,06 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,61 cmol_c dm⁻³; Al³⁺: 0,16 cmol_c dm⁻³; H⁺ + Al³⁺: 4,76 cmol_c dm⁻³; K⁺: 0,21 cmol_c dm⁻³; CTC: 7,64 cmol_c dm⁻³; V₁: 37,69%; P (mehlich): 13,15 mg dm⁻³; Cu: 1,35 mg dm⁻³; Zn: 5,05 mg dm⁻³; Mn: 13,42 mg dm⁻³; Fe²⁺: 36,29 mg dm⁻³; B: 0,20 mg dm⁻³; M.O. 21,18 g kg⁻¹.

Após a formação da biomassa, foi realizada a semeadura da soja em 20 de outubro de 2018, utilizando a cultivar M7739 IPRO, com uma semeadora-adubadora

pneumática (JM2670PD, 6 linhas a 0,5 m, JUMIL) montada em um trator (6155J, 115 cv, John Deere) e regulada para distribuição de sementes no espaçamento de 0,08 m entre plantas e 0,50 m entrelinhas, visando a quantidade de 250.000 sementes por ha⁻¹. A inoculação das sementes foi realizada no momento da semeadura, com um pulverizador montado na semeadora, aplicando em jato dirigido no sulco de semeadura as bactérias *Bradyrhizobium elkanii* SEMIA 587 e SEMIA 5019 (GELFIX, 5 x 10⁹ UFC mL⁻¹, SL, Basf) na dose de 0,6 L p.c. ha⁻¹, o inseticida *Metarhizium anisopliae* IBCB 425 (Meta Turbo, mínimo de 1,0 x 10⁸ propágulos viáveis mL⁻¹, Bio Soja) na dose de 0,5 L p.c. ha⁻¹ e, os micronutrientes Cobalto (Co) e Molibdênio (Mo) (Nodulus Gold, 12,9 e 139 g i.a. L⁻¹, SL, Bio Soja) na dose de 0,2 L p.c. ha⁻¹. Para as aplicações foi utilizado o volume de aplicação de 60 L ha⁻¹. Foi utilizado, ainda, 200 kg ha⁻¹ do fertilizante MAP (96 kg de P₂O₅) no sulco de semeadura juntamente com os micronutrientes Cobalto e Molibdênio e 120 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (72 kg de K₂O) a lanço no estádio V5.

Para as avaliações das características agrônômicas, foram demarcadas quatro replicações dentro de cada parcela. A avaliação da distribuição de plantas de soja (espaçamento entre plantas na linha de semeadura de acordo com o preconizado) ocorreu aos 15 DAS, conforme descrito por Lopes et al. (2009), com o auxílio de trenas em três linhas centrais com comprimento de cinco metros em cada replicata. Desta maneira, foi possível quantificar a população final de plantas e a eventual influência da biomassa em superfície no desempenho da semeadora, bem como a ocorrência de: espaçamentos “duplos” (D), cuja distância considerada entre plantas foram 0,5 vezes menores ao espaçamento médio estabelecido (Xref); “aceitáveis ou espaçamento normal” (A), de 0,5 a 1,5 vezes ao Xref; e “falhas na semeadura” (F) maior que 1,5 vezes ao Xref, conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1994) (Mantovani et al., 2015).

A produtividade da soja foi obtida a partir da massa seca dos grãos (13% umidade) aos 120 DAS, contido na área útil descrita de cada replicata mediante pesagem e expressa em quilogramas por hectare.

A cronologia das etapas que constituíram a condução do experimento é mostrada na Figura 3.

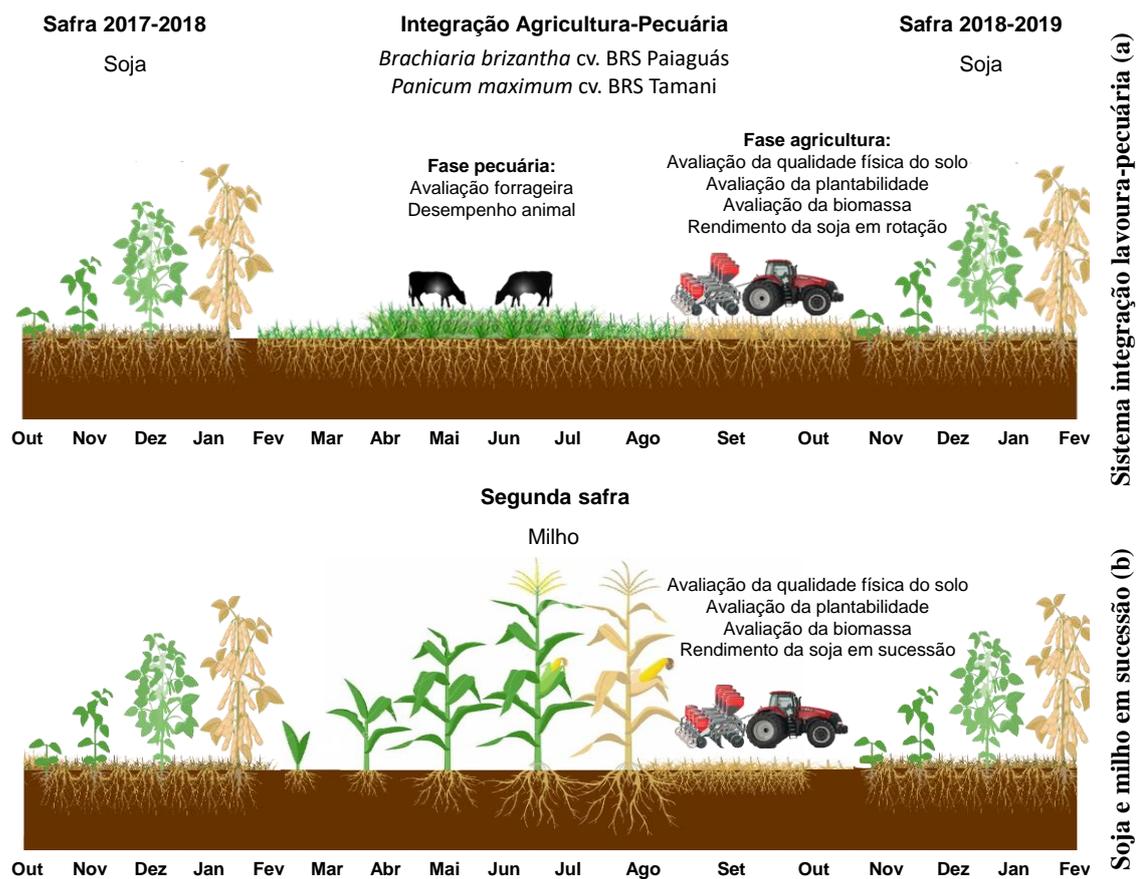


Figura 3. Etapas de condução de sistemas de manejo de transição da fase pecuária para a agricultura em sistemas de integração agricultura-pecuária (a) e sucessão soja-milho (b) no sistema tradicional de plantio direto.

Análise estatística

Os resultados da oferta de forragem (kg ha^{-1}) e do incremento de peso animal acumulado por área ($\% \text{ ha}^{-1}$) para a fase pecuária, além da produção de biomassa de cobertura, uniformidade de semeadura e a produtividade da soja da fase agricultura, foram submetidos à análise de variância e regressão polinomial quando constatada significância ($p < 0,05$), por meio do programa estatístico Sisvar (Ferreira et al., 2011).

Para comparação entre os ajustes das regressões lineares da produção dos capins em decorrência dos períodos ciclos de pastejos e do descanso após a retirada dos animais dos piquetes e eficiência da dessecação, foi utilizado o procedimento estatístico de Snedecor e Cochran (1989), que testa a homogeneidade dos dados (F) e a significância dos coeficientes angular (b) e linear (a) das equações, tanto para a fase pecuária, quanto agricultura.

4.3 RESULTADOS

A oferta de forragem em cada ciclo de pastejo mostrou redução ao longo da fase pecuária (Figura 4A). O capim-Paiaguás apresentou superioridade em todo intervalo avaliado segundo os procedimentos estatísticos aplicados (Snedecor e Cochran, 1989) manifestando inicialmente com 3346 kg ha⁻¹, enquanto o capim-Tamani 2395 kg ha⁻¹ e, finalizando com 1839 e 1146 kg ha⁻¹, respectivamente. O desempenho por animal não se diferenciou entre os capins, com máximo ganho de peso diário aos 79 dias (Figura 4B), e redução a partir de então.

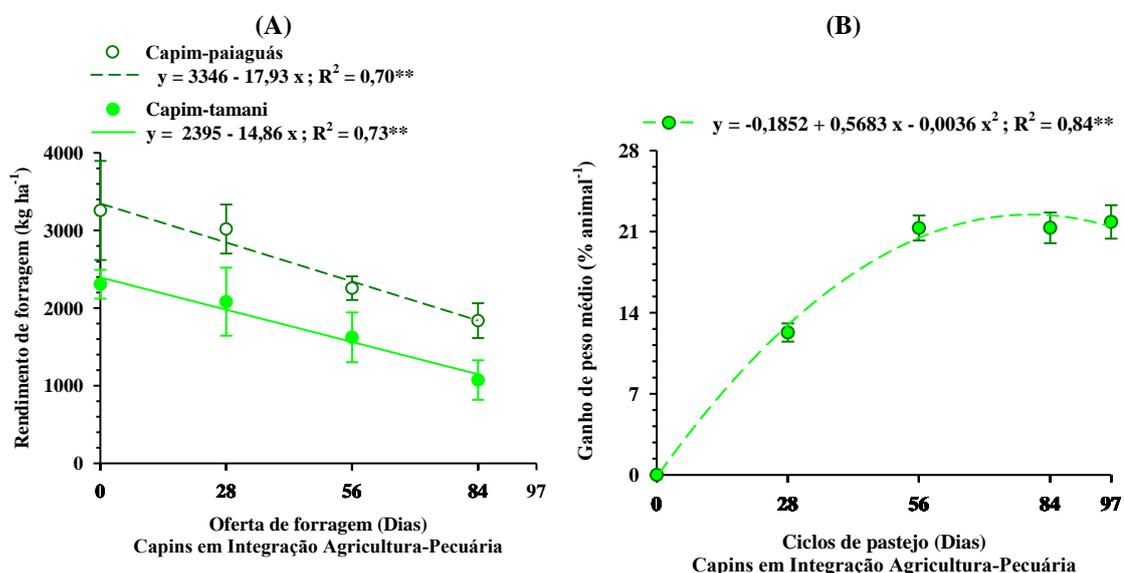


Figura 4. Oferta de forragem (A) e desempenho animal em pastejo de capins Paiaguás e Tamani (B) em sistemas de integração agricultura-pecuária em função dos dias de pastejo. As barras verticais representam o erro padrão da média. **: significativo a 1 %.

As Figuras 5, 6 e 7, e a Tabela 2, representam os atributos de manejo e suas inter-relações das plantas forrageiras por ocasião da transição das fases pecuária para agricultura. A relação entre o período de descanso das forrageiras após a retirada dos animais dos piquetes diferenciaram entre si e foram diretamente proporcionais com a altura de plantas em pré-dessecação e formação de biomassa de cobertura para o SPD (Figura 5), com superioridade do capim-Paiaguás que, aos 22 dias de descanso, proporcionou altura proporcional ao capim-Tamani aos 54 dias de ausência de pastejo (Figura 5a).

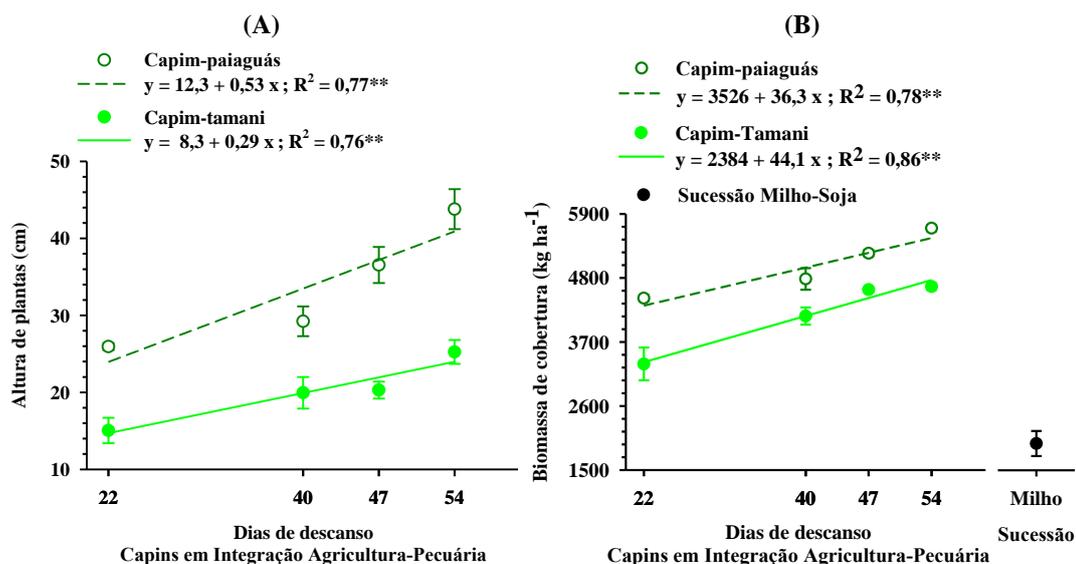


Figura 5. Altura de plantas (A) e produção de biomassa de cobertura (B) dos capins Paiaguás e Tamani, em função do tempo de rebrota após a retiradas dos animais e biomassa de cobertura do milho em segunda safra. As barras verticais representam o erro padrão da média. **: significativo a 1 %.

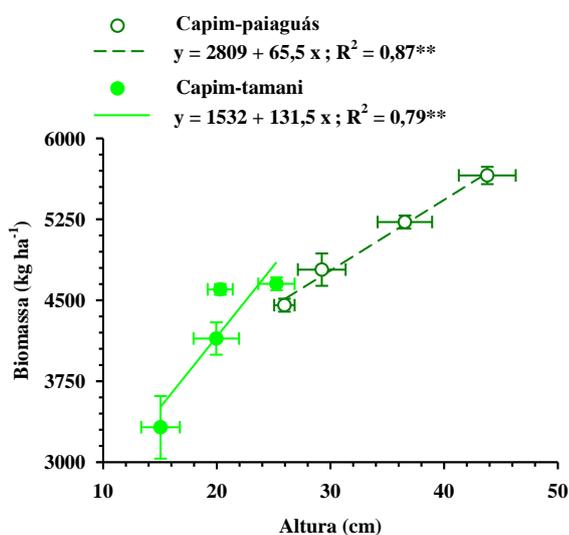


Figura 6. Relação entre a formação de biomassa e altura de plantas dos capins Paiaguás e Tamani em função do tempo de rebrota após a retiradas dos animais. As barras verticais representam o erro padrão da média. **: significativo a 1 %.

A comparação da eficiência de dessecação dos capins em função do período de descanso pós-pastejo e dos dias pós-dessecação estão apresentados na Tabela 2. Conforme o procedimento estatístico de Snedecor e Cochran (1989), houve diferenças entre os capins, porém não foi constatada significância entre as regressões lineares da

eficiência de dessecação aos 22 e 40 dias, bem como aos 47 e 54 dias de descanso em ambas forrageiras, permitindo realizar o agrupamento dos pares, conforme a figura 7.

Tabela 2. Comparação entre as regressões lineares da eficiência de dessecação dos capins Paiaguás (P) e Tamani (T) ($y = a + bX$), de acordo com Snedecor e Cochran (1989)⁽¹⁾.

Tempo	F	F		Decisão estatística
		Coeficiente linear, $\log a$	Coeficiente angular, b	
P ₂₂ x P ₄₀	H	ns	ns	Agrupar
P ₄₇ x P ₅₄	H	ns	ns	Agrupar
(P ₂₂ - P ₄₀) x (P ₄₇ - P ₅₄)	NH	ns	**	Não Agrupar
T ₂₂ x T ₄₀	H	ns	ns	Agrupar
T ₄₇ x T ₅₄	H	ns	ns	Agrupar
(T ₂₂ - T ₄₀) x (T ₄₇ - T ₅₄)	NH	ns	ns	Não Agrupar
(P ₂₂ - P ₄₀) x (T ₂₂ - T ₄₀)	H	**	ns	Não Agrupar
(P ₄₇ - P ₅₄) x (T ₄₇ - T ₅₄)	H	**	**	Não Agrupar
(P ₂₂ - P ₄₀) x (T ₄₇ - T ₅₄)	NH	**	ns	Não Agrupar
(P ₄₇ - P ₅₄) x (T ₂₂ - T ₄₀)	NH	**	**	Não Agrupar

⁽¹⁾ NH: Não Homogêneo; H: Homogêneo; ns: não-significativo; *: significativo a 5 %; **: significativo a 1 %. O número subscrito na legenda dos capins corresponde ao intervalo de descanso entre o pastejo e a dessecação dos capins (dias).

A partir dos resultados da tabela 2, obteve-se as curvas da eficiência de dessecação das forrageiras (Figura 7). Pode-se averiguar que a dinâmica de dessecação foi afetada pela espécie forrageira e pelo intervalo de descanso após a saída dos animais do pasto, sendo que o aumento do intervalo entre pastejo e dessecação não afetou o conteúdo de massa seca inicial. As áreas com intervalos de rebrota de 22 e 40 dias diferiram daquelas com 47 e 54 dias que levariam um tempo superior para adquirir o mesmo conteúdo de massa seca. Entre as forrageiras, o capim-Paiaguás apresentou maior conteúdo de massa seca no momento da dessecação e, mesmo assim, necessitou de maior tempo para se transformar em biomassa de cobertura para o SPD.

Na camada de 0,00 a 0,05 m foi possível constatar que no sistema de sucessão milho-soja a Ds (1,11 kg dm⁻³) foi inferior àquelas obtidas na IAP, com valores superiores a 1,30 kg dm⁻³ (figura 8). Houve incremento nas camadas superficiais com os maiores

valores constatados à 0,1 m. A partir desta profundidade, os sistemas avaliados não se diferenciaram e apresentaram valores entre 1,21 e 1,30 kg dm⁻³.

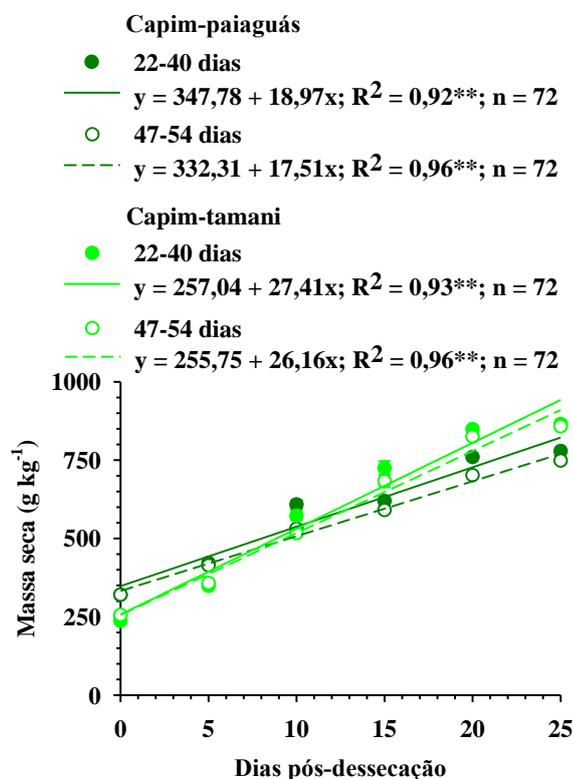


Figura 7. Massa seca de forragem dos capins Paiaguás e Tamani em sistemas de integração agricultura-pecuária e em função do tempo pós-dessecação. **: significativo a 1 %.

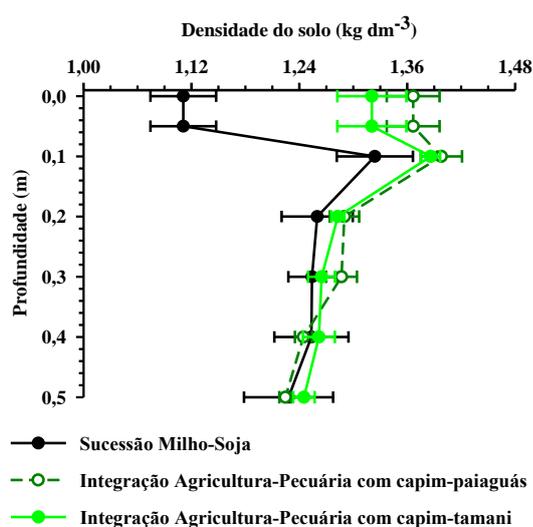


Figura 8. Densidade do solo em decorrência dos sistemas de integração agricultura-pecuária e sistema de sucessão soja-milho cultivados em um Latossolo Vermelho Distrófico. As barras horizontais representam o erro padrão da média. **: significativo a 1 %.

As equações da CRA e CRP com os coeficientes ajustados em função das inter-relações solo, planta e animal estão expostas na Tabela 3. Não foi constatado significância nas equações ($p < 0,01$) da CRA para os sistemas manejo. As equações apresentaram significância para CRP em todos os tratamentos ($p < 0,01$), e os coeficientes e e f foram variáveis. Não foram identificadas interações significativas entre camadas nas CRA e CRP para ambos os sistemas de manejo.

Tabela 3. Coeficientes de ajuste das equações das curvas de retenção de água no solo e de resistência à penetração em função das inter-relações entre solo, planta e animal em sistemas de integração agricultura-pecuária (IAP) e na sucessão soja-milho, em Latossolo Vermelho Distrófico típico.

Curva de retenção de água no solo ¹	
Sucessão soja-milho	
IAP - capim-Paiaguás	$\theta = \exp - 1,6660 + 0,5052 D_s * \Psi - 0,1055$
IAP -m capim-Tamani	
	¹ F= 157,40; p < 0.01; R ² =0.73; n=256
Curva de resistência à penetração ²	
Sucessão soja-milho	$RP = 0,04929 D_s^{4,6305} \theta^{-1,5028}$
IAP - capim-Paiaguás	$RP = 0,04929 D_s^{6,8685} \theta^{-1,1512}$
IAP -m capim-Tamani	$RP = 0,04929 D_s^{7,1332} \theta^{-1,1433}$
	² F= 36,24; p < 0.01; R ² =0.66; n=32

θ (conteúdo de água no solo, $\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$); Ψ (potencial mátrico do solo, kPa); D_s (densidade do solo, kg dm^{-3}); RP (resistência à penetração, MPa). ns: não significativo.

O IHO, utilizado como indicador da sensibilidade das alterações estruturais do solo aos sistemas de manejos adotados, é apresentado na Figura 9. Ao considerar que não houve significância da CRA entre tratamentos e camadas, adotou-se em sua modelagem a amplitude de água disponível para as plantas nos sistemas de cultivo.

Quanto à variação dos limites críticos do IHO para os sistemas de agricultura conservacionistas adotados, constatou-se que a resistência do solo à penetração (RP) crítica a porosidade de aeração (PA) não foram fatores limitantes em nenhum dos sistemas de manejos. O que restringiu o IHO nos tratamentos estudados foi a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP), sendo a amplitude semelhante ao longo dos perfis avaliados.

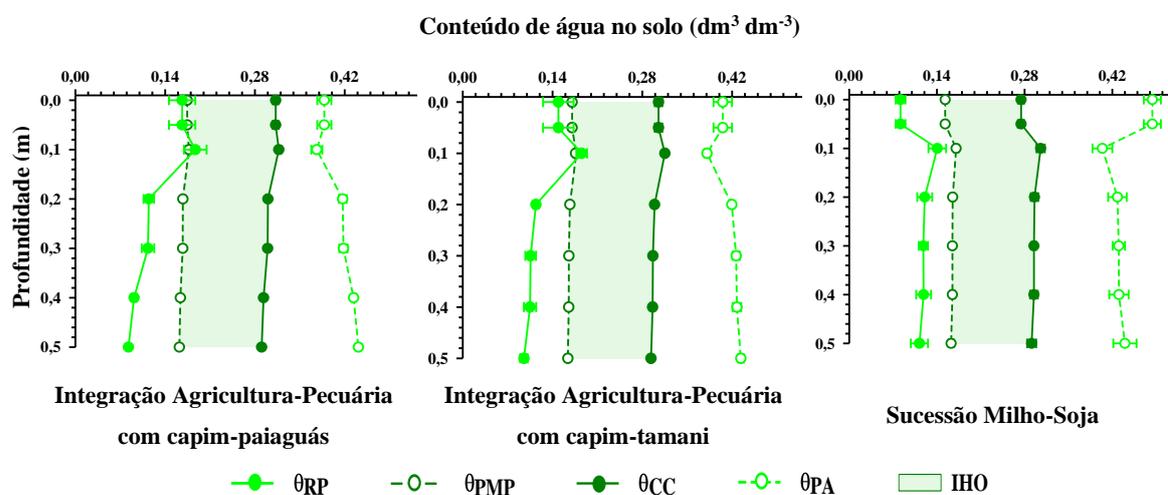


Figura 9: Intervalo hídrico ótimo do Latossolo Vermelho Distrófico em sistemas de integração agricultura-pecuária e sistema de sucessão soja-milho. As barras horizontais representam o erro padrão da média.

Para a população de plantas e os atributos referentes à uniformidade de semeadura da soja na fase agricultura (Figura 10), é possível averiguar que não houve interferência da quantidade de biomassa de cobertura incrementada ao SPD em decorrência do descanso das forrageiras (Figura 5) na implantação da cultura de grãos, apresentando valores semelhantes aos obtidos no sistema agrícola tradicionalmente adotado no Brasil de sucessão soja-milho. A população se encontra dentro do preconizado para a cultivar avaliada, com aproximadamente 225 mil plantas ha^{-1} (Figura 10A) e a distribuição no espaçamento normal (0,085m entre plantas) a cerca de 65% (Figura 10B), plantas duplas (< 0,04m) com 20% (Figura 10C) e falhas na semeadura (> 0,13m) em 15% (Figura 10D). Sendo assim, independentemente do tipo e quantidade de biomassa em cobertura do solo, não houve interferência na operação de semeadura da soja.

A Figura 11 demonstra que a produtividade da soja não foi influenciada pelos períodos de rebrota e pelas espécies forrageiras nas condições em que foram desenvolvidas no experimento, apresentando, porém, superioridade ao rendimento de grãos da soja nas parcelas em sucessão ao milho de 300 kg ha^{-1} . O rendimento médio dos sistemas integrados foi de 5182 kg grãos ha^{-1} , que transformada em unidade comercial padrão no Brasil, sacas (60 kg) ou na unidade de mercado internacional bushel (27,22 kg) para obter produtividade correspondente de 86 ± 2 sacas ou 190 ± 2 bushels. Para o sistema

de sucessão milho-soja, o rendimento foi de 4865 kg ha^{-1} (81 ± 2 sacas ou 178 ± 3 bushels) representando 5 sacas a menos que os sistemas integrados.

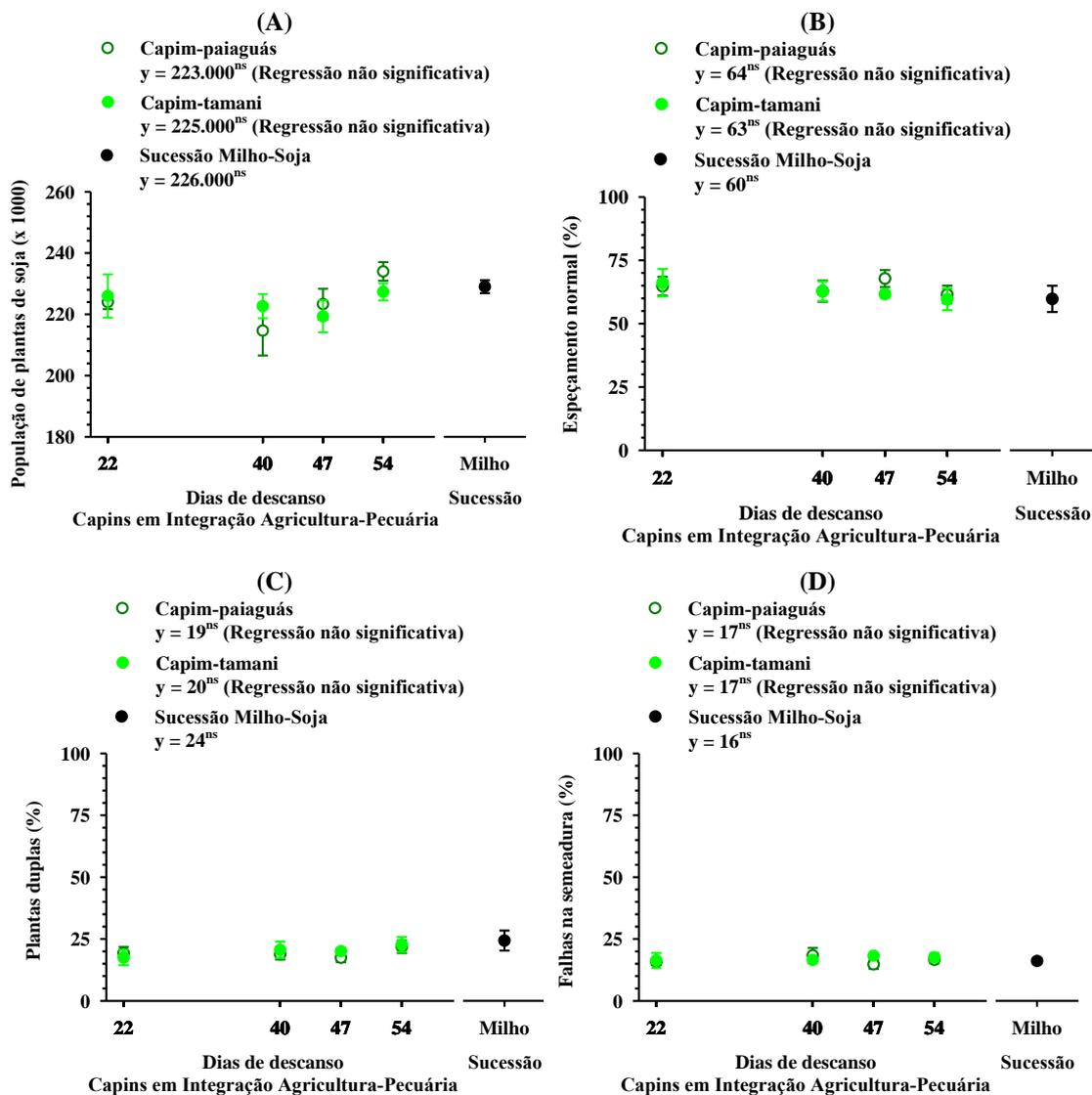


Figura 10. Desempenho de semeadura em decorrência dos sistemas de integração agricultura-pecuária e sistema de sucessão soja-milho. (A) população de plantas; (B) Espaçamento normal entre plantas; (C) plantas duplas e; (D) falhas na semeadura sob a biomassa dos capins Paiaguás e Tamani em função do tempo de rebrota após a retiradas dos animais, e do milho em segunda safra. As barras verticais representam o erro padrão da média. ^{ns}: não significativo.

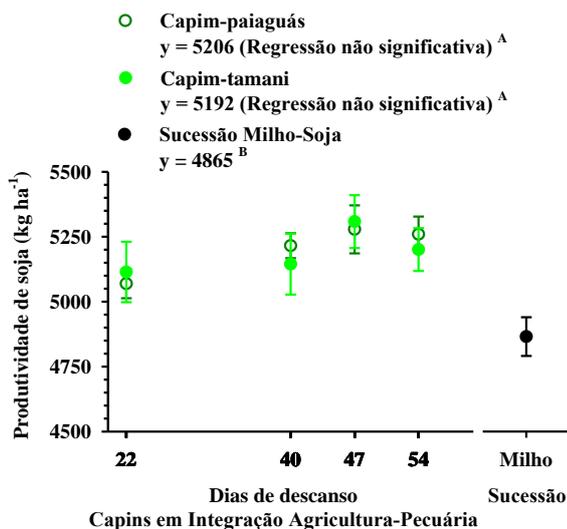


Figura 11. Variável produtiva da fase agrícola: produtividade de grãos de soja (Mg ha^{-1}) sob a biomassa dos capins Paiaguás e Tamani, em função do tempo de rebrota após a retiradas dos animais, e do milho em segunda safra. Médias seguidas de mesma letra não se diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As barras verticais representam o erro padrão da média.

4.4 DISCUSSÃO

Aspectos das plantas forrageiras e desempenho animal em sistemas de integração agricultura-pecuária

O capim-Paiaguás no período de escassez hídrica promoveu maior produção de carne, apresentando máximo GMD de 0,808 kg enquanto o Tamani 0,780 kg no intervalo de 28 e 56 dias. Isto porque, embora apresentando o mesmo desempenho por animal (Figura 4B) o Paiaguás suportou maior quantidade de animais por unidade de área (Tabela 1) decorrentes da maior produção de forragem quando comparado ao capim-Tamani (Figura 4A). Esta forrageira se destaca pela elevada produtividade de perfilhos e folhas pós-pastejo, elevado vigor, boa produção de sementes e alto potencial de produção animal no período seco por seu valor nutritivo, fornecendo alimento em quantidade e qualidade para os animais (Euclides et al., 2016; Linhares et al., 2020).

Cabe ressaltar que, embora apresentando comportamentos semelhantes referentes a capacidade produtiva unitária, à medida que diminuía a disponibilidade de forragem, fazia-se o ajuste da taxa de lotação dos animais, sendo possível observar que o capim-Paiaguás apresentou maior produção de carne por hectare em relação ao capim-Tamani, dada a maior taxa de lotação suportada nesta pastagem durante toda a fase pecuária (Tabela 1) e, desta forma, sendo considerado o mais adequado para esta situação.

O rendimento total de 125,12 kg ha⁻¹ de peso vivo (PV), em contrapartida aos 106,98 kg ha⁻¹ no capim-Tamani e são coerentes às afirmações de Assmann et al. (2017) que relataram diminuição na produção total de bovinos de corte com a diminuição da intensidade de pastagem, mesmo havendo, neste caso, aumento no ganho individual.

É importante destacar que para o capim-Tamani atingir teor de matéria seca (g.kg⁻¹) semelhante ao capim-Paiaguás, seria necessário maior intervalo entre a retirada dos animais e a dessecação para a semeadura da soja, que poderia também não significar aumento no rendimento de grãos. Isto porque a produção de biomassa de cobertura do solo foi considerada satisfatória para as condições climáticas no ano em que o estudo foi conduzido uma vez que a distribuição das chuvas foram regulares, como pode ser observado na Figura 2, dissipando o efeito protetivo da biomassa em cobertura e da mantendo a umidade do solo por maior período. Mesmo assim, a produtividade da soja nesses sistemas foi superior ao da sucessão soja-milho, que será discutido posteriormente.

A oferta de forragem em cada ciclo de pastejo (Figura 4) determinou a taxa de lotação (Tabela 1) e o ajuste quadrático do ganho de peso (Figura 4B), sendo o desempenho animal satisfatório para o período destinado ao pastejo para as duas forrageiras. Isto está relacionado ao elevado valor nutricional destas (Epifanio et al., 2019; Tesk et al., 2020) como demonstrado por Muniz (2020) ao longo do ciclo de pastejo, em que os teores médios de proteína bruta (PB) foram de 12,17 e 12,06% para o Paiaguás e Tamani, respectivamente. Os capins apresentaram, portanto, potencial para engorda de bovinos no período da entressafra agrícola mesmo nas condições de escassez hídrica observadas e que é característica no cerrado brasileiro (Figura 2) e, para Euclides et al. (2016) e Tesk et al. (2020) se deve à adaptabilidade a este clima resultando em elevada capacidade de rebrota e valor nutritivo e neste período.

Ao analisar em conjunto as Figuras 4, 5 e 6, verifica-se que o tempo de permanência dos animais na área pastejada entre 75 e 85 dias, com ponto de máximo em 79 dias, assegurou o máximo ganho da fase pecuária, correspondente a 22% de engorda a pasto por animal e a maior formação de biomassa pela rebrota dos capins em descanso em equilíbrio com o desempenho animal. Este comportamento positivo se dá por volta do mês de agosto, quando a semeadura é realizada nos meses de fevereiro/março e o início do pastejo em maio, sendo que a partir deste momento seu consumo está sendo para a sua manutenção.

Por outro lado, o pastejo pelo por aproximadamente 100 dias, e considerando a necessidade da retirada dos animais com o início da próxima estação chuvosa para

proporcionar rebrota do capim e produção de biomassa de cobertura, promoveu decréscimo no ganho de 1,08% do peso unitário, em função da perda de qualidade e do rendimento total da forragem disponível (Muniz, 2020), corroborando com Silva et al. (2015). Além do mais, a permanência dos animais pode comprometer a formação de biomassa para a semeadura da cultura em sucessão sob SPD. Esta informação é fundamental para o planejamento do sistema de integração pois possibilita ao agricultor a determinação do momento exato de entrada e da saída dos bovinos na área, permitindo as melhores condições da fase pecuária e obtendo rendimentos satisfatórios na cultura de grãos.

Na transição das fases pecuária para agricultura é possível constatar que quanto maior o tempo de descanso dos capins maior a condição de rebrota e, conseqüentemente, a produção de biomassa (Figura 5). Uma maneira prática de avaliação, associada com a retirada dos animais e em concordância com a curva de desempenho (Figura 4) é a relação entre a altura de plantas e a produção de biomassa (Figura 6) que, conforme Assmann et al. (2017), está diretamente associado às intensidades de pastejo. Assim sendo, quanto mais cedo se encerrar a fase pecuária em consonância ao máximo desempenho dos animais, maior será a altura de plantas por ocasião da dessecação para formação de biomassa de cobertura para o SPD.

A superioridade do capim-Paiaguás em relação à altura de plantas e produção de biomassa de cobertura, bem como a maior produtividade animal por área em relação ao capim-Tamani se dá pela maior capacidade de desenvolvimento em período de menor disponibilidade hídrica. Essa forrageira apresenta elevada produção de folhas (Epifanio et al., 2019), que favorece o melhor desempenho animal e formação de biomassa para o sistema de plantio direto (Santos et al., 2020 e Oliveira et al. (2020). Já o capim-Tamani apresenta menor porte, mas com alta proporção de folhas e com colmos finos (Machado et al., 2017).

Cabe salientar que o capim-Tamani após 54 dias de descanso, apresentou-se semelhante ao capim-Paiaguás aos 22 dias de descanso, em termos de altura e produção (Figuras 5 e 6). No maior intervalo de tempo de descanso, o capim-Paiaguás possuía rendimento médio de biomassa de 5890 kg ha⁻¹ enquanto o Tamani 54 dias de 4770 kg ha⁻¹, valores que superam os de Euclides et al. (2016), que avaliando altura de pastejo a 20 e 40 cm do capim-Paiaguás em sistema de integração agricultura-pecuária obtiveram em pré-dessecação, 1930 e 4000 kg ha⁻¹ de MS, respectivamente e que se assemelham aos encontrados por Dias et al. (2020). Estes últimos autores constataram que a

produtividade da soja em sucessão à forrageiras em IAP superaram aos avaliados no sistema tradicional de sucessão milho-soja. Reforça-se esta discussão, as considerações de Muniz (2020) em relação aos atributos de morfogênese dos capins avaliados por ocasião da condução da fase pecuária em que, desde o terceiro ciclo de pastejo (correspondente ao intervalo de 22 e 40 dias - Figura 4) as duas espécies forrageiras apresentaram menor desenvolvimento em resposta fisiológica ao ápice da estação seca, dada a sazonalidade climática na produção forrageira.

Embora o capim-Tamani apresente maior capacidade de rebrota, constatado pelo coeficiente angular da equação de ajuste da biomassa em função do período de descanso após a retirada dos animais dos piquetes (Figura 5B), a maior produção de biomassa proporcionada pelo capim-Paiaguás pode ser atribuída as características morfológicas da planta e ao seu maior porte tornando o processo formação de biomassa de cobertura mais eficiente (Machado e Valle, 2011). O capim-Paiaguás se desenvolve muito bem em solos com resíduos de adubação deixados pela cultura antecessora, sendo, por este motivo, favorecido em sistemas IAP, uma vez que o manejo da adubação é realizado se baseando na obtenção de altos rendimentos das culturas agrícolas. Associada com a tolerância à seca e ao elevado potencial de produção de forragem no período de entressafra em relação aos outros capins (Pereira et al. 2016), tem-se constatado desempenho satisfatório desta forrageira em sistemas integrados de produção agropecuária (Costa et al., 2016; Oliveira et al., 2020), justificando os resultados desta pesquisa.

Outra vantagem do uso das plantas do gênero *Brachiaria* em IAP é persistência da biomassa em decorrência do entouceiramento e da alta quantidade de material lignificado, conferindo alta relação carbono: nitrogênio (C:N) e retardando a decomposição da MS, ao passo que a decomposição da biomassa do capim-Tamani é acelerada (Dias et al., 2020), notadamente pelos colmos finos, internódios curtos e alta produção de folhas (Pereira et al., 2016; Machado et al., 2017).

Vale ressaltar que o capim-Tamani é uma forrageira promissora para sistemas integrados (Dias et al. 2020). Entretanto, o capim-Paiaguás tem apresentado maior destaque em nesse sistema por apresentar melhor velocidade de rebrota e maior resistência a déficit hídrico no período de entressafra (Guarnieri et al., 2019), além do maior rendimento animal por área (Figura 4; Tabela 1) e de promover maior ciclagem de nutrientes notadamente fósforo e potássio, de acordo com Dias et al. (2020) e que juntos correspondem a mais de 19% do custo de produção da cultura da soja em sucessão (Richetti, e Reis, 2003; Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária - Imea,

2020). Pode ainda persistir na superfície do solo por mais de seis meses (Nepomuceno et al., 2017; Santos et al., 2020) e, por todos estes motivos, tem sido considerada a alternativa mais promissora para sistemas conservacionistas integrados de produção agropecuária em regiões de clima tropical.

Dias et al. (2020), conduzindo estudo nesta mesma área no período anterior na safra agrícola 2017/2018, quantificaram tempo de meia-vida de 92 dias para o *Brachiaria brizantha* cv. xaraés e de 72 dias para o capim-Tamani cultivados na fase pecuária antecessora, sendo encontrados 2 vezes mais biomassa na superfície do solo por ocasião da colheita da soja em sucessão, com equivalentes de fertilizantes de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 70 kg ha⁻¹ K₂O na biomassa da *Brachiaria*, em contrapartida a 35 e 45 kg ha⁻¹, respectivamente, na biomassa do capim- Tamani, durante o ciclo de desenvolvimento da soja.

No manejo de transição da fase pecuária para a agricultura, deve-se levar em consideração os aspectos discutidos de produção e persistência da biomassa de cobertura do solo. Os mesmos motivos que tornam o capim-Paiaguás mais vantajoso ao desempenho animal e produção de biomassa de cobertura podem também afetar a sua eficiência de dessecação, necessitando de maior tempo para a morte e desidratação da pastagem, como visualizado na Figura 7.

Na pesquisa desenvolvida por Machado e Valle (2011) durante três anos consecutivos, constataram que o capim-Paiaguás apresentou dessecação mais eficiente que as outras cultivares avaliadas. Isso devido a uma mudança importante nessa forrageira em relação as outras cultivares desta espécie, entretanto, necessita de maior cautela em relação ao Tamani. No entanto, pode haver menor rendimento operacional e uniformidade de operação de semeadura da cultura de grãos, eventuais rebrotas em condições de desuniformidade de aplicação e/ou uso de herbicida em dosagem inferior ao preconizado para esta espécie (Franchini et al., 2014; Franchini et al., 2015; Nepomuceno et al., 2017).

A dinâmica de dessecação das forrageiras apresentaram comportamento diferenciado em todos os intervalos avaliados e para as condições de descanso após a retirada dos animais (Figura 7). É notável que a dessecação do capim-Tamani foi mais eficiente que o capim-Paiaguás, mesmo apresentando maior umidade inicial (coeficientes lineares das curvas de dessecação) e ainda assim, tem-se desidratação mais intensa após a aplicação do herbicida (maiores coeficientes angulares).

Inicialmente o capim-Tamani exibiu maior conteúdo de água e aos 25 dias pós a dessecação manifestou maior incremento de massa seca (> 60%), quando comparado

ao capim-Paiaguás (> 40%). Essa diferença provavelmente está relacionada às características morfofisiológicas de cada forrageira. É importante destacar que o menor intervalo de descanso proporcionou maior percentual de folhas novas e resultando menor quantidade de material lignificado, tornando o processo de dessecação mais eficiente, principalmente quando se tem o pastejo animal, como é o caso deste estudo, no qual os bovinos consomem as folhas mais velhas possibilitando o desenvolvimento dos brotos novos.

Novamente, faz-se necessário considerar a dualidade das fases pecuária e agricultura no sistema integrado. Caso a retirada dos animais da área seja realizada precocemente (com menos de 50 dias de descanso, por exemplo), aumenta-se a quantidade de biomassa de cobertura (Figura 5B) mas compromete o desempenho animal (Figura 4) e ainda aumenta o tempo necessário para formação da biomassa (Figura 7). Em contrapartida, pode favorecer o cultivo agrícola em sucessão pela maior quantidade de resíduos em superfície, que irá manter a umidade do solo (Rossi et al., 2013), notadamente em anos mais secos (Silva et al., 2021), e promover maior ciclagem de nutrientes (Carvalho et al., 2018; Assmann et al., 2017). No entanto, ao considerar os atributos de solo e do cultivo em sucessão é possível estabelecer critérios adicionais de subsídio ao manejo da fase animal. Estes assuntos serão abordados em sequência.

Qualidade física do solo em decorrência do pisoteio animal

A integração agricultura-pecuária proporcionou maiores valores de densidade do solo na camada de 0,05 a 0,10 m em decorrência do pisoteio animal, $1,30 \text{ kg dm}^{-3}$ e $1,37 \text{ kg dm}^{-3}$ respectivamente para as áreas sob pastejo nos capins Tamani e Paiaguás, enquanto na sucessão milho-soja o valor foi de $1,11 \text{ kg dm}^{-3}$ (Figura 8). Resultados semelhantes aos da IAP foram encontrados por Lanzasova et al. (2007), Conte et al., (2011), Bonetti et al. (2015) e Silva et al. (2019b) e reflete o rearranjo de partículas e conseqüentemente no sistema poroso (Santos et al., 2009).

É comum observar em áreas com IAP em SPD a compactação superficial pela pressão aplicada pelos cascos dos animais sobre o solo, sendo os maiores valores de Ds no capim-Paiaguás coerentes à taxa de lotação (Tabela 1) e podendo interferir na produtividade das forrageiras e das culturas graníferas em sucessão, quando da ocorrência em elevada intensidade (Mendonça et al., 2013; Bonetti et al., 2015).

Neste contexto, faz-se necessária a adoção de um indicador de qualidade mais sensível em avaliar a capacidade do solo em fornecer ar e água em proporções adequadas ao pleno desenvolvimento das plantas, como é o caso do IHO (Silva et al., 2021). Se por um lado houve incremento de compactação nas áreas pastejadas, observa-se que esta não representou limitações ao conteúdo de água disponível para as plantas (intervalo entre θ_{CC} e θ_{PMP}) nem pela alta resistência mecânica (θ_{RP}) e nem pela aeração deficiente (θ_{PA}) (Figura 9). Ademais, Severiano et al. (2011) e Silva et al. (2019a) afirmaram que a θ_{PA} não é limitante porque em Latossolos oxídicos do Brasil a estrutura granular predispõe a formação de elevada porosidade, mantida superior a 10% mesmo em níveis elevados de D_s .

Notadamente o IHO foi semelhante para os sistemas de manejo avaliados mesmo com o incremento na D_s nas áreas sob IAP. Neste ponto os sistemas integrados com pastejo no período de entressafra das culturas agrícolas constituem uma vantagem em relação aos sistemas tradicionais por oportunizar o pisoteio em condições de solo seco, decorrente da sazonalidade climática (Figura 2) e, conseqüentemente, com a matriz sólida resistente à deformação (Severiano et al., 2013). Salienta-se que em casos de superlotação e/ou com baixa oferta de forragem há aumento do tempo de pastejo, do número de estações de alimentação e de passos na área (Carvalho et al., 2018), e se combinado a altos conteúdos de água no solo (como é o caso das pastagens em monocultivo) podem disseminar compactação crítica. Esta, por sua vez, gera redução nos rendimentos (Silva et al., 2021) e acelera os processos erosivos (Cavallini et al., 2010).

Ademais, a inserção de capins em áreas com intenso cultivo agrícola deve ser vista como importante serviço ecológico (Silva et al., 2019a; Dias et al., 2020). Segundo Flávio Neto et al. (2015), embora muitos agricultores relutem em adotar sistemas integrados conservacionistas em razão dos possíveis efeitos negativos do pisoteio sobre atributos do solo (Flores et al., 2007), as plantas forrageiras podem apresentar habilidades de descompactação biológica do solo. Mesmo havendo inicialmente incremento na D_s , o desenvolvimento e a produção de raízes em interação com o pisoteio animal, como é o caso dos tratamentos avaliados, ameniza os efeitos deletérios causados à estrutura do solo (Guimarães et al., 2009).

A produção e a demanda de forragem têm como consequência a minimização das alterações estruturais do solo pois, além do resíduo vegetal amortecer o impacto do pisoteio animal, promove a redução da perda de água por evaporação e aumento da sua retenção, mantém a temperatura do solo amena e contribui com as premissas do SPD no

que diz respeito à cobertura vegetal permanente em quantidade (Figura 5) e qualidade (Tormena et al., 2007; Kunz et al., 2013; Bonetti et al., 2015; Ramos et al., 2017; Dias et al., 2020). Além do mais, o pisoteio ocasionado pelos animais em pastejo, com baixa taxa de lotação apesar de alterar qualidade física do solo na camada superficial do solo, geralmente não causa reduções da produtividade da soja (Silva et al., 2019a) ou até mesmo promove incrementos nos rendimentos (Dias et al., 2020).

Uniformidade de semeadura mecanizada em biomassa de cobertura do solo dos capins e milho

A população de plantas de soja semeada em sucessão não foi afetada nem pelo período de descanso e nem pelas forrageiras (Figura 10A), sendo a média geral (228.000 plantas por hectare) considerada adequada para melhor retorno econômico para a cultivar avaliada (M7739 IPRO) semeada no mês de outubro que, segundo Rosa et al. (2014), é de 240 mil plantas ha⁻¹.

Além de não afetar o estande, a presença de biomassa em cobertura promovida pelos capins e nas intensidades proporcionadas pelo descanso após a retirada dos animais também não afetou o arranjo das plantas. A uniformidade na distribuição de plantas de soja nos sistemas de manejo foi de aproximadamente 65% (Figura 10B) e pode ser considerada regular de acordo com a classificação proposta por Tourino e Klingensteiner (1983).

Para Mantovani et al. (2015) a distribuição de plantas adequada é aquela em que ocorre a mínima diferença entre a quantidade de plantas previstas no planejamento e as que emergiram pois desta forma diminui a competição entre plantas, potencializa o uso dos recursos de produção e proporciona aumentos dos rendimentos. Por outro lado, há ainda resistência quanto à utilização de sistemas integrados de produção dada as condições de superfície que, por sua vez, são afetadas pela quantidade, qualidade e umidade da biomassa de cobertura por ocasião da semeadura (Correia et al., 2014). Assim, caso o manejo de dessecação não seja eficiente é provável a ocorrência de embuchamento da semeadora que, conseqüentemente, resultaria numa menor uniformidade do plantio. Este fato não ocorreu neste estudo, podendo então ser considerado satisfatória a transição das fases pecuária para agricultura.

O intervalo de 25 dias entre a aplicação do herbicida e a semeadura da soja foi adequado por não representar empecilhos ao estabelecimento e uniformidade da semeadura e, considerando o teor mínimo de matéria seca nas forrageiras avaliadas

(Figura 7), sugere-se que os capins avaliados com umidade inferior a 25% não interferiram no desempenho da semeadora mecanizada. Este intervalo foi superior ao recomendado por Nepomuceno et al. (2012) para a *B. ruziziensis* manejada com glyphosate compreendido entre 10 e 20 dias e pode ser justificado pela maior lignificação das espécies avaliadas em nosso estudo. Franchini et al. (2014) argumentam que intervalos de 8 a 35 dias após dessecação de *Brachiaria ruziziensis* não alteram o desempenho agrônomo da soja, mas com o aumento do intervalo há melhoria no corte da palhada pelos discos da semeadora, tornando o processo de germinação e emergência eficaz pela menor incorporação da biomassa no solo e redução da quantidade de sementes expostas.

Corroborando com esta informação, Dias et al. (2020) avaliando o desempenho agrônomo da soja semeada 14 dias após a dessecação da biomassa de espécies de *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria ruziziensis* e *Panicum maximum* (inclusive para o capim-Tamani) dessecado 45 dias após a retirada dos animais dos piquetes, relataram que não houve interferência de nenhuma das espécies no que se refere a embuchamento da semeadora, patinação do conjunto trator/implemento e uniformidade de plantio, e foi associado ao manejo de dessecação adequado para as espécies estudadas, monitorado por meio das respostas fisiológicas dos capins aos herbicidas utilizados.

Conforme considerações de Rosa et al. (2014), a distribuição desuniforme da semente é um problema que pode ocorrer, dentre outros, do conjunto máquina-implento bem como das condições da cama de semeadura (cobertura em superfície e camadas mais superficiais do solo). Desta forma, a biomassa produzida pelas forrageiras não foi considerada fator limitante para a implantação da cultura da soja em sucessão, independente do período de pastejo e/ou intervalo de descanso para rebrota, por ter respeitado o tempo de dessecação. Ademais, Franchini et al. (2015) relataram que o manejo animal adequado na fase pecuária afeta o conteúdo de biomassa no solo, mas em caso de sub pastejo esta atua como barreira física dificultando a ação dos mecanismos de abertura de sulco de semeadura e comprometendo a deposição de sementes em profundidades apropriadas para emergência das plantas.

A presença de cobertura vegetal é primordial para conservação do solo por reduzir os impactos de gotas de chuvas na superfície do solo e diminuir a perda de água por evaporação e de solo por erosão. As raízes das forrageiras proporcionam a descompactação biológica do solo por meio da decomposição do sistema radicular (Flávio Neto et al., 2015; Silva et al., 2019a), formando canais que auxiliam na percolação de água e penetração das raízes da cultura sucessora. Por outro lado, com a semelhança

na uniformidade de sementeira da soja sob a biomassa produzida pelas forrageiras com a do milho, torna-se importante avaliar a condição de estresse hídrico, principalmente em condições de cerrado, com destaque para o capim-Paiaguás que foi capaz de produzir maior quantidade de biomassa.

Rendimento de soja e serviços ecológicos em sistemas de integração agricultura-pecuária e no sistema tradicional de sucessão soja-milho

A produtividade de grãos foi semelhante para a soja semeada sob biomassa do capim-Paiaguás e do capim-Tamani, independente da condição de rebrota pós-pastejo e constatando superioridade em relação ao sistema tradicional de sucessão milho-soja em SPD e aproximadamente de 5 sacas por hectare (Figura 11), mesmo com a adequada distribuição pluviométrica ocorrida durante o ciclo da cultura (Figura 2). O rendimento médio de grãos foi cerca de 5000 kg ha⁻¹, superior aos resultados encontrados por Krutzmann et al. (2013), com média de 3840 kg ha⁻¹ em sementeira de soja sob cobertura do gênero *Brachiaria*, por Barbero et al. (2017) de 2940 kg ha⁻¹ em sistema de plantio direto sob biomassa de sorgo + *ruziziensis* e por Dias et al. (2020), de aproximadamente 4714 kg ha⁻¹ em IAP sob biomassa de *Brachiaria brizantha*, de 4274 kg ha⁻¹ na área sob o capim-Tamani de 3492 kg ha⁻¹ no sistema tradicional, na safra anterior (2017/2018) da mesma estudada.

Esta superioridade encontrada em nosso estudo e em concordância aos resultados de literatura podem ser ainda maiores em condições de escassez de chuvas que, por sinal, é muito comum na agricultura brasileira (Costa et al., 2016; Oliveira et al., 2020) e enaltece o efeito os sistemas integrados de produção agropecuária, tanto pela maior quantidade de biomassa de cobertura na superfície do solo (Figuras 5 e 6) quanto pelo dinamismo das plantas forrageiras na estrutura do solo (Silva et al., 2014) e na ativação biológica incrementada pela biomassa vegetal e excrementos dos animais (Assmann et al., 2017). Dentre as vantagens da IAP, destaca-se ainda que a mobilização do solo restrita à linha de sementeira e a constante renovação de raízes favorecem o desenvolvimento de bioporos que contribuem para infiltração de água e a melhoria das condições hídricas do solo (Flávio Neto et al., 2015), além da proteção das plantas contra insolação e a mitigação a erosão do solo (Costa et al., 2015). A cobertura dessas forrageiras reduz o processo de evapotranspiração em dias de temperaturas elevadas, resultando em maiores estoques de água no solo por tempo mais prolongado, atenuando

a temperatura do solo pelo efeito da biomassa e os maiores teores de água na superfície (Martorano et al., 2009).

Outro ponto positivo é a produção de um importante serviço ecológico que é a descompactação biológica do solo proporcionada pelo sistema radicular agressivo das plantas forrageiras, em contrapartida ao pisoteio animal, principalmente decorrente da redução da RP (Figura 9; Silva et al., 2019a). É considerada recuperação edáfica por favorecer o ciclo hidrológico (infiltração e recarga de água subterrânea), bem como a busca de água em profundidade pela cultura sucessora em períodos de veranicos (Silva et al., 2014; Flávio Neto et al., 2015). Ao se decompor, a biomassa das forrageiras favorece ainda o acúmulo de matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes (Costa et al., 2016; Dias et al., 2020) que retornam ao solo melhorando sua fertilidade e que potencialmente suplementam a adubação da soja, resultando em maior produtividade (Ryschawy et al., 2017; Oliveira et al., 2020). Sustentando essa informação, Assmann et al. (2017) salientam que em sistemas integrados o excedente de K e P liberados dos resíduos de pastagem e do esterco bovino são elevados mesmo quando o balanço do solo aparece negativo, devendo serem considerados no manejo da fertilização do sistema conservacionista. Machado et al. (2017) declararam que as raízes abundantes e profundas das gramíneas permite que as plantas em sucessão explorem maior volume de solo e tenham maior capacidade de absorção de água mesmo sendo uma planta com raiz pivotante como a soja.

É relevante destacar também o papel dessas forrageiras no sequestro do dióxido de carbono atmosférico e na manutenção do estoque de carbono no solo que minimizam o efeito estufa antrópico, notadamente nos primeiros 30 centímetros de profundidade do solo em que os valores de carbono superam os da vegetação e a atmosfera. Além do mais, a IAP reduz o consumo de combustível entre 60 a 70% em comparação ao cultivo convencional, evitando a emissão de gases de efeito estufa em comparação ao cultivo convencional de sucessão soja/milho, por exemplo (Carvalho; Cerri; Cerri, 2009).

4.5 CONCLUSÕES

Os capins Paiaguás e Tamani foram capazes de suprir as necessidades nutricionais dos animais no período da entressafra de grãos, com desempenho superior do capim-Paiaguás, não pelo desempenho por unidade animal, mas pela maior lotação que essa forrageira suportou em toda entressafra.

O pastejo por mais de 80 dias reduziu o peso dos animais e comprometeu a rebrota dos capins, e, conseqüentemente, a produção de biomassa em cobertura para o sistema de plantio direto. Neste último quesito o capim-Paiaguás também se destacou, no entanto, podendo necessitar de mais tempo para dessecação.

Nas condições de estudo, estando a biomassa de cobertura do solo oriunda dos sistemas integrados com umidade inferior a 25% não houve interferência na semeadura mecanizada de soja em sucessão quando comparado ao sistema tradicional de sucessão milho/soja, independente da espécie cultivada ou do intervalo de descanso após o término do ciclo da pecuária.

As áreas com pisoteio animal apresentaram compactação do solo na camada superficial. No entanto, nas condições experimentais, a pluviosidade havia cessado e por conseguinte esta não comprometeu as funções ecológicas do solo, e, conseqüentemente, a produtividade da cultura da soja.

O capim-Paiaguás se destacou com maior potencial de produção agropecuária, proporcionando maior desempenho animal e quantidade de biomassa de cobertura. Contudo, independente da planta forrageira avaliada, o rendimento de grãos de soja nos sistemas integrados superou o sistema tradicional. A IAP consiste, portanto, em alternativa viável economicamente por possibilitar em uma mesma área a produção de forragem, a engorda animal na entressafra e biomassa de cobertura para a cultura agrícola, além dos benefícios ambientais associados à conservação do solo e água e a intensificação do uso da terra.

4.6 REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de norma 04:015.06-004 - semeadoras de precisão: ensaio de laboratório - método de ensaio. São Paulo, 1994. 26 p.

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Moraes Gonçalves, J.L., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorol. Zeitschrift 22, 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

Aranha, H.S., Andrighetto, C., Lupatini, G.C., Bueno, L.G.F., Trivelin, G.A., Mateus, G.P., Luz, P.A.C., Santos, J.M.F., Sekiya, B.M.S., Vaz, R.F., 2019. Produção e conforto térmico de bovinos da raça Nelore terminados em sistemas integrados de produção agropecuária. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 71, 1686-1694. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-9913>.

Araújo, M. A., Tormena, C. A., Silva, A. D., 2004. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. Revista Brasileira de Ciência do solo, 28, 337-345. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000200012>.

Assmann, J.M., Martins, A.P., Anghinoni, I., Denardin, L.G.O., Nichel, G.H., Costa, S.E.G.A., Silva, R.A.P., Balerini, F., Carvalho, P.C.F., Franzluebbbers, A.J., 2017. Phosphorus and potassium cycling in a long-term no-till integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities insubtropics. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 108, 21-33. <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-016-9818-6>

Barros, J.S., Meirelles, P.R.L., Gomes, V.C., Pariz, C.M., Fachiolli, D.F., Santana, E.A.R., Gomes, T.G.J., Castilhos, A.M., Souza, D.M., 2019. Valor nutritivo do capim-xaraés em três intensidades luminosas. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 71, 1703-1711. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10801>.

Bernardo, S., Soares, A.A., Mantovani, E.C. Manual de irrigação. 8.ed. Viçosa: UFV, 2008, 625p.

Bonetti, J.A., Paulino, H.B., Souza, E.D., Carneiro, M.A.C., Silva, G.N., 2015. Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. 2015. Pesquisa Agropecuária Tropical, 45, 104-112. <https://www.redalyc.org/pdf/1802/180229291026.pdf>.

Busscher, W.J., 1990. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. Transactions of the ASAE, 33, 519–524. doi: [10.13031/2013.31360](https://doi.org/10.13031/2013.31360).

Carvalho, J.L.N., Cerri, C.E.P., Cerri, C.C., 2009. SPD aumenta o sequestro de carbono pelo solo. Visão agrícola, 9, 132-. <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA9-Ambiente01.pdf>.

Carvalho, P.C.D.F., Peterson, C.A., Nunes, P.A.D.A., Martins, A.P., Souza Filho, W., Bertolazi, V.T., Kunrath, T.R., Moraes, A., Anghinoni, I., 2018. Animal production and soil characteristics from integrated crop-livestock systems: toward sustainable intensification. Journal of Animal Science, 96, 3513-3525. <https://doi.org/10.1093/jas/sky085>.

Cavallini, M.C., Andreotti, M., Oliveira, L. L., Pariz, C.M., Carvalho, M.P., 2010. Relações entre produtividade de Brachiaria brizantha e atributos físicos de um Latossolo do Cerrado. Ciência do solo, 34, 1007-1015. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400001>

Chioderoli, C.A., Mello, L.M.M., Grigolli, P.J., Furlani, C.E.A., Silva, J.O.R., Cesarin, A.L., 2012. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. Engenharia Agrícola e Ambiental, 16, 37–43. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000100005>.

Conte, O., Flores, J.P.C., Cassol, L.C., Anghinoni, I., Carvalho, P.C.D.F., Levien, R., Wesp, C.D.L., 2011. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 46, 1301-1309. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000026>.

Correia, T.P.S., Silva, P.R.A., Sousa, S.F.G., Tavares, L.A.F., Paludo, V., 2014. Deposição e danos mecânicos em sementes de sorgo utilizando um mecanismo dosador de fluxo contínuo em ensaio de bancada. *Energia na agricultura* 29, 22-26. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2014v29n1p22-26>.

Costa, R.R.G.F., Costa, K.A.P., Santos, C.B., Severiano, E.C., Epifanio, P.S., Silva, J.T., Teixeira, D.A.A., Silva, V.R., 2016. Production and nutritional characteristics of peral millet and Paiaguas palisadegrass under different forage systems and sowing periods in the offseason. *African Journal of Agricultural Research*, 11, 1712-1723. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.10902>.

Costa, N.R., Andreotti, M., Lopes, K.S.M., Yokobatake, K.L., Ferreira, J.P., Pariz, C.M., Bonini, C.S.B., Longhini, V.Z. 2015. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39, 852-863. <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20140269>.

Dias, M.B.C., Costa, K.A.P., Severiano, E.C., Bilego, U.O., Flavio Neto, A.E., Almeida, D.P., Furtini Neto, A.E., Almeida, D.P., Vilela, L., 2020. *Brachiaria* and *Panicum maximum* in an integrated crop–livestock system and a second-crop maize system in succession with soybean. *The Journal of Agricultural Science*, 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859620000532>.

Euclides, V.P.B., Montagner, D.B., Barbosa, R.A., Valle, C.B.D., Nantes, N.N., 2016. Animal performance and sward characteristics of two cultivars of *Brachiaria brizantha* (BRS Paiaguás and BRS Piatã). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 3, 85-92. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902016000300001>.

Epifanio, P.S.; Costa, K.A.P.; Severiano, E.C.; Souza, W.F., Teixeira, D.A.A.; Silva, J.T.; Aquino, M.M., 2019. Productive and nutritional characteristics of *Brachiaria brizantha* cultivars intercropped with *Stylosanthes* cv. Campo Grande in different forage systems. *Crop & Pasture Science*, 70, 718-729. <https://doi.org/10.1071/CP18447>.

Ferreira, D.F., 2011. SISVAR: a computer statistical analysis system. *Ciência agrotecnologia*, 35, 1039-1042. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.

Ferreira, M.M., Marcos, Z.Z., 1983. Estimativa da capacidade de campo de Latossolo Roxo distrófico e regossolo através do ponto de inflexão da curva característica de umidade. *Ciência e Prática*, 7, 96-101.

Ferreira, C.J.B., Tormena, C.A., Severiano E.C., Zotarelli, L., Betioli Júnior E., 2020. Soil compaction influences soil physical quality and soybean yield under long-term no-tillage. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 1-14. DOI: [10.1080/03650340.2020.1733535](https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1733535).

Flávio Neto, J., Severiano, E.C., Costa, K.A.P., Guimarães Júnnyor, W.S., Gonçalves, W.G., Andrade, R., 2015. Biological soil loosening by grasses from genus *Brachiaria* in crop-livestock integration. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 37, 375–383. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v37i3.19392>.

Flores, J.P.C., Anghinoni, I., Cassol, L.C., Carvalho, P.C.F., Leite, J.G.D.B., Fraga, T.I., 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. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000400017>.

Franchini, J.C., Balbinot Junior, A.A., Debiasi, H., Conte, O., 2015. Desempenho da soja em consequência de manejo de pastagem, época de dessecação e adubação nitrogenada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50, 1131-1138. DOI: [10.1590/S0100-204X2015001200002](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015001200002).

Franchini, J.C., Balbinot Junior, A.A., Debiasi, H., Procópio, S.D.O., 2014. Intercropping of soybean cultivars with *Urochloa*. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 44, 119-126. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632014000200007>.

Grable, A.R., Siemer, E.G., 1968. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potencial and elongation of corn roots. *Soil Science Society of America Journal*, 32, 180–186. <https://doi.org/10.2136/sssaj1968.03615995003200020011x>

Guarnieri, A., Costa, K.A.P., Severiano, E.C., Silva, A.G., Oliveira, S.S., Santos, C.B., 2019. Agronomic and productive characteristics of maize and Paiaguas palisadegrass in integrated production systems. *Semina: Ciências Agrárias*, 3, 1185-1198. [DOI: 10.5433/1679-0359.2019v40n3p1185](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n3p1185)

Guimarães, R.M.L., Tormena, C.A., Alves, S.J., Fidalski, J., Blainski, É., 2009. Tensile strength, friability and organic carbon in an oxisol under a crop-livestock system. *Scientia Agricola*, 66, 499-505. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162009000400011>

Imea-MT. Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária. Custo de produção da safra 2020/21.

Kaiser, D.R., Reinert, D.J., Reichert, J.M., Collares, G.L., Kunz, M. 2009. Intervalo Hídrico Ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um latossolo sob diferentes níveis de compactação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33, 845-855, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000400009>

Krutzmann, A., Cecato, U., Silva, A.P., Tormena, C.A., Iwamoto, B.S., Martins, E.M., 2013. Palhadas de gramíneas tropicais e rendimento da soja no sistema de integração lavoura-pecuária. *Bioscience Journal*, 29, 842-851. <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/15043/12889>.

Kunz, M., Gonçalves, A.D.M., Reichert, J.M., Guimarães, R.M.L, Reinert, D.J., Rodrigues, M.F., 2013. Compactação do solo na integração soja-pecuária de leite em Latossolo argiloso com semeadura direta e escarificação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37, 1699-1708. <https://www.redalyc.org/pdf/1802/180229291026.pdf>

Lanzanova, M.E., Silveira N., R., Lovato, T., Eltz, F.L.F., Amado, T.J.C., Reinert, D.J., 2007. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 31, 1131-1140. <https://www.redalyc.org/pdf/1802/180214062028.pdf>.

Leão, T.P., 2019. Water retention and penetration resistance equations for the least limiting water range. *Scientia Agricola*, 76, 172-178. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2017-0280>.

Lima, R.P., Tormena, C.A., Figueiredo, G.C., Silva, A.R., Rolim, M.M., 2020. Least limiting water and matric potential ranges of agricultural soils with calculated physical restriction thresholds. *Agricultural Water Management*, 240, 106299. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106299>.

Linhares, A.J.S., Gonçalves, W.G., Cabral, S.M., 2020. Soil compaction affects the silage quality of sunflower and Paiaguas palisadegrass (*Brachiaria brizantha*) grown on a Latosol in the Brazilian savanna. *Australian Journal Crop Science*, 14, 1121-1130. doi: [10.21475/ajcs.20.14.07.p2294](https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.07.p2294).

Lopes, M.L.T., Carvalho, P.C.D.F., Anghinonim I., Santos, D.T.D., Aguinaga, A.A.Q., Flores, J.P.C., Moraes, A.D., 2009. Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. *Ciência Rural* 39, 1499-1506. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000096>.

Machado, L.A.Z., Valle, C.B.D., 2011. Desempenho agrônômico de genótipos de capim-braquiária em sucessão à soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46, 1454-1462. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001100006>.

Machado, L.A.Z., Cecato, U., Comunello, E., Concenço, G., Ceccon, G., 2017. Establishment of perennial forages intercropped with soybean for integrated crop-livestock systems. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 52, 521-529. DOI: [10.1590/S0100-204X2017000700006](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000700006).

Mantovani, E.C., Cruz, J.C., Oliveira, A.C., 2015. Avaliação em campo de uma semeadora-adubadora para semeadura de milho de alta densidade. *Milho e Sorgo* 14, 38-48. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v14n1p38-48>.

Martorano, L. G., Bergamaschi, H., Dalmago, G. A., Faria, R. T. D., Mielniczuk, J., Comiran, F., 2009. Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13, 397-405. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000400005>.

Mendonça, V.Z.D., Mello, L.M.M.D., Andreotti, M., Pereira, F.C.B.L., Lima, R.C., Valério Filho, W.V., Yano, E.H., 2013. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras e milho em sucessão com soja em região de cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37, 251-259. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000026>.

Mello, C.R., Oliveira, G.C., Resck, D.V.S., Lima, J.M., Dias Junior, M.S., 2002. Estimativa da capacidade de campo baseada no ponto de inflexão da curva característica. *Ciência agrotecnologia*, 26, 836-841. https://www.researchgate.net/publication/292767920_Estimativa_da_capacidade_de_campo_baseada_no_ponto_de_inflexao_da_curva_caracteristica.

Moraes, M. T. D., Debiasi, H., Carlesso, R., Franchini, J. C., Silva, V. R. D., 2014. Critical limits of soil penetration resistance in a rhodic Eutrudox. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38, 288-298. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100029>.

Mott, G.O., Lucca, H.L., 1952. The design conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In *International grassland congresso*, 6, 1380-1395.

Muniz, M. P., 2020. Sucessão de forrageiras após a soja, desempenho de bovinos e produção de biomassa em sistema de integração lavoura-pecuária. Dissertação. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde/Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias – Agronomia.

Nepomuceno, M., Chinchilla, N., Varela, R.M., Molinillo, J.H., Lacret, R., Alves, P.L., Macias, F.A., 2017. Chemical evidence for the effect of *Urochloa ruziziensis* on glyphosate-resistant soybeans. *Pest Management Science* 73, 2071-2078. <https://doi.org/10.1002/ps.4578>.

Nepomuceno, M., Varela, R.M., Alves, P.L.C.A., Martins, J.V.F., 2012. Períodos de dessecação de *Urochloa ruziziensis* e seu reflexo na produtividade da soja RR. Planta Daninha 30, 557-565. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582012000300011>.

Oliveira, I.P., Costa, K.A.D.P., Assis, R.L., Severiano, E.C., Dias, M.B.D.C., Santos, C.B., 2020. Agronomic characteristics of soybean under the production and decomposition of sunflower and Paiaguas Palisadegrass biomass in different integrated production systems. Australian Journal of Crop Science, 14, 788-794. [doi: 10.21475/ajcs.20.14.05.p2229](https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.05.p2229).

Passos, R.R., Costa, L.M., Assis, I.R., Santos, D.A., Ruiz, H.A., Guimarães, L.A.D.O. P., Andrade, F.V., 2017. Least limiting water range of Udox soil under degraded pastures on different sun-exposed faces. International Agrophysics, 31, 393-400. DOI: <https://doi.org/10.1515/intag-2016-0066>.

Pereira, A., Paciullo, D., Gomide, C.D.M., Ledo, F.D.S., 2016. Catálogo de forrageiras recomendadas pela Embrapa. Brasília: Embrapa Gado de Leite, 78. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1048272/catalogo-de-forrageiras-recomendadas-pela-embrapa>.

Ramos, M. R, Dedecek, R. A., Silva, T. R., Freire, T. M., 2017. Atributos Físicos do Solo no horizonte superficial em diferentes usos. Agri-Environmental Sciences, 3, 37-41. <https://revista.unitins.br/index.php/agri-environmental-sciences/index>.

Richetti, A., Reis, R.P., 2003. The soybean production frontier and economic efficiency in Mato Grosso do Sul, Brazil. Revista de Economia e Sociologia Rural, 41, 153-168. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032003000100003>.

Rosa, D.P., Toniasso, A.M., Santos, C.C., Pagnussat, L., Alflem, J., Bruinsma, M.L., 2014. Distribuição de sementes com a tecnologia Rampflow. Agronomia e Veterinária 1, 37-46. https://www.getulio.ideau.com.br/wpcontent/files_mf/11f6334e30ba624882b57c4d4d593119196_1.pdf.

Rossi, C.Q., Pereira, M.G., Giácomo, S.G., Betta, M., Polidoro, J.C., 2013. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de braquiária, sorgo e soja em áreas de plantio direto no cerrado goiano. *Semina: Ciências Agrárias*, 34, 1523-1534. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n4p1523>.

Ryschawy, J., Martin, G., Moraine, M., Duru, M., Therond, O., 2017. Designing crop-livestock integration at different levels: toward new agroecological models. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 108, 5-20. [DOI 10.1007/s10705-016-9815-9](https://doi.org/10.1007/s10705-016-9815-9).

Salton, J.C., Mercante, F.M., Tomazi, M., Zanatta, J.A., Concenço, G., Silva, W.M., Retore, M., 2014. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agric. Ecosyst. Environ.* 190, 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.023>.

Sant'Anna, S.A.C., Jantalia, C.P., Sá, J.M., Vilela, L., Marchão, R.L., Alves, B.J.R., Urquiaga, S., Boddey, R.M., 2017. Changes in soil organic carbon during 22 years of pastures, cropping or integrated crop/livestock systems in the Brazilian Cerrado. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 108, 101–120. [DOI 10.1007/s10705-016-9812-z](https://doi.org/10.1007/s10705-016-9812-z).

Santos, L.N.S., Passos, R.R., Cardoso, L.C.M., Santos, C.L., Garcia, G.O., Cecílio, R.A., 2009. Avaliação de atributos físicos de um latossolo sob diferentes coberturas vegetais em Alegre (ES). *Engenharia Ambiental*, 6, 140-149. <https://www.researchgate.net/publication/237436121>.

Santos, C. B., Costa, K. A. P., Souza, W. F., Silva, A. G., Silva, V. C., Oliveira, I. R., Brandstetter, E. V., 2020. Intercropping of sorghum with Paiaguas palisadegrass in a crop-livestock integration system for pasture recovery. *Australian Journal of Crop Science*, 7, 1072-1080. [doi: 10.21475/ajcs.20.14.07.p2216](https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.07.p2216)

Severiano, E.C., Oliveira, G.C., Dias Júnior, M.S., Costa, K.A.P., Silva, F.G., Ferreira Filho, S.M., 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. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000300013>.

Severiano, E.C.; Oliveira, G.C.; Dias Junior, M.S.; Oliveira, L.F.C.; Castro, M.B., 2008. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais do solo em decorrência das operações de colheita da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32, 1419-1427. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400006>.

Severiano, E.C., Oliveira, G.C., Dias Junior, M.S., Curi, N., Costa, K.A.P., Carducci, C.L., 2013. Preconsolidation pressure, soil water retention characteristics, and texture of Latosols in the Brazilian Cerrado. *Soil Research*, 51, 193–202. <http://dx.doi.org/10.1071/SR12366>

Silva, A.P., Kay, B.D., Perfect, E., 1994. Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 1775-1781. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9534388>.

Silva, A.G., Assis, R. L., Oliveira, C.A.A., Ferreira, C.J.B., Teixeira, I.R., Almeida, K.D.L., Carmo, E.L., 2019b. Variabilidade Dos Atributos Físicos do Solo e Dinâmica da Palhada em Sistema Integração Lavoura-Pecuária No Cerrado. *Milho e Sorgo*, 429-440. <http://www.abms.org.br>.

Silva, J.F.G., Gonçalves, W.G., Costa, K.A.P., Flavio Neto, J., Brito, M.F., Silva, F.C., Severiano, E.C., 2019a. Crop-livestock integration and the physical resilience of a degraded Latosol. *Semina: Ciências Agrárias*, 40, 2973-2990. [DOI: 10.5433/1679-0359.2019v40n6Supl2p2973](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n6Supl2p2973).

Silva, J.F.G., Severiano, E.C., Costa, K.A.P., Benites, V.D.M., Guimarães Júnnyor, W.S., Bento, J.C., 2014. Chemical and physical-hydric characterisation of a red latosol after five years of management during the summer between-crop season. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38, 1576-1586. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000500023>.

Silva, L.C.R.P., Zervoudakis, J.T., Cabral, L.S, Hatamoto-Zervoudakis, L.K., Silva-Marques, R.P., Koscheck, J.F.W., Oliveira, A.A., 2015. Desempenho produtivo e econômico de novilhas Nelore suplementadas no período de transição seca-águas.

Semina: Ciências Agrárias 36, 2235-2245. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n3Supl1p2235>.

Silva, S., Costa, K.A.P., Severiano, E.C., Silva, A., Dias, M., Oliveira, G., Costa, J.V., 2021. Performance of Grain Sorghum and Forage of the Genus Brachiaria in Integrated Agricultural Production Systems. 10, 1-13. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111714>

SiBCS. Sistema Brasileiro de Classificação do Solo. 5^a ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 355p.

Snedecor, G.W., Cochran, W.G., 1989. Statistical methods. 8. ed. Ames: Iowa State University, 503.

Soares, D., Ramos, M.L.G., Marchão, R.L., Maciel, G.A., Oliveira, A.D., Malaquias, J.V., Carvalho, A.M., 2019. How diversity of crop residues in long-term no-tillage systems affect chemical and microbiological soil properties. Soil & Tillage Research, v. 194, 104-316. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104316>.

Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., Teixeira, W. G., 2017. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Embrapa. 573p. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085209>.

Sousa, D.M.G., Lobato, E. (Ed.). Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. 416p.

Tollefson, J., 2010. The Global Farm. Nature 466, 554-556.

Tormena, C.A., Araújo, M.A., Fidalski, J., Costa, J.M., 2007. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31, 211-219. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000200003>.

Tormena, C.A., Silva, A.D., Libardi, P.L., 1998. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 22, 573-581. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/78628/1/v22n4a02-2.pdf>.

Tourino, M.C.C., Klingensteiner, P., 1983. Ensaio e avaliação de semeadoras-adubadoras. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: UFRRJ, 2, 103-116.

Vilela, L., Martha Junior, G.B., Marchão, R.L., 2012. Integração lavoura-pecuária-floresta: alternativa para intensificação do uso da terra. *Revista UFG*, 13, 92-99. <https://core.ac.uk/download/pdf/45520322.pdf>.

Tesk, C.R.M., Cavalli, J., Pina, D.S., Pereira, D.H., Pedreira, C.G.S., Jank, L., Sollenberger, L.E., Pedreira, B.C., 2020. Herbage responses of Tamani and Quênia guineagrasses to grazing intensity. *Agronomy Journal*, 3, 2081-2091. <https://doi.org/10.1002/agj2.20189>.