

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E  
TECNOLOGIAGOIANO - CAMPUS RIO VERDEPROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA

**SUCCESSÃO DE FORRAGEIRAS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO  
LAVOURA-PECUÁRIA E MILHO NA SEGUNDA SAFRA**

Autora: Mariane Porto Muniz  
Orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Kátia Aparecida de Pinho Costa  
Coorientador: Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano  
Coorientador: Prof. Dr. Marcos Alberto Lana

RIO VERDE - GO  
Abril 2020

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

**SUCESSÃO DE FORRAGEIRAS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO  
LAVOURA-PECUÁRIA E MILHO NA SEGUNDA SAFRA**

Autora: Mariane Porto Muniz  
Orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Kátia Aparecida de Pinho Costa  
Coorientador: Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano  
Coorientador: Prof. Dr. Marcos Alberto Lana

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 Sustentável no Cerrado.

Rio Verde - GO  
Abril 2020

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

M966s Muniz, Mariane Porto  
SUCESSÃO DE FORRAGEIRAS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO  
LAVOURA-PECUÁRIA E MILHO NA SEGUNDA SAFRA / Mariane  
Porto Muniz; orientadora Kátia Aparecida de Pinho  
Costa; co-orientador Eduardo da Costa Severiano. --  
Rio Verde, 2020.  
56 p.

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

1. capim-paiaguás. 2. capim-tamani. 3. ciclagem  
de nutrientes. 4. sustentabilidade. I. Costa, Kátia  
Aparecida de Pinho, orient. II. Severiano, Eduardo  
da Costa, co-orient. III. Título.

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

**SUCCESSÃO DE FORRAGEIRAS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO  
LAVOURA-PECUÁRIA E MILHO NA SEGUNDA SAFRA**

Autora: Mariane Porto Muniz  
Orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Kátia Aparecida de Pinho Costa  
Coorientador: Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano  
Coorientador: Prof. Dr. Marcos Alberto Lana

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia

APROVADA em 13 de abril de 2020



Dr. Ubirajara Oliveira Bilego  
Avaliador Externo  
Instituto de Ciência e Tecnologia Comigo



Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro  
Avaliador externo  
Universidade Federal de Goiás



Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano  
Avaliador Inteno  
IFGoiano/RV



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Kátia Aparecida de Pinho Costa  
“Orientadora”  
Presidente da banca  
IFGoiano/RV

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, por ter me dado força para superar as inúmeras dificuldades encontradas e que sempre tem iluminado meu caminho.

Aos meus pais (Edna e Carlos) que sempre me incentivaram e apoiaram na vida pessoal e profissional, meus exemplos e minha base.

Ao meu padrasto Romeu, pelo apoio e incentivo.

Aos meus irmãos João Victor, José Antônio e Carla Maria e a toda minha família pelo apoio, incentivo e companheirismo. A maior riqueza que um homem possui é a sua família.

Agradeço, especialmente a Profa. Dra. Kátia Aparecida de Pinho Costa, por ter aceitado ser minha orientadora e ter contribuído no meu crescimento profissional.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano, pela colaboração no desenvolvimento da pesquisa.

Ao Prof. Dr. Marcos Alberto Lana, pela oportunidade de intercâmbio na SLU, paciência e todo o conhecimento repassado.

Ao Prof. Dr. Wilson Mozena e a equipe do Laboratório de Análise Foliar da UFG, pelo subsídio nas análises de macronutrientes.

Agradeço ao IF Goiano, Campus Rio Verde, pelo apoio e suporte para condução do experimento e todos os Professores e Servidores pela transmissão do conhecimento e apoio.

Ao Instituto de Ciência e Tecnologia Comigo (ITC) e seus colaboradores, em especial ao Dr. Ubirajara e Dr. Diemisson, que me concederam o suporte necessário para condução do experimento da dissertação.

A Swedish University of Agricultural Sciences-SLU, pelo auxílio e apoio no intercâmbio.

À FAPEG e CAPES, pela concessão da bolsa, durante o curso.

Aos colegas do Laboratório de Forragicultura e Pastagens do IF Goiano, Ana Carolina, Laine, Luiz Felipe, Sabryna, Mariana, Wender, Milena, Stella, Fábio e Dr, Itamar que me ajudaram de forma direta na execução do projeto.

Agradeço a todos os colegas do IF Goiano, pela amizade construída e pelos momentos que passamos juntos. Em especial a turma de fisiologia vegetal, pela união na disciplina que se estendeu até o fim do mestrado. E, aos meus queridos Janyne, Karine, Gisele, Octávio, André, Aldo que quero como amigos para toda a vida.

A Dora, Elena, Liam e Patrick, que foram minha família durante minha estadia na Suécia.

Ao departamento Crop Production Ecology-SLU, em especial, Maria, Carola, Rafaelle e Steffen, pela amizade construída, tornando minha estadia na Suécia mais alegre.

A Dr<sup>a</sup>. Tatiane Medeiros, amiga e companheira de trabalho de longas datas, pela oportunidade em conhecer a universidade de Wuppertal e pelas oportunidades de parceria.

A Juliana, amiga de longas datas, que por coincidência veio morar na mesma cidade e me apoiou nos momentos difíceis do mestrado.

A Demilly, companheira dos perrengues da nossa moradia e que me apoiava nos momentos difíceis.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

Mariane Porto Muniz, nascida em Novo São Joaquim – MT em 01 de março de 1990, filha de Edna Gomes Porto e Carlos Antônio Muniz. Graduada em Agronomia pela Universidade Federal de Goiás, 2017. Em março de 2018, ingressou no Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Ciências Agrárias - Agronomia, nível de mestrado, no Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde-GO, sob a orientação da Professora Dr<sup>a</sup> Kátia Aparecida de Pinho Costa. Foi bolsista da FAPEG/CAPES. Fez intercâmbio na Swedish University of Agricultural Sciences-SLU, em Uppsala/Suécia. Finalizando a dissertação em abril de 2020.

## ÍNDICE GERAL

	Páginas
ÍNDICE DE TABELAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES .....	x
RESUMO .....	xii
ABSTRACT .....	xiv
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	4
3. OBJETIVOS .....	8
4. CAPÍTULO I .....	9
PRODUÇÃO DE BIOMASSA, ACÚMULO DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DA SOJA NA BIOMASSA DE FORRAGEIRAS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA E MILHO NA SEGUNDA SAFRA .....	9
4.1 Introdução .....	10
4.2 Material e Métodos .....	11
4.3 Resultado .....	17
4.4 Discussão .....	22
4.5 Conclusões .....	30
4.6 Referências .....	31
5. CONCLUSÃO GERAL .....	40

## ÍNDICE DE TABELAS

	Páginas
Tabela 1	Produção de biomassa e concentração inicial de nutrientes dos capins Paiaguás e Tamani em sistema de integração e milho em sucessão a soja... 18
Tabela 2	Conteúdos equivalentes em N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> e K <sub>2</sub> O na biomassa de cobertura de diferentes sistemas de cultivo ..... 21
Tabela 3	Altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem, número de vagem por planta, número de grãos por vagem, massa de 1000 grãos, produtividade de grãos da soja sob a biomassa dos capins Paiaguás e Tamani, e milho em monocultivo ..... 22

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1	Precipitações pluviiais e temperaturas médias registradas durante o período de novembro de 2017 a fevereiro de 2019, em Rio Verde-Goiás ..... 12
Figura 2.	Esquema do sistema de integração lavoura-pecuária e sucessão soja/milho, abrangendo todas as etapas da avaliação ..... 14
Figura 3.	Biomassa remanescente (a) e relação C:N (b) dos capins Paiaguás e Tamani e milho, durante o cultivo da soja (de 0 a 120 dias) ..... 18
Figura 4.	Acúmulo de nitrogênio (a), fósforo (b), potássio (C), cálcio (d), magnésio (e) e enxofre (f) na biomassa dos capins Paiaguás e Tamani e milhodontante o cultivo da soja (de 0 a 120 dias) ..... 20

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

<b>Símbolo</b>	<b>Legenda</b>
C	Carbono
Ca	Cálcio
Cm	Centímetro
C:N	Carbono/Nitrogênio
CTC	Capacidade de troca de cátions
°C	Graus Celsius
DAS	Dias após a semeadura
G	Gramma
Há	Hectare
ILP	Integração lavoura-pecuária
K	Potássio
Kg	Quilograma
K <sub>2</sub> O	Óxido de potássio
L	Litro
M.O.	Matéria orgânica
MS	Matéria seca
Máx	Máximo
Mg	Magnésio

MG	Miligramas	
mm	Milímetro	
m <sup>2</sup>	Metro quadrado	
Mín	Mínimo	
mL	Mililitro	
N	Nitrogênio	
P	Fósforo	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Pentóxido de fósforo	
%	Porcentagem	
PB	Proteína bruta	
PE	Proteico energético	
S	Enxofre	
SPD	Sistema de plantio direto	
t <sub>1/2</sub>	Tempo de meia-vida	
UA	Unidade Animal	450 kg de peso vivo
VC	Valor cultural	

## RESUMO

MUNIZ, M.P. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – GO, abril, 2020. **Sucessão de forrageiras em sistemas de integração lavoura-pecuária e milho na segunda safra.** Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Kátia Aparecida de Pinho Costa, Coorientador Dr. Eduardo da Costa Severiano, Coorientador Dr. Marcos Alberto Lana.

Dentre os sistemas de integração lavoura-pecuária, a sucessão de forrageiras é uma estratégia vantajosa para uso da pastagem na alimentação de bovinos no período de baixa precipitação, bem como para a formação de biomassa para o sistema de plantio direto na safra subsequente. Espécies diferentes têm capacidade distinta de acumular nutrientes na biomassa, liberando no solo por meio da decomposição dos resíduos culturais. Sendo assim, objetivou-se avaliar a produção de biomassa, acúmulo de nutrientes e produtividade da soja na biomassa dos capins Paiaguás e Tamani em sistemas de integração lavoura-pecuária e milho na segunda safra. O experimento foi conduzido no delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em três sistemas de cultivo: integração lavoura pecuária com capim-paiaguás (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás); integração lavoura pecuária com capim-tamani (*Panicum maximum* cv. BRS Tamani); e milho em sucessão a soja. Os resultados mostraram que o uso do sistema de integração lavoura-pecuária na forma de sucessão das forrageiras proporcionaram maior cobertura de solo e ciclagem de nutrientes em comparação ao cultivo de milho em sucessão, e resultou em maior produtividade da soja, contribuindo assim para a sustentabilidade agrícola. Os capins Paiaguás e Tamani

apresentaram relação C:N maior que 30:1, indicando lenta decomposição dos resíduos vegetais. As forrageiras acumularam em sua biomassa quantidades de nutrientes que supriram a demanda da soja resultando em maior produtividade de grãos.

**Palavras-chaves:** capim-paiaguás, capim-tamani, ciclagem de nutrientes, sustentabilidade.

## ABSTRACT

MUNIZ, M.P. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – GO, April, 2020. **Succession of forages in crop-livestock and corn integration systems in the second harvest.** Advisor: Dr<sup>a</sup>. Kátia Aparecida de Pinho Costa, co-advisor: Dr. Eduardo da Costa Severiano, co-advisor: Dr. Marcos Alberto Lana.

Among the crop-livestock integration systems, the succession of forages is an advantageous strategy to use the pasture to feed cattle in the low precipitation period, as well as for biomass formation at no-tillage system in the subsequent harvest. Different species have a different capacity to accumulate nutrients in the biomass, releasing in the soil through the decomposition of cultural residues. Thus, the objective was to evaluate the biomass production, nutrients accumulation and soybean productivity in the biomass of Paiaguas palisadegrass and Tamani guinea grass in crop-livestock and corn integration systems in the second harvest. The experiment was carried out in a randomized block design with four replications. The treatments consisted of three cultivation systems: livestock farming integration with Paiaguas palisadegrass (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás); livestock crop integration with Tamani guinea grass (*Panicum maximum* cv. BRS Tamani); and corn in succession to soybean. The results showed that the use of crop-livestock integration system in the form of forage succession provided greater soil coverage and nutrient cycling compared to the cultivation of corn in succession, which resulted in higher soybean productivity, thus contributing to the agricultural sustainability. The Paiaguas palisade grass

and Tamani guinea grass showed a C:N ratio greater than 30:1, indicating slow decomposition of plant residues. Forages accumulated in their biomass quantities of nutrients that met the demand for soy resulting in higher grain productivity.

**Key-words:** Paiaguas palisadegrass, Tamani guinea grass, nutrient cycling, sustainability.

## 1. INTRODUÇÃO

Diante do desafio de alimentar uma população crescente, a necessidade de desenvolver sistemas agrícolas sustentáveis, com aumento de produtividade e manter a integridade ecológica é cada vez mais imperativo (Vincent-Caboud et al., 2019).

As pastagens são o alicerce da atividade pecuária. Sejam nativas ou cultivadas, são a base da alimentação para a pecuária de corte e de leite em vários países do mundo (Borghetti et al., 2018). No Brasil, 21,2% do território é ocupado com pastagens nativas e plantadas, e possui o maior rebanho comercial bovino do mundo, a cerca de 213,5 milhões (IBGE, 2019). Martuscello et al. (2019) relatam a importância da diversificação de pastagens para o Brasil pelas dimensões continentais e a grande participação do agronegócio na economia do País.

Por outro lado, a soja continuará liderando o ranking de produtos mais exportados do País, ocupando área de 35,822 milhões de hectares plantados e produtividade média de 3206 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2018/2019. E o Milho segunda safra ocupando 12.329 milhões de hectares plantados, com produtividade de 5732 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2018/2019 (CONAB, 2019).

Apesar destes dados animadores, os altos índices de degradação ambiental pelo uso descontrolado de monoculturas anuais, têm aumentado a preocupação com o desenvolvimento sustentável (Macedo, 2009) e as mudanças climáticas globais (Fernandes e Finco, 2014).

O cenário brasileiro de expansão da atividade agropecuária tem gerado retornos econômicos para o País, porém com grande passivo ambiental. Dentro deste contexto, Fernandes e Finco (2014) relataram que foram criadas ações de fomento como o Plano

Nacional sobre Mudança do Clima e o Programa Nacional para uma Agricultura de Baixo Carbono (Programa ABC).

Os sistemas de Integração lavoura-pecuária (ILP) têm sido apontados por Carvalho et al. (2018), Vincent-Caboud et al. (2019) e Soares et al. (2019) para evitar a degradação e melhorar a eficiência de uso destas áreas sem deixar de explorá-las. Com isso, os sistemas de integração vêm crescendo a nível acelerado no Brasil. Além da intensificação e maior eficiência do uso da terra, são gerados, outros benefícios ao ambiente, tais como: maior sequestro de carbono, aumento da matéria orgânica do solo, redução dos riscos de erosão, melhoria das condições microclimáticas e do bem-estar animal (Vincent-Caboud et al., 2019).

Nesse cenário, a Integração lavoura-pecuária se coloca como solução estratégica para o produtor rural, pela diversificação de renda e redução de riscos, aumento da produtividade de forma estável no horizonte temporal e mitigação da vulnerabilidade da produção às mudanças ambientais e volatilidade de preços (Oliveira et al., 2019).

Devido às interações entre as culturas agrícolas e forrageiras, os sistemas integrados se tornam dinâmicos e complexos, sendo necessárias pesquisas científicas e tecnológicas mais apuradas para que haja consolidação quanto sua sustentabilidade ambiental e produtiva. Neste contexto, várias pesquisas têm avaliado as várias potencialidades das forrageiras tropicais neste sistema (Carvalho et al, 2018; Guarnieri et al., 2019; Oliveira et al, 2019).

Estudos apontaram que os sistemas integrados aliado ao sistema de plantio direto de longo prazo promovem melhoria nas propriedades químicas, biológicas e acúmulo de carbono no solo, fornecendo benefícios para a cultura principal em sucessão e aumentando o rendimento de grãos (Perin et al., 2010; Soares et al., 2019). E que áreas sob pastejo bem manejadas têm melhor rendimento, em comparação com a vegetação que serve ao único propósito de produzir biomassa de cobertura para o plantio direto em sucessão (Carvalho et al., 2018).

As plantas de cobertura, principalmente as gramíneas, integradas de forma planejada no modelo de integração, proporcionam alta produção de biomassa, com elevada relação C:N, que garantem a cobertura do solo por um período prolongado (Borghi et al., 2006). Isso reforça a preocupação de produzir resíduos vegetais com decomposição mais lenta, significando a sua manutenção sobre o solo por maior período de tempo, principalmente na entressafra (Costa et al., 2015).

A disponibilização de nutrientes para a cultura subsequente está diretamente relacionada com a sua disponibilidade no solo e a velocidade de decomposição dos seus resíduos. A ciclagem de nutrientes possibilita sincronizar a sua disponibilização com a demanda da cultura sucessora (Ferreira et al., 2011). No entanto, culturas diferentes têm capacidade distinta de acumular nutrientes na biomassa de cobertura, liberando-os no solo por meio da decomposição dos resíduos culturais (Nunes et al., 2010).

A melhor compreensão da quantidade de nutrientes acumulados nas plantas é importante para determinar os benefícios da ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo (Oliveira et al., 2019), sendo importante fator de estudo para auxiliar no manejo da adubação, de forma que essa contribuição possa ser considerada no cálculo da dose de fertilizante a ser aplicada (Santos et al., 2008), resultando em racionalização do uso de insumos com menor custo de produção para o produtor e menor risco de perdas e desequilíbrio ambiental.

Atualmente, as gramíneas forrageiras mais utilizadas nos sistemas de Integração lavoura-pecuária são as do gênero *Brachiaria*. Com o surgimento de novas cultivares de *Panicum maximum*, mostram potencial nos sistemas integrados (Machado et al., 2017), pois são de fácil implantação, por serem multiplicadas por sementes. No entanto, para cada gênero existem inúmeras cultivares com características diferentes. Por isso, é necessário conhecer a potencialidade de cada espécie dentro dos sistemas integrados (Machado et al., 2011).

A *Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás tem demonstrado resultados satisfatórios em produtividade, principalmente no período de escassez hídrica, sendo assim uma opção interessante, com resultados positivo na ILP (Costa et al., 2016; Santos et al., 2016), para sucessão à soja em clima de Cerrado. É uma das mais recomendadas para produção de biomassa de cobertura, com potencial para acumular e liberar nutrientes nas coberturas vegetais, para as culturas subsequentes (Costa et al., 2016 e Costa et al., 2017).

O *Panicum maximum* cv. BRS Tamani apresenta como características porte baixo, com alta produção de folhas de alto valor nutritivo, produtividade e vigor, sendo de fácil manejo e resistente às cigarrinhas das pastagens (EMBRAPA, 2015). Estudo realizado por Machado et al. (2017), verificaram bons resultados utilizando o capim-tamani no consórcio com a soja, em que a forrageira contribuiu para a supressão do crescimento de plantas daninhas e apresentou baixo potencial de competição com a soja. Martuscello et al. (2019) avaliando produção, características morfogênicas e estruturais em função de doses de

nitrogênio verificaram tolerância a pastejo mais intensos. No entanto, pouco se conhece sobre o potencial do capim-tamani em sucessão à soja.

Sendo assim, é necessário mais conhecimento sobre as forrageiras nos sistemas de Integração lavoura-pecuária, com intuito de formação de biomassa de cobertura para o sistema de plantio direto. Para alcançar tais conhecimentos, é necessário entender a ciclagem de nutrientes por meio do acúmulo e liberação de nutrientes, principalmente no que se refere ao adequado suprimento de nutrientes no sistema para a cultura sucessora.

## 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGHI, E.; GONTIJO NETO, M. M.; RESENDE, R. M. S.; ZIMMER, A. H.; ALMEIDA, R. G.; MACEDO, M. C. M. **Recuperação de pastagens degradadas**. In: NOBRE, M. M.; OLIVEIRA, I. R.(Orgs.). **Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Milho e Sorgo, p. 106-139, 2018.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; COSTA, C. Desenvolvimento da cultura do milho em consorciação com *Brachiaria brizantha* em sistema plantio direto. **Energia na Agricultura**, v. 21, n. 3, p.19-33, 2006.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; ULIAN, N. A.; COSTA, B. S.; PARIZ, C. M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Acúmulo de nutrientes e tempo de decomposição da palhada de espécies forrageiras em função de épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, v.31, p. 818-829, 2015.

COSTA, R. R. G. F.; COSTA, K. A. P.; SANTOS, C. B.; SEVERIANO, E. C.; EPIFÂNIO, P. S.; SILVA, J. T.; TEIXEIRA, D. A. A.; SILVA, V. R. Production and nutritional characteristics of pearl millet and Paiaguas palisade grass under different forage systems and sowing periods in the offseason. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 19, p. 1712-1723, 2016.

COSTA, R. R. G. F.; COSTA, K. A. P.; SEVERIANO, E. C.; SANTOS, C. B.; ROCHA, A. F. S.; SOUZA, W. F.; BRANDSTETTER, E. V.; CASTRO, W. A. Nutrients cycling and accumulation in pearl millet and Paiaguas palisade grass biomass in different forage systems and sowing periods. **Revista Scientia Agraria**. v. 18, n. 4, p. 166-178, 2017.

CONAB, Companhia Nacional de abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira grãos, v. 6, Safra 2018/19 – Oitavo levantamento, p. 1-132, 2019.

CARVALHO, P. C. D. F.; BARRO, R. S.; BARTH NETO, A.; NUNES, P. A. D. A.; MORAES, A. D.; ANGHINONI, I.; BREDEMEIER, C.; BAYER, C.; MARTINS, A. P.; KUNRATH, T. R.; SANTOS, D. T.; CARMONA, F. C.; BARROS, T.; SOUZA FILHO, W.; ALMEIDA, G. M.; CAETANO, L. A. M.; CECAGNO, D.; ARNUTI, F.; DENARDIN, L. G. O.; BONETTI, J. A.; TONI, C. A. G.; BORIN, J. B. M. Integrating the pastoral component in agricultural systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 47, 2018.

EMBRAPA. BRS Tamani, forrageira híbrida de *Panicum maximum*. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/3071644/cultivar-de-forrageira-brs-tamani--e-destaque-da-embrapa-na-agrobrasil>. Acesso em: janeiro de 2020.

FERREIRA, E. V. O.; ANGHINONI, I.; ANDRIGHETTI, M. H.; MERTINS, A. P.; CARVALHO, P. C. F. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade de soja na integração-lavoura-pecuária sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n. 1, p.161-169, 2011.

FERNANDES, M. S.; FINCO, M. V. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária e políticas de mudanças climáticas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 2, p. 2952-2958, 2014.

GUARNIERI, A.; COSTA, K. A. P.; SEVERIANO, E. C.; SILVA, A. G.; OLIVEIRA, S. S.; SANTOS, C. B. Agronomic and productive characteristics of maize and Paiaguas palisadegrass in integrated production systems. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 3, p. 1185-1198, 2019.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2019. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/25483-rebanho-bovino-reduz-em-2018-em-ano-de-crescimento-do-abate-e-exportacao>. Acesso em: fevereiro, 2020.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 133-146, 2009.

MARTUSCELLO, J. A.; RIOS, J. F.; FERREIRA, M. R.; ASSIS, J. A. D.; BRAZ, T. G. S.; CUNHA, D. V. Produção e morfogênese de capim BRS Tamani sob diferentes doses de nitrogênio e intensidades de desfolhação. **Boletim De Indústria Animal**, v. 76, p. 1-10, 2019.

MACHADO, L. A. Z.; BALBINO, L. C.; CECCON, G. **Integração Lavoura-Pecuária Floresta. 1. Estruturação dos Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária**. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. 46 p. (Documentos/Embrapa Agropecuária Oeste).

MACHADO, L. A. Z.; CECATO, U.; COMUNELLO, E.; CONCENÇO, G.; CECCON, G. Establishment of perennial forages intercropped with soybean for integrated crop-livestock systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 52, n. 7, p. 521-529, 2017.

NUNES, A. S.; TIMOSSI, P. C.; PAVANI, M. C. M. O. D.; COSTA ALVES, A. P. L. Formação de cobertura vegetal e manejo de plantas daninhas na cultura da soja em sistema plantio direto. **Revista Planta Daninha**, v. 28, n.4, p. 727-733, 2010.

OLIVEIRA, S. M. de; ALMEIDA, R. E. M. de; PIEROZAN JUNIOR, C.; REIS, A. de B.; SOUZA, L. F. N.; FAVARIN, J. L. Contribution of corn intercropped with Brachiaria species to nutrient cycling. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, 2019.

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; CABALLERO, S. S. U.; GUERRA, J. G. M.; GUSMÃO, L. A. Acúmulo e liberação de P, K, Ca e Mg em crotalária e milho solteiros e consorciados. **Revista Ceres**, v. 57, n. 2, p.274-281, 2010.

SANTOS, F.C.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SEDIYAMA, C.S. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n. 4, p.1661-1674, 2008.

SANTOS, C. B.; COSTA, K. A. P.; OLIVEIRA, I. P.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, R. R. G. F.; SILVA, A. G.; GUARNIERI, A.; SILVA, J. T. Production and nutritional characteristics of sunflowers and Paiaguas palisadegrass under different forage systems in the off season. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 2, p. 460-470, 2016.

SOARES, D. S.; RAMOS, M. L. G.; MARCHÃO, R. L.; MACIEL, G. A.; OLIVEIRA, A. D.; MALAQUIAS, J. V.; CARVALHO, A. M. How diversity of crop residues in long-term no-tillage systems affect chemical and microbiological soil properties. **Soil and Tillage Research**, v. 194, p. 104316, 2019.

VINCENT-CABOUD, L.; CASAGRANDE, M.; DAVID, C.; RYAN, M. R.; SILVA, E. M.; PEIGNE, J. Using mulch from cover crops to facilitate organic no-till soybean and maize production. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 39, n. 45, 2019.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Avaliar a sucessão de forrageiras na integração lavoura-pecuária e milho na segunda safra.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

Avaliar a produção, decomposição de biomassa de cobertura, concentração e acúmulo de nutrientes dos sistemas de cultivo;

Avaliar a produção da soja sob biomassa de cobertura dos diferentes sistemas de cultivo.

## 4. CAPÍTULO I

### **PRODUÇÃO DE BIOMASSA, ACÚMULO DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DA SOJA NA BIOMASSA DE FORRAGEIRAS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA E MILHO NA SEGUNDA SAFRA**

**RESUMO:** Dentre os sistemas de integração lavoura-pecuária, a sucessão de forrageiras é uma estratégia vantajosa para uso da pastagem na alimentação de bovinos no período de baixa precipitação, bem como para a formação de biomassa para o sistema de plantio direto na safra subsequente. Espécies diferentes têm capacidade distinta de acumular nutrientes na biomassa, liberando no solo por meio da decomposição dos resíduos culturais. Sendo assim, objetivou-se avaliar a produção de biomassa, acúmulo de nutrientes e produtividade da soja na biomassa dos capins Paiaguás e Tamani em sistemas de integração lavoura-pecuária e milho na segunda safra. O experimento foi conduzido no delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em três sistemas de cultivo: integração lavoura pecuária com capim-paiaguás (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás); integração lavoura pecuária com capim-tamani (*Panicum maximum* cv. BRS Tamani); e milho em sucessão a soja. Os resultados mostraram que o uso do sistema de integração lavoura-pecuária na forma de sucessão das forrageiras proporcionaram maior cobertura de solo e ciclagem de nutrientes em comparação ao cultivo de milho em sucessão, resultando em maior produtividade da soja, contribuindo para a sustentabilidade agrícola. Os capins Paiaguás e Tamani apresentaram relação C:N maior que 30:1, indicando lenta

decomposição dos resíduos vegetais. As forrageiras acumularam em sua biomassa quantidades de nutrientes que supriram a demanda da soja resultando em maior produtividade de grãos.

**Palavras-Chave:** capim-paiaguás, capim-tamani, ciclagem de nutrientes, sustentabilidade.

## INTRODUÇÃO

Atualmente o desafio global se concentra no aumento da produção de alimentos para uma população cada vez mais crescente e a preservação do meio ambiente (Gu et al., 2019). Atender esta demanda sem explorar novas áreas e sem degradar as já existentes consiste em ponto chave para uma agricultura sustentável (Reis et al., 2019).

Nesse sentido o sistema de integração lavoura-pecuária é uma estratégia de produção que consiste na diversificação e integração dos diferentes sistemas produtivos, agrícolas e pecuários, dentro de uma mesma área contemplando a preservação ambiental e atendendo a demanda mundial por alimentos (Gléria et al., 2017). Dentre os sistemas de integração, a sucessão de forrageiras é uma técnica vantajosa para uso da pastagem na alimentação de bovinos no período da seca, chamado “boi safrinha”. Posteriormente tem como objetivo, a formação de biomassa para o sistema de plantio direto na safra subsequente (Embrapa, 2017).

Os sistemas integrados de produção agropecuária são alternativas promissoras, por promoverem a diversificação e a rotação de culturas, estando diretamente ligados à recuperação da estrutura dos solos e a minimização da estacionalidade de produção das forrageiras, que podem ser aumentadas com o estabelecimento de forrageiras em consórcio com culturas anuais (Vilela et al., 2011). Assim, torna-se possível a exploração de diferentes sistemas produtivos na mesma área. A quantidade de biomassa e o elevado tempo de meia-vida das forrageiras depositada sobre a superfície do solo contribuem para a retenção de água e reduzindo as perdas por evapotranspiração (Costa et al., 2014). Nesse sentido, a persistência da biomassa no solo é fator determinante que depende das condições climáticas e espécie vegetal (Costa et al., 2015; Zagato et al., 2018).

A disponibilização de nutrientes para a cultura sucessora está diretamente relacionada com a sua disponibilidade no solo e a velocidade de liberação dos seus resíduos. O

entendimento dos fatores e processos que controlam a ciclagem de nutrientes possibilita sincronizar a sua disponibilização com a demanda da cultura sucessora. No entanto, culturas diferentes têm capacidade distinta de acumular nutrientes na biomassa, liberando-os no solo por meio da decomposição dos resíduos culturais (Oliveira et al., 2019).

Para o sucesso do sistema de integração lavoura-pecuária é necessário a escolha das forrageiras mais adaptadas às condições edafoclimáticas da região, apresentando equilíbrio entre qualidade da forragem e produtividade. Segundo Jank et al. (2011), apesar dos inúmeros esforços das instituições de pesquisa para lançar novas cultivares, o número efetivamente utilizado pelos produtores ainda é pequeno, e o uso de poucas cultivares em grandes áreas gera a vulnerabilidade dos sistemas de produção.

Atualmente, as gramíneas forrageiras mais utilizadas nos sistemas de integração lavoura-pecuária são do gênero *Brachiaria* (Guarnieri et al., 2019; Silva et al., 2019) e recentemente, devido ao surgimento de novas cultivares de *Panicum maximum*, vem sendo também utilizada (Machado et al., 2017; Dias et al., 2020). Contudo, para cada gênero existem diversas cultivares e com características diferentes. Em razão disso, é necessário conhecer o potencial de cada espécie dentro do sistema integração lavoura-pecuária, com intuito de produção de biomassa para o sistema de plantio direto e possibilitar maior exploração da segunda safra com produção de proteína animal.

Apesar de já conhecidos os benefícios da integração lavoura-pecuária e do sistema de semeadura direta (Oliveira et al., 2019), ainda são escassas informações a respeito do acúmulo e liberação de nutrientes em coberturas vegetais de novas espécies de *Brachiaria brizantha* e *Panicum*, em condições de safrinha. Diante disso, objetivou-se avaliar produção de biomassa, acúmulo de nutrientes e produtividade da soja na biomassa dos capins Paiaguás e Tamani em sistemas de integração lavoura-pecuária e milho na segunda safra.

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Descrição da área*

O experimento foi conduzido no Instituto de Ciência e Tecnologia Comigo (ITC), em Rio Verde-GO, no período de novembro de 2017 a fevereiro de 2019. Sob as coordenadas 17°45'48'' S e 51°02'14'' W, com altitude de 832m. O relevo desta região é pouco

movimentado, e ajuda a explicar o avanço da agricultura mecanizada e intensiva (Severiano et al., 2013).

A área de estudo apresentava histórico de seis anos no sistema de integração lavoura pecuária sob sistema de plantio direto (SPD), com culturas anuais (soja e milho) e forrageiras para formação de biomassa (*Brachiaria brizantha*, *Brachiaria Ruziziensis* *Panicum maximum*). Na Figura 1 estão apresentados os dados de precipitação e temperatura média durante o período de realização do experimento.

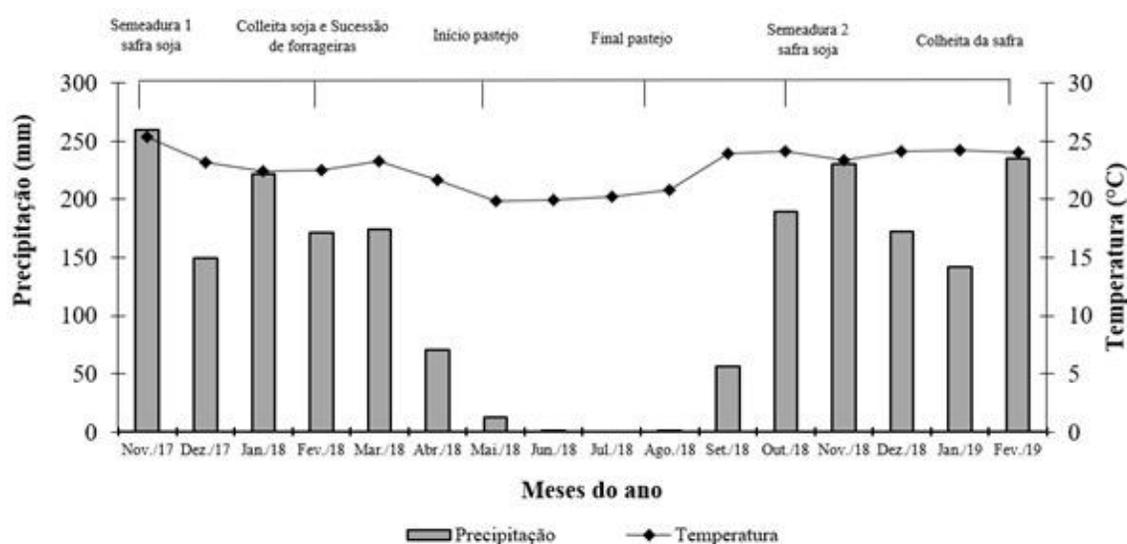


Figura 1. Precipitações pluviais e temperaturas médias registradas durante o período de novembro de 2017 a fevereiro de 2019, em Rio Verde-Goiás.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (Santos et al., 2018). A caracterização física e química do solo na camada de 0-20 cm foi realizada antes da implantação do experimento, apresentando 351 g kg<sup>-1</sup> de argila; 539 g kg<sup>-1</sup> de areia; 110 g kg<sup>-1</sup> de silte; pH em CaCl<sub>2</sub>: 4,9; Ca: 2,5; Mg: 0,74; Al: 0,1; Al + H: 5,0; K<sub>2</sub>O: 0,43; CTC: 8,6 em cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V: 41% e P (mehlich): 33,7; B: 0,74; Cu: 1,2; Zn: 6,3; Cu: 1,23; Fe: 53,8 em mg dm<sup>-3</sup>; M.O.: 27,18 g kg<sup>-1</sup>.

Antes da semeadura da soja da safra 2017/2018, foi aplicado uma tonelada de calcário e gesso ha<sup>-1</sup>. A adubação de plantio utilizada foi de 250 kg ha<sup>-1</sup> de MAP Turbo, aplicada no sulco de semeadura. A semeadura foi realizada no dia 07/11/2017 e a variedade utilizada foi M7110PRO, com espaçamento entre linhas de 0,50 m. Para o tratamento de sementes foi

utilizado 200 mL de Standak Top para cada 100 kg de sementes. Aos 15 dias, após a semeadura (DAS) foi realizada aplicação a lanço de 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na fonte de cloreto de potássio.

As aplicações de fungicida foram realizadas aos 40 DAS (dose de 0,3 L ha<sup>-1</sup> de Orkestra e 0,5 L ha<sup>-1</sup> de Assist), aos 60 DAS (dose de 0,2 kg ha<sup>-1</sup> de Elatus e 0,6 L ha<sup>-1</sup> de Nimbus), aos 75 DAS (dose de 0,4 L ha<sup>-1</sup> de Fox e 0,3 L ha<sup>-1</sup> de Aureo) e aos 85 DAS (dose de 0,3 L ha<sup>-1</sup> de Orkestra e 0,5 L ha<sup>-1</sup> de Assist). A soja foi colhida em fevereiro de 2018, com produção média de 4339 kg ha<sup>-1</sup>.

#### *Delineamento estatístico, tratamentos e implantação das culturas*

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em três sistemas de cultivo: integração lavoura pecuária com capim-paiaguás (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás); integração lavoura pecuária com capim-tamani (*Panicum maximum* cv. BRS Tamani); e milho em sucessão a soja.

As forrageiras foram implantadas em sucessão a soja em 28 de fevereiro de 2018, utilizando 5 kg ha<sup>-1</sup> de sementes para o capim-paiaguás e 3,5 kg ha<sup>-1</sup> para o capim-tamani, com 60% e 40% de valor cultural (VC) respectivamente. As sementes foram semeadas nas respectivas áreas com auxílio da semeadora-adubadora, com 0,45 cm de espaçamento entre linhas.

O milho em monocultivo foi semeado em 01 de março de 2018 utilizando o híbrido AG 7098 PRO2, visando a atingir população final entre 250 a 300 mil plantas ha<sup>-1</sup> com adubação base de 300 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante formulado 08-20-18 (N-P-K) aplicado no sulco de plantio. No estágio fenológico V6, aplicou-se 90 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio na fonte ureia. A colheita do milho para grão foi realizada aos 156 dias, em 03 de agosto de 2018, com produção média de 4200 kg ha<sup>-1</sup>.

A Figura 2 mostra o esquema dos sistemas de cultivos dos capins Paiaguás e Tamani em sistema de integração lavoura pecuária e sistema de cultivo do milho em sucessão à soja, com diversificação das atividades, maximizando o uso do solo durante todo ano.

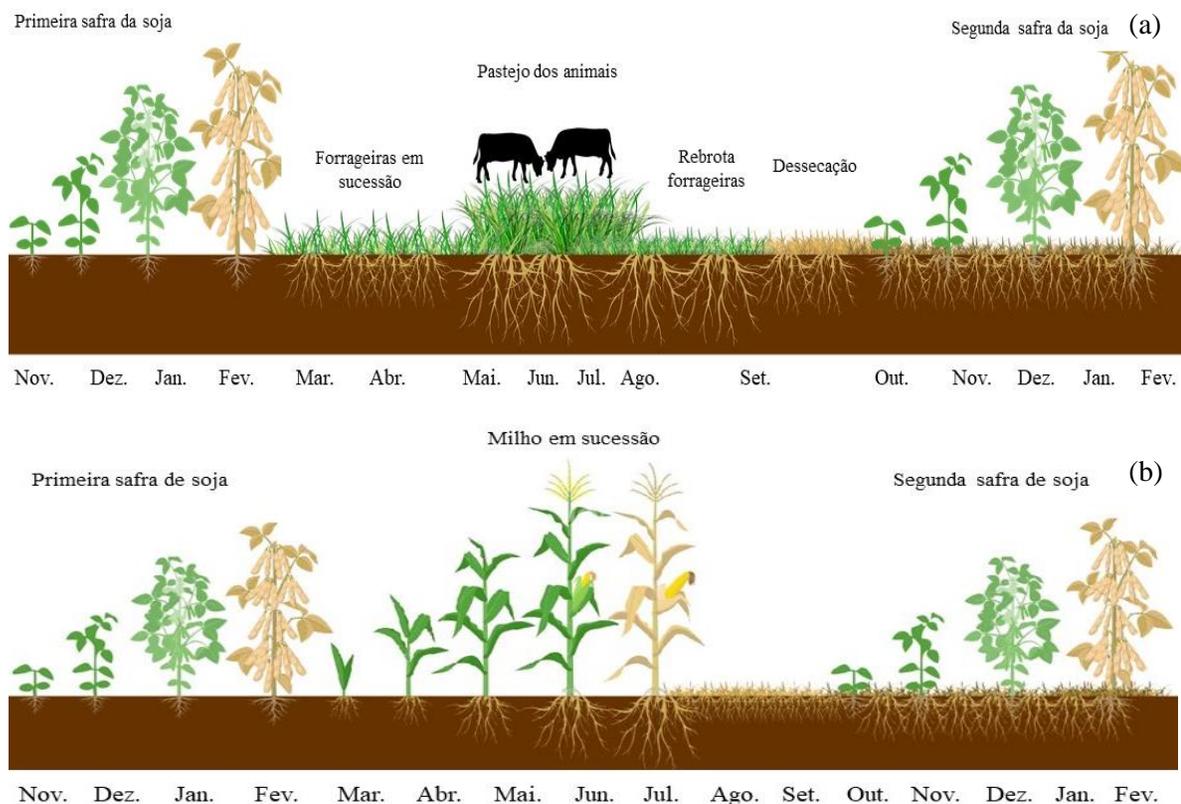


Figura 2. Esquema dos sistemas de cultivos dos capins Paiaguás e Tamani em sistema de integração lavoura pecuária (a) e sistema de cultivo do milho em sucessão a soja (b), abrangendo todas as etapas da avaliação.

### *Desempenho animal*

Após o desenvolvimento das forrageiras, aos 84 dias após a semeadura, foram inseridos na área bovinos da raça Nelore, com idade média de  $13,25 \pm 0,77$  meses, com peso corporal médio inicial de  $239,43 \pm 29,98$  kg. Os animais permanecendo na área experimental de maio a agosto de 2018, em pastejo rotativo, sendo sete dias de ocupação e 21 dias de descanso. A taxa de lotação foi variável e ajustada, sempre que necessário, ao longo do experimento, conforme a disponibilidade de forragem. A taxa de lotação média foi de 2,71 e 2,25 UA ha<sup>-1</sup> (unidade animal) para os capins Paiaguás e Tamani, respectivamente.

Os animais foram retirados da área em 23 de agosto de 2018 e as forrageiras ficaram em descanso por 41 dias para rebrota, para posterior dessecação para formação de biomassa para semeadura da soja. A dessecação foi realizada em 25 de setembro de 2018 com aplicação

de herbicida glifosato, na dose de 4 L ha<sup>-1</sup> (522 g L<sup>-1</sup> de i. a.), com volume de calda 150 L ha<sup>-1</sup>.

#### *Avaliação da biomassa e acúmulo de nutrientes*

Para quantificar a produção de biomassa do capim-paiaguás, capim-tamani e milho, foram coletadas oito amostras, através de um quadrado de 0,50 x 0,50 m (0,25 m<sup>2</sup>) distribuído dentro de cada parcela. Os capins foram cortados 13 dias após a dessecação e o milho a 67 dias após a colheita dos grãos. O corte do material vegetal foi realizado rente ao solo. O material cortado foi pesado e as amostras colocadas em estufa de ventilação forçada de ar a 55°C até massa constante sendo as quantidades extrapoladas para kg ha<sup>-1</sup>.

A decomposição da biomassa foi avaliada após a dessecação das forrageiras, em sacolas de decomposição confeccionadas em nylon (*"Litter bags"*) com malha de 2 mm de abertura e dimensões de 25 x 30 cm (Thomas & Asakawa, 1993). Quatro bolsas contendo resíduos das espécies em quantidade proporcional ao da biomassa seca produzida por hectare foram depositados em contato direto com o solo.

Aos 30, 60, 90 e 120 dias após o manejo, retirou-se um *"Litter bag"* de cada parcela, a fim de avaliar o remanescente da biomassa e determinar a decomposição da biomassa durante o período de 120 dias (colheita da soja). Posteriormente, a cada avaliação o material foi enviado para laboratório para retirada de solo aderido com água corrente até retirar todo resíduo, e secado em estufa a 55°C até peso constante para obtenção da biomassa seca. Com base nos dados de produção inicial de biomassa (kg ha<sup>-1</sup>) dos sistemas, foram calculadas as perdas percentuais, pela razão entre a massa dos *litter bags* em kg ha<sup>-1</sup> e a produção inicial de biomassa.

As amostras de biomassa foram moídas em moinho tipo Willer para determinação da concentração de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e enxofre (S) de acordo com a metodologia proposta Malavolta et al. (1997). Posteriormente foi calculado a relação carbono/nitrogênio (C:N) do material. Para avaliação do acúmulo de nutrientes na biomassa, as concentrações de macronutrientes foram multiplicadas pela produção de biomassa, expressando os resultados para kg ha<sup>-1</sup>.

Os equivalentes em fertilizantes N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O na biomassa de cobertura do solo dos sistemas de cultivo das forrageiras e milho, foram determinados considerando a massa

atômica dos elementos, conforme convenções da química analítica e as concentrações de N, P e K dos resíduos analisados (Santos et al., 2014).

#### *Implantação da soja na safra 2018/2019 e avaliação das características agronômicas*

A semeadura da soja foi realizada em 20 de outubro de 2018 na biomassa dos capins Paiaguás e Tamani, e milho. A variedade utilizada foi M7739, com espaçamento entre linhas de 0,50 m. No momento da semeadura, a soja foi inoculada com Gelfix ( $0,6 \text{ L ha}^{-1}$ ), e adubada com  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  do fertilizante monoamônico (MAP) e  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  FTE BR 12 (Mo + B + Zn + Cu + Mn) aplicado no sulco de plantio. Aos 15 dias após semeadura (DAS) foi realizada aplicação a lanço de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  na fonte de cloreto de potássio.

As aplicações de fungicida foram realizadas aos 40 DAS (dose de  $0,3 \text{ L ha}^{-1}$  de Orkestra e  $0,5 \text{ L ha}^{-1}$  de Assist), aos 60 DAS (dose de  $0,2 \text{ kg ha}^{-1}$  de Elatus e  $0,6 \text{ L ha}^{-1}$  de Nimbus), aos 75 DAS (dose de  $0,4 \text{ L ha}^{-1}$  de Fox e  $0,3 \text{ L ha}^{-1}$  de Aureo) e aos 85 DAS (dose de  $0,3 \text{ L ha}^{-1}$  de Orkestra e  $0,5 \text{ L ha}^{-1}$  de Assist).

As avaliações das características agronômicas da soja foram realizadas em 15 de fevereiro de 2019 (119 DAS), no dia da colheita. Foram avaliados: altura de plantas e altura de inserção da primeira e última vagem (mensurada a distância compreendida entre a superfície do solo e a extremidade apical, e entre a superfície do solo a inserção da primeira e última vagem na haste principal, respectivamente); número de vagens por planta (contagem de todas as vagens com grãos em 10 plantas na área útil da parcela, calculando a média de vagens por planta), peso de mil grãos e produtividade em quilogramas por hectare.

#### *Análise estatística*

Para descrever a decomposição da biomassa e acúmulo de nutrientes, os dados foram ajustados com o erro padrão em um modelo matemático exponencial ( $y = ae^{kx}$ ) e linear para uma relação C: N ( $y = a + bx$ ), usando software SigmaPlot. As comparações entre as equações estimadas foram realizadas de acordo com procedimento descrito por Snedecor e Cochran (1989), o qual testa a homogeneidade dos dados (F) e a significância dos coeficientes angular da reta ( $0.4343k$ ) e linear ( $\log a$ ) das equações linearizadas ( $\log y = \log a + 0.4343kx$ ).

Para calcular a meia-vida ( $t_{1/2}$ ) ou seja, o tempo necessário para decompôr 50% da biomassa restante, foi utilizada a equação proposta por Paul e Clark (1989) em que,  $t_{1/2} =$

$0,693/k$ , e  $t_{1/2}$  é a meia-vida da biomassa seca e  $k$  é a constante da decomposição da biomassa seca.

Os resultados de concentração de nutrientes, equivalente de fertilizantes, características agrônômicas da soja e produtividade de grãos foram submetidas à análise de variância, através do programa R versão R-3.1.1 (2014), utilizando o pacote ExpDes (Ferreira et al., 2014). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, com o nível de significância de 5% de probabilidade.

## RESULTADOS

### *Produção de biomassa, relação C:N, concentração e acúmulo de nutrientes*

Houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) entre os sistemas de cultivo para a produção de biomassa, biomassa remanescente, relação C:N, concentração e acúmulo de nutrientes (Tabela 1, Figuras 3 e 4).

A maior quantidade de biomassa na superfície do solo no momento da semeadura da soja foi obtida no capim-paiaguás ( $4898 \text{ kg ha}^{-1}$ ), seguido do capim-tamani ( $4302 \text{ kg ha}^{-1}$ ). O milho apresentou menor produção de biomassa ( $3409 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Esse mesmo comportamento é verificado para biomassa remanescente, até o ciclo final do desenvolvimento da soja (Figura 3a). Ao final das avaliações o total de resíduos remanescentes foram de 1498, 1076 e  $930 \text{ kg ha}^{-1}$  para os capins Paiaguás, Tamani e milho, respectivamente, com perdas de biomassa de 70,7, 74,4 e 72,7% no ciclo final de desenvolvimento da soja.

Tabela 1. Produção de biomassa e concentração inicial de nutrientes dos capins Paiaguás e Tamani em sistema de integração e milho em sucessão a soja.

Sistema de cultivo	Biomassa (kg ha <sup>-1</sup> )	Concentração de nutrientes (g kg <sup>-1</sup> )					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Capim-paiaguás	4898 a	19.14 a	2.17 a	17.10 a	3.95 a	3,08 a	3.58 a
Capim-tamani	4302 b	21.08 a	2.27 a	19.07 a	3.77 a	3,04 a	3.18 a
Milho	3409 c	10.63 b	1.51 b	7.13 b	2.26 b	1,65 b	2.64 b
Erro padrão	0,370	0,310	0,049	1,203	0,187	0,230	0,102
Valor p	0,032	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,004	<0,001

Médias seguidas por letras diferentes não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

O tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) para as biomassas de cobertura dos capins Paiaguás e Tamani foram semelhantes (69 e 70 dias, respectivamente), enquanto para milho o tempo de meia-vida foi mais curto (63 dias) (Figura 3a).

Houve influência ( $p < 0,05$ ) dos sistemas de cultivos na relação C:N (Figura 3b). Em todas as épocas avaliadas, o milho apresentou maior relação C:N quando comparado com as forrageiras, com valor inicial de 47,74 (Figura 3b).

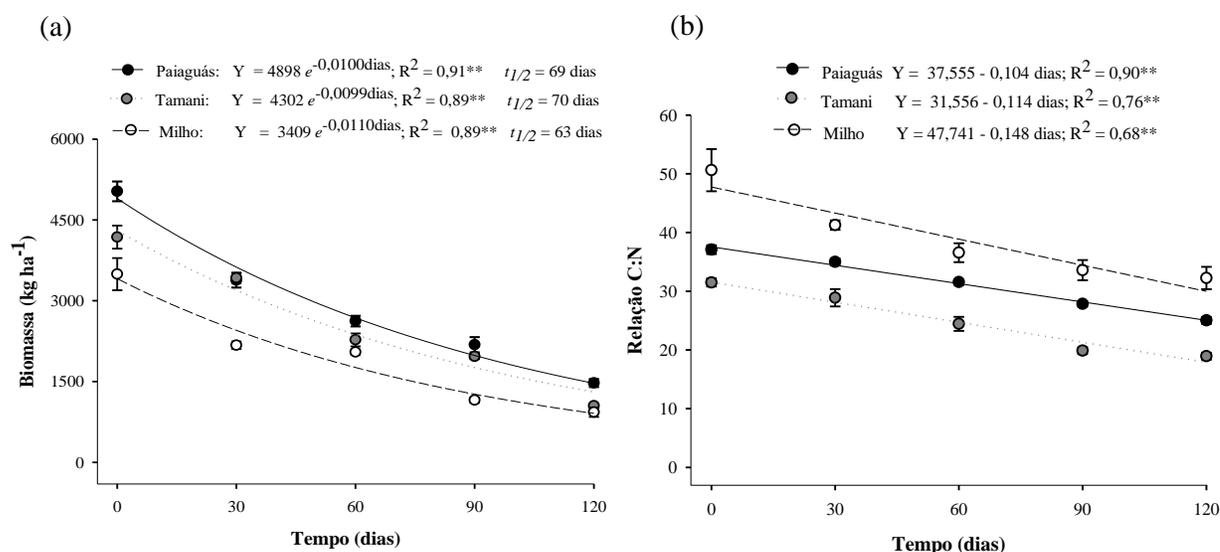


Figura 3. Biomassa remanescente (a) e relação C:N (b) dos capins Paiaguás e Tamani e milho, durante o cultivo da soja (de 0 a 120 dias).

Para a concentração inicial de nutrientes, as forrageiras apresentaram maiores valores para todos os nutrientes, diferenciando do milho com menor valor (Tabela 1). Houve redução exponencial no acúmulo de nutrientes para todas as biomassas dos sistemas de cultivos (Figura 4).

Para o acúmulo de nitrogênio e fósforo a partir de 30 dias os valores foram semelhantes entre as forrageiras. Já a biomassa produzida do milho apresentou menor acúmulo em todos os tempos de decomposição. Comparando os acúmulos iniciais de nitrogênio e fósforo com os valores atingidos aos 120 dias após o manejo, observa-se liberação de 80,5; 81,4; 75,3% de nitrogênio e de 94,1; 96,6 e 97,7% de fósforo para os capins Paiaguás, Tamani e milho, respectivamente.

Os capins Paiaguás e Tamani nos tempos 0, 30, 60 e 90 dias apresentaram maiores acúmulos de potássio, quando comparado com o milho (Figura 4c). Já aos 120 dias os valores foram semelhantes entre os sistemas de cultivo, com liberação de 94,1; 96,6 e 97,7% de potássio para os capins Paiaguás, Tamani e milho, respectivamente.

Para cálcio, magnésio e enxofre os maiores acúmulos de nutrientes de 30 a 120 dias foram obtidos no capim-paiaguás seguido do capim-tamani, sendo o milho com menor potencial de acumular esses nutrientes em todos os tempos de cultivo da soja. As taxas de liberação aos 120 de cálcio foi de 86,5; 84,4 e 83,8%; de magnésio de 81,7; 82,3 e 78,7% e de enxofre de 85,1; 86,1; 85,2, para os capins Paiaguás, Tamani e milho respectivamente.

Em relação ao tempo de meia-vida dos nutrientes, o menor tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) foi obtido para o potássio (19, 21 e 34 dias) para a biomassa dos capins Paiaguás, Tamani e milho, respectivamente, em comparação aos demais nutrientes.

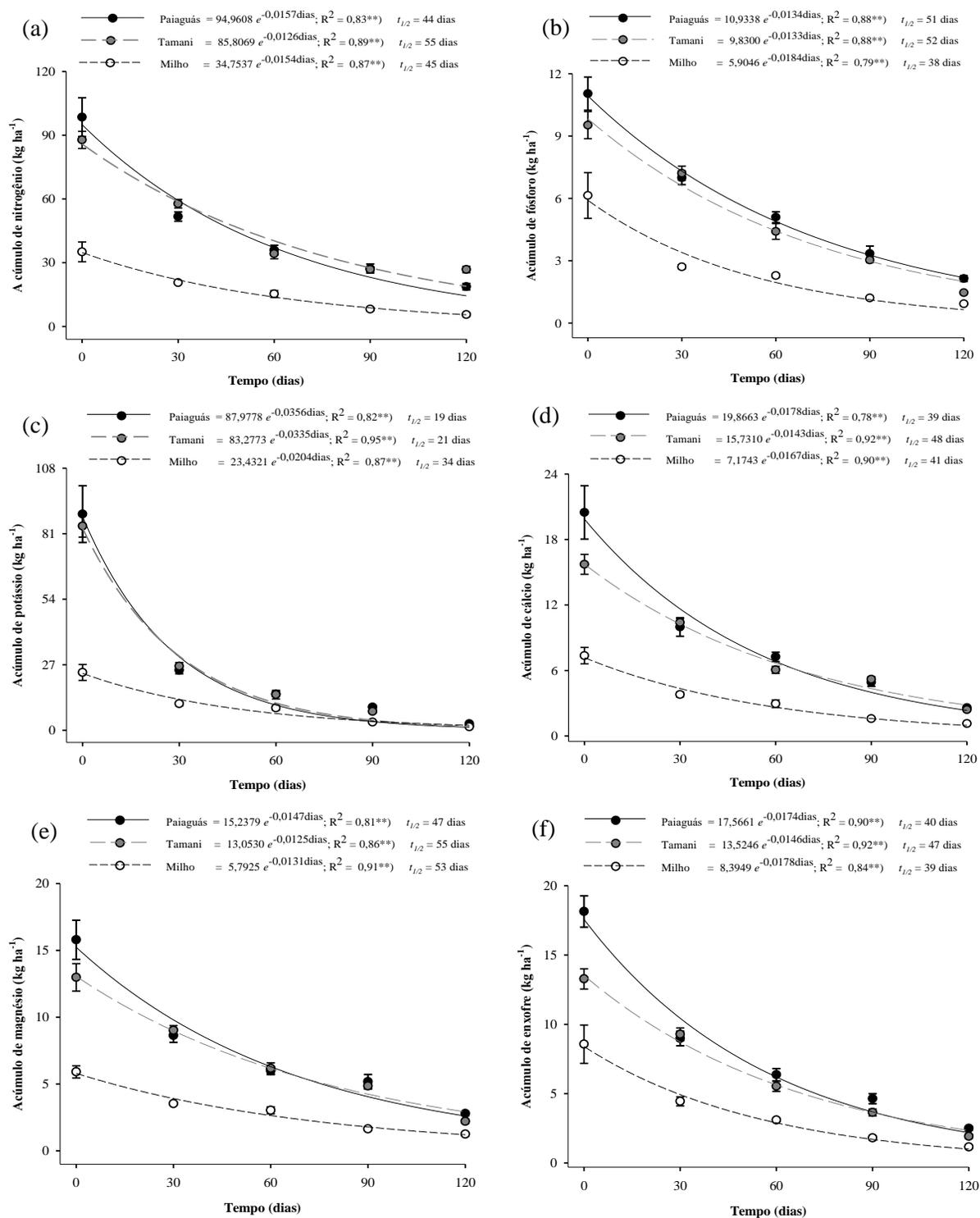


Figura 4. Acúmulo de nitrogênio (a), fósforo (b), potássio (c), cálcio (d), magnésio (e) e enxofre (f) na biomassa dos capins Paiaguás e Tamani e milho durante o cultivo da soja (de 0 a 120 dias).

O maior tempo de meia-vida, para nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre, foi obtido na biomassa do capim-tamani, indicando mais lenta taxa de liberação. Já para o potássio foi maior na biomassa de milho. Em contraste, os menores tempo de meia-vida para nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio foram obtidos na biomassa do capim-paiaguás, indicando mais rápida taxa de liberação de nutrientes e para fósforo e enxofre os menores valores foram obtidos na biomassa de milho.

Avaliando o equivalente em fertilizantes, observa-se na Tabela 2 que os capins Paiaguás e Tamani proporcionaram maior quantidade de equivalente de nitrogênio, fósforo e potássio, em relação ao milho.

Tabela 2. Conteúdos equivalentes em N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O na biomassa de cobertura de diferentes sistemas de cultivo.

Sistema de cultivo	Equivalente (kg ha <sup>-1</sup> )		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Capim-paiaguás	98,49 a	25,30 a	107,27 a
Capim-tamani	87,78 a	21,82 a	95,82 a
Milho	35,09 b	14,07 b	28,70 b
Erro padrão média	6,038	1,465	9,124
Pvalor	<0,001	<0,001	<0,001

Médias seguidas por letras diferentes não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

#### *Características agronômicas e produtividade da soja*

A altura de plantas da soja e altura média de inserção das primeiras vagens foi semelhante ( $p > 0,05$ ) entre as biomassas dos sistemas de cultivo, com média de 64,53 cm e 14,99 cm (Tabela 3). Já o número de vagem/planta e número de grãos/vagem da soja sob cultivo na biomassa do capim-paiaguás foi semelhante ao capim-tamani e superior ao milho. Para massa de 1000 grãos e produtividade de grãos os sistemas de cultivo dos capins Paiaguás e Tamani apresentaram maiores valores ( $p < 0,05$ ), com aumento de 16,9 e 12,8% em relação ao sistema de cultivo do milho (Tabela 3).

Tabela 1. Altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem, número de vagem por planta, número de grãos por vagem, massa de 1000 grãos, produtividade de grãos da soja sob a biomassa dos capins Paiaguás e Tamani, e milho em monocultivo.

<b>Sistema de cultivo</b>	<b>Altura plantas (cm)</b>	<b>Inserção 1ª vagem (cm)</b>	<b>Número vagem/planta</b>
Capim-paiaguás	68,03 a	15,97 a	67,62 a
Capim-tamani	65,37 a	15,03 a	57,93 ab
Milho	60,21 a	13,98 a	50,05 b
Erro padrão média	2,040	1,491	0,577
Pvalor	0,081	0,112	0,019
	<b>Número grãos/vagem</b>	<b>Massa 1000 grãos (g)</b>	<b>Produtividade (kg ha<sup>-1</sup>)</b>
Capim-paiaguás	2,77 a	185,9 a	5205 a
Capim-tamani	2,42 ab	181,7 a	5229 a
Milho	2,16 b	157,2 b	4623 b
Erro padrão média	0,107	1,348	0,673
Pvalor	0,008	0,023	0,005

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## DISCUSSÃO

A maior produção de biomassa do capim-paiaguás se deve ao elevado potencial dessa forrageira em se desenvolver mesmo com baixa precipitação (Figura 1), devido a sua rebrota vigorosa e rápida. Essa forrageira apresenta colmos finos e com alta produtividade (Epifanio et al., 2019) que proporciona excelente cobertura do solo (Costa et al., 2017).

Características semelhantes também são observadas no capim-tamani, que é uma forrageira de porte baixo, colmo fino e curto, mas que apresenta alta produção de forragem (Machado et al., 2017; Maciel et al., 2018; Martuscello et al., 2019; Dias et al., 2020), porém tem menor tolerância a seca, quando comparada com capim-paiaguás.

Estudos desenvolvidos por Costa et al., (2016a); Santos et al., (2016) e Guarnieri et al., (2019), demonstraram que o capim-paiaguás é umas das forrageiras mais indicada para a integração lavoura-pecuária, com resultados satisfatórios em produtividade, principalmente no período de escassez hídrica e se torna opção interessante para a produção de biomassa

(Costa et al., 2016b) e acúmulo de nutrientes (Costa et al., 2017), para o sistema de plantio direto da soja (Santos et al., 2020).

No período de entressafra, as forrageiras foram pastejadas durante 84 dias e mesmo com altas taxas de lotação no período do ano de escassez hídrica. Após a retirada dos animais essas forrageiras apresentaram rebrota rápida no início do período chuvoso, favorecendo a produção de biomassa do tempo zero (Figura 2) para o sistema de plantio direto da soja. Outra razão para aumento na produção de biomassa foi a fertilidade do solo associada a deposição de excrementos dos animais. Nos sistemas integrados com forrageiras tropicais, tem-se possibilidade de inserção de animais na área, em que há o aproveitamento das excretas dos animais que constituem via de retorno de nutrientes no solo (He et al., 2016), que contribui para fertilidade do solo e muda a dinâmica de mineralização. Ressalta-se ainda que o pastejo dos animais estimula a rebrota vigorosa das forrageiras, favorecendo o crescimento para produção de biomassa (Dias et al., 2020).

Vários estudos têm demonstrado que o pastejo dos animais em sistema de integração lavoura-pecuária pode modificar os nutrientes e taxas de ciclagem de resíduos vegetais, alterando a forma bioquímica dos nutrientes, distribuição espacial dentro do pasto, e o momento da liberação ou disponibilidade (Assmann et al., 2017), pelo retorno dos nutrientes através da excreção do esterco e urina. Nesse sentido, os animais atuam como nutrientes agentes de reciclagem (Carvalho et al., 2010), podendo resultar em menor necessidade de fertilizante para a próxima cultura e manutenção da sustentabilidade da produção ao longo do tempo (Costa et al., 2016).

A menor produção de biomassa do milho ( $3409 \text{ kg ha}^{-1}$ ) se deve a decomposição antecipada deste na entressafra, em que o material permaneceu no solo por mais tempo, em comparação as forrageiras. No entanto, a biomassa produzida pelo milho não apresenta boa cobertura de solo, pela grande quantidade de colmos, fazendo com que haja menor quantidade de biomassa sobre o solo, diminuindo o contato desta com a superfície. Em estudo da produção de biomassa do milho, Silva et al. (2015) verificaram produção de  $4946 \text{ kg ha}^{-1}$  logo após a colheita dos grãos. Já Ferreira et al. (2016) aos 47 dias após a colheita, obtiveram produção de biomassa de  $6117 \text{ kg ha}^{-1}$ , com 43% de perda da biomassa em relação a biomassa inicial neste mesmo período.

Vale ressaltar o potencial de produção de biomassa do capim-paiaguás, que mesmo no ciclo final de soja, a produção média foi de 1498 kg ha<sup>-1</sup>, sendo superior em 39% em comparação ao capim-tamani (1076 kg ha<sup>-1</sup>) e 61% ao milho (930 kg ha<sup>-1</sup>), proporcionando maior tempo de duração na superfície do solo e garantindo a cobertura por período prolongado.

Esse resultado é relevante e muito importante na região de Cerrado do Brasil Central, onde apresenta altas temperaturas, no decorrer do ano, acelerando a decomposição do material, que dificulta a permanência da biomassa na superfície do solo (Costa et al., 2015; Zagato et al., 2018). Além disso, nessa região ocorre com frequência veranicos, prejudicando o desenvolvimento da cultura. Com o solo protegido pela biomassa, diminui-se a perda de umidade, assegurando maior estabilidade para a produção em relação às condições climáticas.

A elevada porcentagem de perdas de biomassa (70,7, 74,4 e 72,7% para os capins Paiaguás, Tamani e milho, respectivamente), indicam a quantidade que foi mineralizada, com consequente contribuição na ciclagem de nutrientes e matéria orgânica do solo. Além do benefício da ciclagem de nutrientes, a biomassa favorece a atividade microbológica, melhora as propriedades do solo e é uma fonte de nutrientes e energia para os microorganismos (Malhi et al., 2018), e deixam o solo coberto durante a entressafra. O sistema de integração lavoura-pecuária, no longo prazo, promove aumento na atividade de microorganismos em profundidade, melhora na qualidade dos atributos químicos do solo e contribuiu para o acúmulo de carbono no solo, obtendo valores de carbono orgânico total próximos aos obtidos no Cerrado nativo (Soares et al., 2019).

A maior relação C:N do milho em todas as épocas avaliadas é explicada pela maior proporção de material recalcitrante (Miguel et al., 2018), como colmo, sabugo e palha da espiga. Visto que nessas estruturas da planta se concentra mais lignina, atribuindo a esse material maior resistência à ação e penetração de microorganismos decompositores, o que dificulta sua decomposição. As maiores concentrações de carbono nas frações da planta do milho se encontram geralmente nas espigas e caules, seguida de folhas, pendão e cascas (Barbosa et al., 2016). Avaliando a biomassa e relação C:N em consórcios de sorgo e milho com espécies de cobertura, da Silva et al. (2009) verificaram que o milho em monocultivo acumula menos nitrogênio e apresenta elevada relação C:N.

Os menores valores de relação C:N das forrageiras são decorrentes da alta relação lâmina foliar:colmo que as forrageiras apresentam, promovendo degradação mais intensa do que do milho. No entanto, ambas as forrageiras apresentaram boa cobertura do solo, formado pela quantidade de liteiras presente na área. Vale ressaltar que a possível razão para a redução na relação C:N dos resíduos com o passar do tempo, em contraste com as observações de Calonego et al. (2012), é a possibilidade de lixiviação de nitrogênio de folhas senescentes da cultura da soja caídas sobre as “*litter bags*”.

A velocidade de decomposição da biomassa remanescente é o que determina o tempo de permanência da cobertura morta no solo, que é influenciada pelos conteúdos de lignina e pela relação C:N nos resíduos. As gramíneas forrageiras, geralmente produzem quantidades relativamente elevadas de biomassa, caracterizada também pela alta relação C:N, e contribui para aumentar a persistência da cobertura do solo (Oliveira et al., 2019). Valores de relação C:N entre 12 e 25 contribuem com a mineralização e valores maiores que 50 colaboram com a imobilização dos nutrientes no solo, o ideal é o equilíbrio entre os dois processos que se encontram entre 25 e 30 (Truong and Marschner, 2018).

No ciclo final de desenvolvimento da soja (120 dias) a relação C:N do capim-paiaguás foi de 27,5 e do capim-tamani de 19,8. Estes resultados mostraram que o capim-paiaguás manteve relação C:N adequada (acima de 25), estando mais próximas da imobilização do que da mineralização, indicando que os resíduos são altamente recalcitrantes. Para região de Cerrado do Brasil Central, esse resultado é de suma importância, onde normalmente apresenta temperaturas elevadas, favorecendo o processo de decomposição da biomassa.

Os maiores valores de acúmulo de nitrogênio nos capins Paiaguás e Tamani, podem ser atribuídos a maior produção de biomassa dessas forrageiras. Além disso, tais resultados estão relacionados com a maior produção de folhas que essas gramíneas apresentam, concentrando maior quantidade de nutrientes, favorecendo a ciclagem de nitrogênio. Outro fator que pode ter contribuído para o maior acúmulo de nitrogênio é retorno dos nutrientes através da excreção do esterco e urina, aumentando a reciclagem de nutriente (Carvalho et al., 2010), que influenciou na maior concentração.

Considerando que significativa parte do nitrogênio acumulado nas biomassas estudadas será depositado no solo, pode-se inferir que a biomassa dos capins Paiaguás e Tamani contribuíram significativamente para o suprimento de nitrogênio da soja na fase

inicial, período em que a fixação biológica de nitrogênio não é efetiva. Para a biomassa de milho, foi possível avaliar acúmulo inicial de 34,75 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, valor insuficiente para a demanda da soja. Neste caso, é importante ressaltar que a biomassa esteve sobre o solo por um período mais prolongado (entressafra) que os sistemas de cultivo dos capins Paiaguás e Tamani, por esta razão, é possível que parte significativa do nitrogênio acumulado na biomassa do milho foi incorporado ao solo ou perdido. O nitrogênio é extraído pela soja na ordem de 190 a 372 kg ha<sup>-1</sup>, sendo que 65 a 85% vem da fixação simbiótica do N<sub>2</sub> atmosférico, e o restante fornecida pelo solo (Oliveira et al., 2016).

O nitrogênio e o potássio são os dois nutrientes mais extraídos pelas plantas forrageiras (Costa et al., 2015; Costa et al., 2017), e no presente trabalho foram encontrados em maior abundância na biomassa dos capins Paiaguás e Tamani.

O acúmulo de fósforo, potássio e enxofre foi satisfatório na biomassa dos sistemas de cultivo dos capins Paiaguás e Tamani quando se observa a extração requerida pela soja como cultura sucessora, mostrando que essas forrageiras podem liberar quantidades próximas para a necessidade da cultura. O mesmo não foi observado para o cálcio e o magnésio, ficando o acúmulo destes na biomassa inferior para a demanda da soja. Já que a soja extrai na ordem de 14 a 34 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo; 95 a 250 kg ha<sup>-1</sup> de potássio; 50 a 118 kg ha<sup>-1</sup> de cálcio; 29 a 46 kg ha<sup>-1</sup> de magnésio e 11 a 19 kg ha<sup>-1</sup> de enxofre kg ha<sup>-1</sup> (Oliveira et al., 2016).

O acúmulo inicial de todos os nutrientes na biomassa de milho foi significativamente inferior aos dos capins Paiaguás e Tamani. Uma das explicações podem ser em razão da colheita do milho ter ocorrido 68 dias antes do primeiro momento de análise de concentração de nutrientes na biomassa, período no qual perdas de nutrientes da biomassa ocorreram. Apesar deste contraste inicial, durante o período de avaliação as diferenças entre os sistemas de cultivos foram reduzidas consideravelmente.

Avaliando a ciclagem de nutrientes do milho consorciado com espécies de *Brachiaria*, Oliveira et al. (2019) verificaram que o maior acúmulo de nutrientes foi registrado para *Brachiaria brizantha*, seguida da *Brachiaria ruziziensis* e que o consórcio entre milho e *Brachiaria brizantha* na safra foi a melhor opção para aumentar a produção de biomassa e a ciclagem de nitrogênio, fósforo e potássio.

A quantidade e a liberação dos nutrientes oriundos de resíduos de biomassa previamente cultivada são de grande importância no manejo de nutrientes em uma

perspectiva de ciclagem em sistemas produtivos. Neste sentido, o período de maior demanda da planta deve coincidir com o período de maior liberação de nutrientes da biomassa. Como forma de racionalizar os manejo de nutrientes, a contribuição da biomassa no suprimento de nutrientes deve ser considerada quando do cálculo da dose de fertilizante a ser aplicada (Santos et al., 2014). Como consequência, pode haver redução na necessidade de adição de nutrientes de fontes externas, reduzindo custos de produção, e potencialmente reduzindo perdas de nutrientes por desnitrificação ou lixiviação (Soares et al., 2019).

A soja tem a maior parte do acúmulo dos macronutrientes entre 82 e 92 dias, e a maior taxa de absorção ocorre entre 39 e 58 dias (Carmello e Oliveira, 2006). No presente estudo o tempo de meia-vida dos nutrientes foi em média 46 dias, exceto para o potássio e como pode ser observado, houve maior liberação dos nutrientes até os 85 dias, mostrando o potencial dos capins como reserva e suprimento de nutrientes para a cultura sucessora.

O maior tempo de meia-vida do fósforo é decorrente da grande parte que está associada aos componentes estruturais das plantas (Hawkesford et al., 2012) e sua liberação depende da decomposição microbiana do resíduo. Em avaliação da ciclagem de fósforo em sistema de integração lavoura-pecuária, Assmann et al. (2017), constataram mais rápida liberação de fósforo sob sistema de pastejo intensivo, pois a maior quantidade de estrume bovino muda a dinâmica da atividade microbológica do solo. De acordo com a Jouany et al. (2011), o pastejo pode ser considerado como regulador fósforo lábil e o efeito deste processo depende do consumo de pastagem e da reciclagem de urina e esterco.

O menor tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) do potássio se deve por ser um elemento que não faz parte de nenhuma estrutura ou moléculas orgânicas na planta, predominantemente cátion livre com alta mobilidade nas plantas, que é facilmente lavado pela água das chuvas, após o rompimento das membranas plasmáticas (Taiz et al., 2017). Assim, o potássio está prontamente disponível e liberação com pouca dependência de processos microbianos (Assmann et al., 2017). Este resultado também é corroborado pelas observações de Miguel et al. (2018) que observaram liberação acelerada de potássio da biomassa ao solo, especialmente nos primeiros 30 dias.

Os acúmulos de nutrientes e os tempos de meia-vida do cálcio, magnésio e enxofre evidenciam a importância da ciclagem de nutrientes dos capins Tamani e Paiaguás para o fornecimento destes no sistema para a cultura da soja. As concentrações de enxofre e de

magnésio são liberadas ao solo de forma mais rápida que o cálcio em função de constituírem aminoácidos sulfonados. Já o cálcio é constituinte, predominantemente, dos pectatos de cálcio no tecido vegetal. Os pectatos são mais insolúveis e demoram mais tempo para serem decompostos por microrganismos (Marschner, 2011).

A ordem decrescente de acúmulo dos nutrientes da biomassa remanescente dos capins Paiaguás e Tamani foi:  $N > K > Ca > S > Mg > P$ . Para a biomassa do milho foi:  $N > K > S > Ca > P > Mg$ . Os nutrientes que apresentaram maiores concentrações acumulados na biomassa foram o nitrogênio e o potássio. Já o fósforo, cálcio, magnésio e enxofre apresentaram as menores concentrações acumuladas, estes valores, entretanto, também são indicativos de ciclagem de nutrientes, uma vez que quantidades menores destes nutrientes são requeridas pelas culturas subsequentes.

Os dados em equivalentes de fertilizantes evidenciam a importância das forrageiras no balanço nutricional das plantas nos sistemas integrados de produção. Os valores de equivalentes em fertilizantes (N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$ ) nas forrageiras foram superiores aos encontrados na biomassa do milho, em decorrência da maior produção de biomassa e liberação de nutrientes dos resíduos vegetais.

Tanaka et al. (2019) concluíram que as forrageiras (em especial a *Brachiaria brizantha*) quando empregada como cobertura vegetal, promove maior ciclagem de nutrientes e permitiu que os agricultores produzam de forma sustentável, corroborando com os resultados do presente estudo. Assmann et al. (2017) ressaltam a importância de se considerar os nutrientes oriundos da biomassa em sistemas integrados no cálculo de recomendações de fertilizantes, pois grande proporção desse nutriente retorna ao solo. Essa maior quantidade de nutrientes equivalentes das forrageiras proporcionaram maiores produtividades nas culturas subsequentes, e diminuiu o custo com a compra de fertilizantes químicos. Sendo assim, ao considerar o elevado custo dos fertilizantes, é possível que o uso contínuo de plantas de cobertura, nos sistemas agrícolas de produção de soja, proporcione o uso mais eficiente dos nutrientes disponíveis no solo, com reflexos favoráveis sobre o custo de produção e também mantém maior sustentabilidade na produção (Dias et al., 2020).

A altura de plantas de soja foi em média de 64,53 cm, e está de acordo com os resultados de Machado et al. (2017). A altura média de plantas e inserção das primeiras

vagens são características que variam entre os genótipos de soja e apresentam alguma plasticidade em relação às alterações ambientais (Franchini et al., 2014).

Os efeitos da cobertura vegetal nas características agronômicas da soja também foram avaliados em alguns trabalhos como de Crusciol et al. (2014), que avaliando a semeadura do capim-marandu nas lavouras de soja em diferentes estágios, obtiveram valor médio de altura de planta da soja de 64,8 cm, sendo semelhante ao obtido neste estudo.

A altura média de inserção das primeiras vagens dos sistemas de cultivo foi de 14,99 cm, sendo semelhantes aos obtidos nos estudos de Franchini et al. (2014) e Crusciol et al. (2014). A altura de inserção das vagens, que tem relação direta com a produtividade de grãos (Carkner e Entz, 2017), sendo assim, altura da primeira vagem a 15 cm permite a colheita de forma eficiente, pois menores valores implicam em perda na colheita por causa da altura do corte da plataforma da colhedora (Pereira et al., 2010).

O maior valor para número de grãos/vagem obtido pelo capim-paiaguás pode estar associado a maior quantidade de biomassa, que contribuiu para maior ciclagem de nutrientes. Machado et al. (2017), relataram que o sistema radicular fasciculado das forrageiras tropicais permite que as plantas explorem maior volume de solo e tenham maior capacidade de extração de água do que uma planta com raiz pivotante, como a soja.

É importante destacar que as forrageiras tropicais contribuem na estabilidade das partículas na agregação, estruturação e permeabilidade do solo, podendo favorecer o desenvolvimento do sistema radicular e permitir a maior exploração do seu perfil, facilitando o desenvolvimento do sistema radicular até as camadas mais profundas, descompactando o solo, proporcionando maior absorção de água e nutrientes e, melhorando o arejamento das camadas exploradas pelas raízes com impacto positivo na produção da cultura (Flávio Neto et al., 2015).

Verifica-se que os maiores valores observados para massa de 1000 grãos e produtividade de grãos da soja obtidos na cobertura das forrageiras, estão relacionados com a maior produção de biomassa das forrageiras e acúmulo e liberação de nutrientes, e indica a eficiência na adoção do sistema de integração para produção de biomassa adequada para o sistema de plantio direto, em cultivos sequenciais.

Vale ressaltar que o manejo adequado dos animais no sistema integração lavoura-pecuária é importante para maximizar os benefícios da ciclagem de nutrientes, porque o

pastejo adequado aumenta o conteúdo de matéria orgânica do solo (Assmann et al. 2014), pelo retorno dos nutrientes através da excreção do esterco e urina, e os animais atuam como nutrientes agentes de reciclagem (Carvalho et al., 2010), beneficiando a próxima cultura.

Maior produtividade da soja em sistemas integrados, quando comparadas com milho em sucessão também foi observada no estudo de Dias et al. (2020), evidenciando a importância do aproveitamento das excretas dos animais que constituem via de retorno de nutrientes, proteção do solo pelas forrageiras e melhor ciclagem de nutrientes para a cultura da soja.

Carvalho et al. (2018) destacaram que áreas sem pastejo, onde a vegetação serve ao único propósito de produzir biomassa para o sistema de plantio direto em sucessão, não produzem mais que em áreas pastejadas, e que a introdução do componente animal para o sistema traz diversos benefícios na reciclagem de nutrientes. Sendo assim, essa é a principal vantagem da utilização do sistema de integração na entressafra, comparada com a safra de milho, em decorrência dos benefícios das forrageiras e animais.

A sucessão de forrageiras a soja, constitui como opção para diversificação das atividades (Figura 2) e maximizar o uso do solo durante todo ano. Sistemas de integração lavoura-pecuária aliados ao sistema de plantio direto contribuem para a melhoria da receita da propriedade (Crusciol et al., 2014), com maior sustentabilidade.

## CONCLUSÕES

O uso do sistema de integração lavoura-pecuária na forma de sucessão das forrageiras proporcionou maior cobertura de solo e ciclagem de nutrientes em comparação ao cultivo de milho em sucessão, e resultou em maior produtividade da soja, contribuindo assim para a sustentabilidade agrícola.

Os capins Paiaguás e Tamani apresentaram relação C:N maior que 30:1, indicando lenta decomposição dos resíduos vegetais. As forrageiras acumularam em sua biomassa quantidades de nutrientes que supriram a demanda da soja resultando em maior produtividade de grãos.

## REFERÊNCIAS

ASSMANN, J. M.; ANGHINONI, I.; MARTINS, A. P.; COSTA, S. E. V. G. A.; KUNRATH, T. R.; BAYER, C.; CARVALHO, P. C. F. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop-livestock system under no-tillage in Southern Brazil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v.190, p.52–59, 2014.

ASSMAN, J. M.; MARTINS, A. P.; ANGHINONI, I.; DENARDIN, L. G. O.; NICHEL, G. H.; COSTA, S. E. V. 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, p.21–33, 2017.

BARBOSA, J. Z.; FERREIRA, C. F.; SANTOS, N. Z.; MOTTA, A. C. V.; PRIOR, S.; GABARDO, J. Production, carbon and nitrogen in stover fractions of corn (*Zea mays* L.) in response to cultivar development. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 6, p. 665-675, 2016.

CALONEGO, J. C.; GIL, F. C.; ROCCO, V. F.; SANTOS, E. A. dos. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 5, p. 770-781, 2012.

CARKNER, M.K.; ENTZ, M.H. Growing environment contributes more to soybean yield than cultivar under organic management. **Field Crops Research**, v. 207, n.1, p.42-51. 2017.

CARMELLO, Q. A. C.; OLIVEIRA, F. A. Nutrição de lavouras de soja: situação atual e perspectivas. **Visão Agrícola**, v. 3, n. 5, p. 8-11, 2006.

CARVALHO, P. C. D. F.; BARRO, R. S.; BARTH NETO, A.; NUNES, P. A. D. A.; MORAES, A. D.; ANGHINONI, I.; BREDEMEIER, C.; BAYER, C.; MARTINS, A. P.; KUNRATH, T. R.; SANTOS, D. T.; CARMONA, F. C.; BARROS, T.; SOUZA FILHO, W.; ALMEIDA, G. M.; CAETANO, L. A. M.; CECAGNO, D.; ARNUTI, F.; DENARDIN, L. G. O.; BONETTI, J. A.; TONI, C. A. G.; BORIN, J. B. M. Integrating the pastoral component in agricultural systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 47, 2018.

CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; SOUZA, E. D.; SULC, M. R.; LANG, C. R.; FLORES, J. P. C.; LOPES, M. L. T.; SILVA, J. L. S.; CONTE, O.; WESP, C. L.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R. S.; BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.88, p.259–273, 2010.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; FERNANDES, J. C.; CAVASANO, F. A.; ULIAN, N. A.; PARIZ, C. M.; SANTOS, F. G. dos. Acúmulo de nutrientes e decomposição da palhada de braquiárias em função do manejo de corte e produção do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 2, p. 166-173, 2014.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; ULIAN, N. A.; COSTA, B. S.; PARIZ, C. M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Acúmulo de nutrientes e tempo de decomposição da palhada de espécies forrageiras em função de épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, v. 31, p. 818-829, 2015.

COSTA, R. R. G. F.; COSTA, K. A. P.; ASSIS, R. L.; SANTOS, C. B.; SEVERIANO, E. C.; ROCHA, A. F. S.; 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, p. 4661-4673, 2016b.

COSTA, R. R. G. F.; COSTA, K. A. P.; SANTOS, C. B.; SEVERIANO, C. E.; EPIFANIO, P. S.; SILVA, J. T.; TEIXEIRA, D. A. A.; SILVA, V. R. Production and nutritional characteristics of pearl millet and Paiaguas palisadegrass under different forage systems and sowing periods in the offseason. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 19, p. 1712-1723, 2016a.

COSTA, R. R. G. F.; COSTA, K. A. P.; SEVERIANO, E. C.; SANTOS, C. B.; ROCHA, A. F. S.; SOUZA, W. F.; BRANDSTETTER, E. V.; CASTRO, W. A. Nutrients cycling and accumulation in pearl millet and Paiaguas palisadegrass biomass in different forage systems and sowing periods. **Revista Scientia Agraria**, v. 18, n. 4, p. 166-178, 2017.

CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; MATEUS, G. P.; PARIZ, C. M.; MARTINS, P. O.; BORGHI, E. Intercropping soybean and palisad grass for an hanced land use efficiency and revenue in a no till system. **European Journal of Agronomy**, n. 58, p. 53-62. 2014.

DIAS, M. B. C.; COSTA, K. A. P.; SEVERIANO, E. C.; BILEGO, U.; FURTINI NETO, A. E.; ALMEIDA, D. P.; BRAND, S. C.; LOURIVAL, V. *Brachiaria* and *Panicum maximum* in an integrated crop-livestock system and a second-crop corn system in succession with soybean. **The Journal of Agricultural Science**, p.1-12,2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA (EMBRAPA). “Boi Safrinha” na Integração Lavoura-Pecuária no Oeste Baiano. (**Circular técnica 35**) **Embrapa Cerrados**, p. 6, 2017.

EPIFANIO, P. S.; COSTA, K. A. P.; SEVERIANO, E.C.; SOUZA, W.F., TEIXEIRA, D.A.A.; SILVA, J. T.; AQUINO, M. M. Productive and nutritional characteristics of *Brachiaria brizantha* cultivars intercropped with *Stylosanthes* cv. Campo Grande in different forage systems. **Crop & Pasture Science**, v.70, n. 8, p.718-729, 2019.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes: An R Package for ANOVA and Experimental Designs. **Applied Mathematics**, v. 5, n. 19, p. 2952-2958, 2014.

FERREIRA, W. S.; BRAZ, A. J. B. P.; ASSIS, R. L.; COSTA, K. A. P.; SILVA, A. G.; TORRES, J. L. R. Cultivo do milho e da soja em sucessão as culturas de safrinha em Rio Verde-GO. **Energia na Agricultura**, v. 31, n. 3, p. 291-297, 2016.

FLÁVIO 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.

GU, B.; ZHANG, X.; BAI, X.; FU, B.; CHEN, D. Four steps to food security for swelling cities. **Nature**, v.566, n.7742, p.31–33 2019.

GUARNIERI, A.; COSTA, K. A. P.; SEVERIANO, E. C.; SILVA, A. G.; OLIVEIRA, S. S.; SANTOS, C. B. Agronomic and productive characteristics of maize and Paiaguas palisadegrass in integrated production systems. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 3, p. 1185-1198, 2019.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, I. S.; WHITE, P. Functions of Macronutrients. In: Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. [s.l.] **Elsevier**, 2012. p. 135–189.

HE, Z.; PAGLIARI, P. H.; WALDRIP, H. M. Applied and environmental chemistry of animal manure: A review. **Pedosphere**, v.26, p.779–816, 2016.

JANK, L.; VALLE, C.; RESENDE, R. M. S. Breeding tropical forages. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 11, p. 27-34, 2011.

JOUANY, C.; CRUZ, P.; DAUFRESNE, T.; DURU, M. Biological phosphorus cycling in grasslands: interaction with nitrogen. In: Bunemann EK, Oberson A, Frossard E (eds) Soil Biology: **Phosphorus in Action**. Springer-Verlag, Berlin, Biological Processes in Soil Phosphorus Cycling, p. 275–294, 2011.

MACHADO, L. A. Z.; CECATO, U.; COMUNELLO, E.; CONCENÇO, G.; CECCON, G. Estabelecimento de forrageiras perenes em consórcio com soja, para sistemas integrados de produção agropecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 7, p. 521-529, 2017.

MACIEL, G. A.; BRAGA, G. J.; GUIMARÃES JUNIOR, R.; RAMOS, A. K. B.; CARVALHO, M. A.; FERNANDES, F. D.; FONSECA, C. E. L.; JANK, L. Seasonal live weight gain of beef cattle on guinea grass pastures in the Brazilian Cerrados. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 2, 480-487, 2018.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba:Potafos, 1997. 319p.

MALHI, S. S.; LÉGÈRE, A.; VANASSE, A.; PARENT, G. Effects of long-term tillage, terminating no-till and cropping system on organic C and N, and available nutrients in a Gleysolic soil in Québec, Canada. **The Journal of Agricultural Science**, v.156, p.472–480, 2018.

MARTUSCELLO, J. A.; RIOS, J. F.; FERREIRA, M. R.; ASSIS, J. A.; BRAZ, T. G. S.; VIEIRA CUNHA, D. N. F. Produção e morfogênese de capim BRS tamani sob diferentes doses de nitrogênio e intensidades de desfolhação. **Boletim da Indústria Animal**, v.76, p.1-10, 2019.

MARSCHNER, Horst. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Academic press, 2011.

MIGUEL, A. S. D. C. S.; PACHECO, L. P.; CARVALHO, Í. C.; SOUZA, E. D.; FEITOSA, P. B.; PETTER, F. A. Phytomass and nutrient release in soybean cultivation systems under no-tillage. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 53, n. 10, p. 1119-1131, 2018.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C.; PEREIRA, L. R.; DOMINGOS, C. S. Estádios Fenológicos E Marcha De Absorção De Nutrientes Da Soja. **Embrapa Soja**, 2016.

OLIVEIRA, S. M.; ALMEIDA, R. E. M.; JUNIOR, C. P.; REIS, A. F. B.; SOUZA, L. F. N.; FAVARIN, J. L. Contribution of corn intercropped with *Brachiaria* species to nutrient cycling. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.49. ed 55018, p.1-9, 2019.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego, Academic Press, p. 275, 1989.

PEREIRA JÚNIOR, P.; REZENDE, P. M.; MALFITANO, S. C.; LIMA, R. K., CORRÊA, L. V. T.; CARVALHO, E. R. Efeito de doses de silício sobre a produtividade e características agrônômicas da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 34, n. 4, p. 908-913, 2010.

REIS, J. C.; KAMOI, M. Y. T.; LATORRACA, D.; CHEN, R. F. F.; MICHETTI, M.; WRUCK, F. J.; GARRETT, R. D.; VALENTIM, J. F.; RODRIGUES, R. A. R.; RODRIGUES FILHO, S. Assessing the economic viability of integrated crop-livestock systems in Mato Grosso, Brazil. **Renewable Agriculture and Food Systems** 1–12, 2019.

SANTOS, C. B.; COSTA, K. A. P.; SOUZA, W. F.; SILVA, A. G.; SILVA, V. C.; OLIVEIRA, I. R.; BRANDSTETTER, E. V. Intercropping of sorghum with Paiaguas palisade grass in a crop-livestock integration system for pasture recovery. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 7, p. 1072-1080, 2020.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, K. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 5. ed. Brasília, DF:Embrapa Solos, 2018.

SANTOS, C. B.; COSTA, K. A. P.; OLIVEIRA, I. P.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, R. R. G. F.; SILVA, A. G.; GUARNIERI, A.; SILVA, J. T. Production and nutritional characteristics of sunflowers and Paiaguas palisadegrass under different forage systems in the off season. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 2, p. 460-470, 2016.

SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; VILELA, L.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. D. C. S.; VIANA, J. H. M.; Decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de milho e braquiária, sob integração lavoura-pecuária no cerrado baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1855-1861, 2014.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; CURI, N.; COSTA, K. A. P.; CARDUCCI, C. E. Preconsolidation pressure, soil water retention characteristics, and texture of Latosols in the Brazilian Cerrado. **Soil Research**, v. 51, p. 193-202, 2013.

SNEDECOR, G.W.; COCHRAN, W.G. **Statistical methods**. 8.ed. Ames: Iowa State University Press, 1989. 503p.

SILVA, A. R.; SALES, A.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M. Híbrido simples de milho (brs 1030) submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Global Science and Technology**, v. 08, n. 03, p. 50-58, 2015.

SILVA, J.F.G.; GONÇALVES, W.G.; COSTA, K.A.P.; FLÁVIO NETO, J.; BRITO, M.F.; SILVA, F.C.; SEVERIANO, E.C. Crop-livestock integration and the physical resilience of a degraded Latosol Integração agricultura-pecuária e resiliência física de um Latossolo degradado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 6, suplemento 2, p. 2973-2990, 2019.

SILVA, P. C. G.; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B.; TIRITAN, C. S. Fitomassa e relação C/N em consórcios de sorgo e milho com espécies de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 11, p. 1504-1512, 2009.

SOARES, D. S.; RAMOS, M. L. G.; MARCHÃO, R. L.; MACIEL, G. A.; OLIVEIRA, A. D.; MALAQUIAS, J. V.; CARVALHO, A. M. How diversity of crop residues in long-term no-tillage systems affect chemical and microbiological soil properties. **Soil and Tillage Research**, v. 194, p. 104316, 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TANAKA, K. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; MOMESSO, L.; COSTA, C. H. M.; FRANZLUEBBERS, A. J.; JUNIOR, A. O.; CALONEGO, J. C. Nutrients released by Urochloa cover crops prior to soybean. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 113, n.3, p. 267-281, 2019.

THOMAS, R. J.; ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p.1351-1361, 1993.

TRUONG, T.H.H.; MARSCHNER, P. Respiration, available N and microbial biomass N in soil amended with mixes of organic materials differing in C/N ratio and decomposition stage. **Geoderma**, v. 319, p.167–174, 2018.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, B. 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.

ZAGATO, L. Q. S. D.; ARAUJO, L. C.; SANTOS, S. N. A.; LUDKIEWICZ, M. G. Z.; SILVEIRA, O.; DOS SANTOS, A. C. Decomposition of straw resulting from different strategies of recovery of degraded pastures using an integrated crop-livestock system. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, n. 4, p. 1397-1406, 2018.

## 5. CONCLUSÃO GERAL

O uso do sistema de integração lavoura-pecuária na forma de sucessão das forrageiras proporcionou maior cobertura de solo e ciclagem de nutrientes em comparação ao cultivo de milho em sucessão, e resultou em maior produtividade da soja, contribuindo assim para a sustentabilidade agrícola.

Os capins Paiaguás e Tamani apresentaram relação C:N maior que 30:1, indicando lenta decomposição dos resíduos vegetais. As forrageiras acumularam em sua biomassa quantidades de nutrientes que supriram a demanda da soja resultando em maior produtividade de grãos.