



CURSO DE BACHAREL EM AGRONOMIA

CICLAGEM DE NUTRIENTES DO CAPIM-QUÊNIA APÓS O CONSÓRCIO COM MILHO PARA A PRODUTIVIDADE DA SOJA

Douglas Vinícius Moreira Leite Silva

Rio Verde – GO

Dezembro, 2023

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE.
BACHAREL EM AGRONOMIA**

**CICLAGEM DE NUTRIENTES DO CAPIM-QUÊNIA APÓS O
CONSÓRCIO COM MILHO PARA A PRODUTIVIDADE DA SOJA**

Trabalho de Curso Apresentado ao
Instituto Federal Goiano – Campus Rio
Verde, como requisito parcial para a
obtenção do Grau de Bacharel em
Agronomia.

Orientadora Profa. Dr^a. Kátia Aparecida de Pinho Costa

Rio Verde – GO

Dezembro, 2023

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

SSI586 Silva, Douglas Vinicius Moreira Leite Silva
c Ciclagem de nutrientes do capim quênia após o
consórcio com milho para a produtividade da soja /
Douglas Vinicius Moreira Leite Silva Silva;
orientadora Kátia Aparecida de Pinho Costa
Aparecida. -- Rio Verde, 2023.
28 p.

TCC (Graduação em Agronomia) -- Instituto Federal
Goiano, Campus Rio Verde, 2023.

1. Cobertura do solo. 2. integração lavoura-
pecuária.. 3. Panicum maximum cv. I. Aparecida,
Kátia Aparecida de Pinho Costa, orient. II. Título.

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, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, 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 (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

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;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, 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;
- Que 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.

Local

/ /

Data

Douglas Vinícius M. L. Silva

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

gov.br

Documento assinado digitalmente
KATIA APARECIDA DE PINHO COSTA
Data: 20/12/2023 11:34:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



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

Ata nº 88/2023 - DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO
DE CURSO

Aos 11 de dezembro de 2023, às 14:00 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pela docente Kátia Aparecida de Pinho Costa (orientadora), Eduardo da Costa Severiano (membro) e Luciana Maria da Silva (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado <Ciclagem de nutrientes do capim-quênia após o consórcio com milho para a produtividade da soja= do estudante Douglas Vinícius Moreira Leite Silva, matrícula nº 2018202200240091 do Curso de Agronomia do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição da candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente) Kátia

Aparecida de Pinho Costa

Orientadora

(Assinado Eletronicamente)

Eduardo da Costa Severiano

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Luciana Maria da Silva

Membro

Documento assinado eletronicamente por:

- Pablo da Costa Gontijo, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 16/01/2024 17:17:05.
- Eduardo da Costa Severiano, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 18/12/2023 14:43:35.
- Luciana Maria da Silva, 2020202320140044 - Discente, em 12/12/2023 13:11:55.
- Katia Aparecida de Pinho Costa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 12/12/2023 13:08:39.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 12/12/2023. 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: 557017

Código de Autenticação: 871e03d639



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio

VerdeRodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP

75901-970

(64) 3624-1000

DOUGLAS VINÍCIUS MOREIRA LEITE SILVA

Ciclagem de nutrientes do capim-quênia após o consórcio com milho para a produtividade da soja

Trabalho de Curso DEFENDIDO e APROVADO em 11 de dezembro de 2023, pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

Dr. Eduardo da Costa Severiano
Instituto Federal Goiano Campus
Rio Verde -GO

Ms. Luciana Maria da Silva
Instituto Federal Goiano Campus
Rio Verde – GO

Prof^a. Dr^a. Kátia Aparecida de Pinho Costa
Orientadora
Instituto Federal Goiano
Campus Rio Verde - GO

Rio Verde – GO

Dezembro, 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estar comigo em todos os instantes, por ser o motivo de minha existência.

Agradeço a minha família, em especial aos meus pais Weber Vinícius e Mariluzia.

Agradeço a professora Dr^a. Kátia Aparecida de Pinho Costa, pela orientação concedida.

Agradeço aos professores que compartilharam comigo seus conhecimentos.

A equipe do Laboratório de Forragicultura e Pastagens pela ajuda na condução da pesquisa, principalmente a Luciana Maria, João Antônio, João Victor e Danilo, gratidão!

LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

C	Carbono
ha	Hectare
ILP	Integração lavoura-pecuária
N	Nitrogênio
%	Porcentagem
kg	Quilograma
Co	Cobalto
t _{1/2}	Tempo de meia vida da palhada
m	metros
mm	milímetros
°C	Graus Celsius
L	litros
g	gramas
P	fósforo
K	potássio
S	enxofre
P ₂ O ₅	fosfato
K ₂ O	xido de potássio
Mo	molibidênio
Zn	zinco
Fe	ferro

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Precipitações pluviiais e temperaturas mensais registradas durante o período de janeiro de 2021 a março de 2022, em Rio Verde – GO, Brasil	11
Figura 2. Esquema dos sistemas de cultivo: milho em monocultivo (a); capim-quênia em monocultivo (b); milho consorciado com capim-quênia na linha (c); milho consorciado com capim-Quênia na entrelinha (d) e soja sem biomassa de cobertura do solo (e)	12
Figura 3. Acúmulo de nitrogênio (a), fósforo (b), potássio (c) e enxofre (d) na biomassa do dos sistemas de cultivo do milho e capim-Quênia em monocultivo e consorciados, durante o desenvolvimento da soja (de 0 a 120 dias).....	17
Figura 4. 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 do milho e capim-Quênia em monocultivo, consorciado e soja sem cobertura.....	19

LISTA DE TABELAS

	Páginas
Tabela 1. Característica química do solo na camada de 0-0,20m do Latossolo Vermelho Distroférico antes da semeadura da soja.....	14
Tabela 2. Produção de biomassa e concentração inicial de nutrientes na biomassa de diferentes sistemas de cultivo, antes da implantação da cultura da soja.....	16
Tabela 3. Conteúdos equivalentes em N, P ₂ O ₅ , e K ₂ O na biomassa de diferentes sistemas de cultivo.....	18

SUMÁRIO

	Páginas
1. INTRODUÇÃO	10
2. MATERIAIS E MÉTODOS	11
2.1 Descrição da área	11
2.2 Delineamento estatístico e tratamentos	12
2.3 Produção, decomposição da biomassa e acúmulo de nutrientes	13
2.4 Implantação da soja na safra 2021/2022 e tratos culturais	14
2.5 Avaliação das características agronômicas da soja	15
2.6 Análise estatística	15
3. RESULTADOS	16
4. DISCUSSÃO.....	20
5. CONCLUSÃO	24
6. REFERÊNCIAS	24

SILVA, Douglas Vinícius Moreira Leite. **Ciclagem de nutrientes do capim-Quênia após o consórcio com milho para a produtividade da soja.** 2023. 25p Monografia (Curso Bacharelado em Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2023.

RESUMO: O sucesso do sistema de integração lavoura-pecuária, esta diretamente relacionado a escolha adequada da forrageira e do método de semeadura, para promover adequada cobertura do solo, garantindo a sustentabilidade agrícola e a diversificação da produção. Sendo assim, objetivou-se avaliar a ciclagem de nutrientes na biomassa do capim-Quênia após o consórcio com milho, para a produtividade da soja. O experimento foi conduzido no delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos consistiram da biomassa de cobertura do solo: milho em monocultivo; capim-Quênia em monocultivo; milho consorciado com capim-Quênia na linha; milho consorciado com capim-Quênia na entrelinha e um tratamento adicional de soja sem biomassa de cobertura. Os resultados mostraram o sistema de cultivo do milho consorciado com capim-Quênia na entrelinha é mais recomendado em relação a semeadura na mesma linha do milho, por promover maior ciclagem de nutrientes. Os sistemas integrados de produção são uma técnica promissora e eficiente para os sistemas de produção em comparação ao sistema de cultivo do milho em monocultivo e soja sem biomassa de cobertura do solo, o que assegura maior sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Palavras-chave: Cobertura do solo; integração lavoura-pecuária; *Panicum maximum* cv. BRS Quênia; sustentabilidade; *Zea mays*.

1. INTRODUÇÃO

A intensificação agrícola, nos últimos anos, aliado a dependência dos recursos naturais, tem responsabilizado a agricultura por uma parcela considerável dos impactos prejudiciais ao meio ambiente (Pedolin et al., 2023). Desta forma, a agricultura deve promover a preservação dos recursos naturais e manutenção da paisagem, em harmonia com intensificação da produção de alimentos (Simões et al., 2023).

Neste cenário, sistemas integrados são considerados como uma tecnologia sustentável, promissora e barata para o avanço do agronegócio (Dias et al., 2020). O sistema de integração lavoura-pecuária (ILP), por exemplo, promove a diversificação e intensificação sustentável da produção de alimentos (Simões et al., 2023). Fornecer serviços ecossistêmicos como a produção de biomassa para o sistema de plantio direto de soja (Muniz et al., 2021), manutenção da fertilidade do solo através da maior ciclagem de nutrientes e economia de fertilizantes (Dias et al., 2020), controle de plantas daninhas (Mello et al., 2023) e maior produção de grãos (Silva et al., 2023).

Sistemas de produção que preconizam a conservação dos ecossistemas, com a alternância de culturas é de grande importância para melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, além de ser uma ferramenta para o manejo dos nutrientes do solo, em especial nitrogênio, fósforo e potássio (Alghamdi e Cihacek, 2018; Adetunji et al., 2020). Forrageiras tropicais podem ser utilizadas como culturas de cobertura, pois absorvem nutrientes do solo em camadas profundas e os disponibilizam para as culturas subsequentes de acordo com sua decomposição (Huot et al., 2020).

Dentre os cultivares de *Panicum maximum*, o capim-Quênia, último cultivar lançada pela Embrapa no mercado, apresenta características favoráveis para compor sistemas de ILP (Tesk et al., 2020). Com porte intermediário aos demais cultivares do gênero *Panicum*, além de apresenta menor alongamento do colmo, baixa formação de touceiras e alta produção de folhas (Valote et al., 2021), promovendo adequada cobertura do solo.

O método de semeadura da forrageira no consórcio com a cultura anual é fato decisivo para o sucesso do sistema ILP, pois influência diretamente na cobertura do solo, plantio direto da cultura subsequente, ciclagem de nutrientes e produtividade das culturas (Oliveira et al., 2020; Silva et al., 2023).

Diante deste cenário, hipotetizamos que o capim-Quênia apresenta potencial como cobertura do solo em diferentes sistemas de cultivo; diferentes formas de semeadura do consórcio do milho com capim-Quênia na entressafra podem influenciar na produção de biomassa, ciclagem de nutrientes e produtividade da soja. Desta forma, objetivou-se avaliar a ciclagem de nutrientes na biomassa do capim-Quênia após o consórcio com milho, para a produtividade da soja.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Descrição da área

O experimento foi conduzido no período de janeiro de 2021 a março de 2022 no Instituto Federal Goiano, em Rio Verde – GO, Brasil, sob as coordenadas 17° 48' 53" S e 50° 54' 02" W, com altitude de 748m. A classificação do solo da área experimental foi Latossolo Vermelho Acriférrico Típico (Santos et al., 2018). Os dados de precipitação, temperatura máxima, média e mínima mensal foram monitorados durante a condução do experimento, conforme demonstrado na Figura 1.

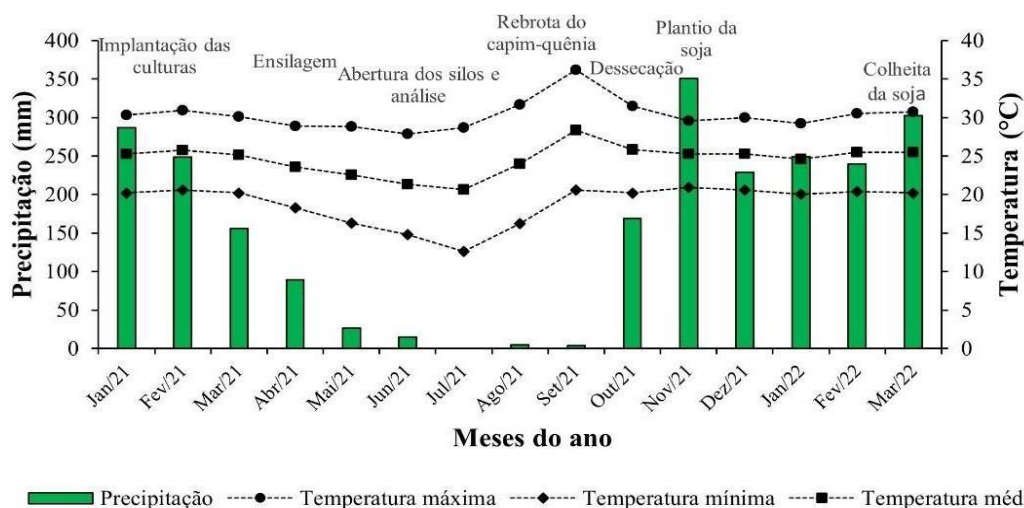


Figura 1. Precipitações pluviais e temperaturas mensais registradas durante o período de janeiro de 2021 a março de 2022, em Rio Verde – GO, Brasil.

Na primeira etapa da pesquisa, foi realizado o consórcio do milho com capim-Quênia (*Panicum maximum* cv. BRS Quênia) na linha e na entrelinha do milho e os monocultivos das culturas, para a produção de silagem de sistemas integrados. O híbrido de milho utilizado foi o P4285 (híbrido convencional com elevada estabilidade, sanidade foliar e produtividade).

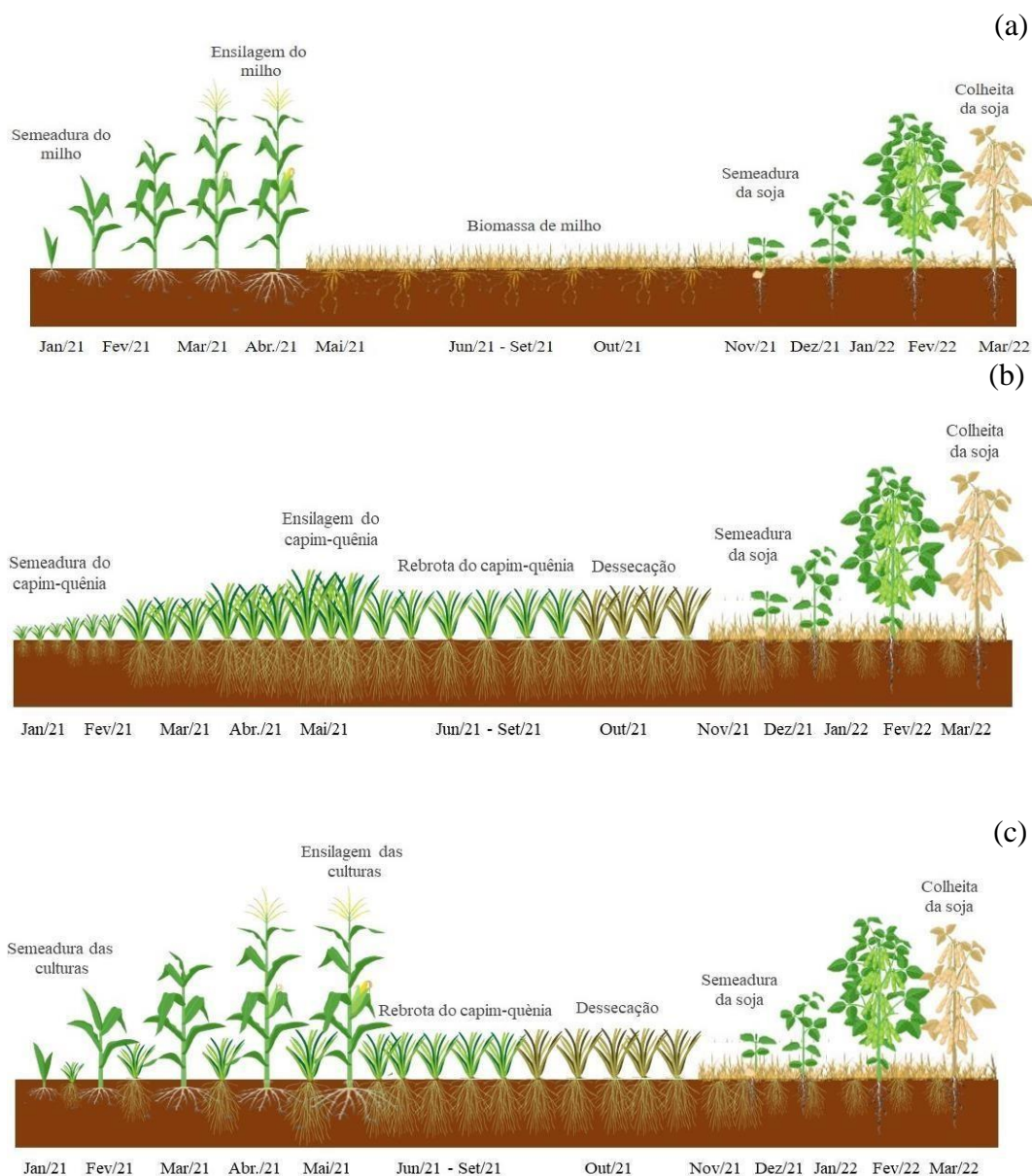
No monocultivo e no consórcio, o milho foi semeado a 3 cm de profundidade e a 0,5 m entre linha de plantio. Para o consórcio na mesma linha de semeadura o capim-Quênia foi semeado a 6 cm de profundidade e na entrelinha de semeadura o capim-quênia foi semeado a 0,25 m da linha do milho a 2 cm de profundidade. Cada parcela foi composta por seis linhas de 3,0 m de comprimento. A área útil foi obtida considerando apenas as três linhas centrais, eliminando 0,5 m de cada extremidade.

A colheita do milho e do capim-Quênia para a produção de silagem foi realizada no dia 04 de maio de 2021. Posteriormente as forrageiras foram conduzidas no período de entressafra (meses de junho a agosto de 2021), com cortes sucessivos simulando o pastejo.

O último corte das forrageiras foi realizado em agosto de 2021, sendo deixadas posteriormente em repouso para a rebrota. Em outubro de 2021 foi realizada dessecação, visando a formação de biomassa para a cobertura do solo.

2.2. Delineamento estatístico e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos consistiram da biomassa de cobertura do solo: milho monocultivo, capim-Quênia em monocultivo, milho consorciado com capim-Quênia na linha e milho consorciado com capim-Quênia na entrelinha. Além de um tratamento adicional desoja sem biomassa de cobertura, que ficou em pousio na entressafra, conforme demonstrada na Figura 2. O tratamento da biomassa de milho após o corte para a produção de silagem permaneceu em pousio.



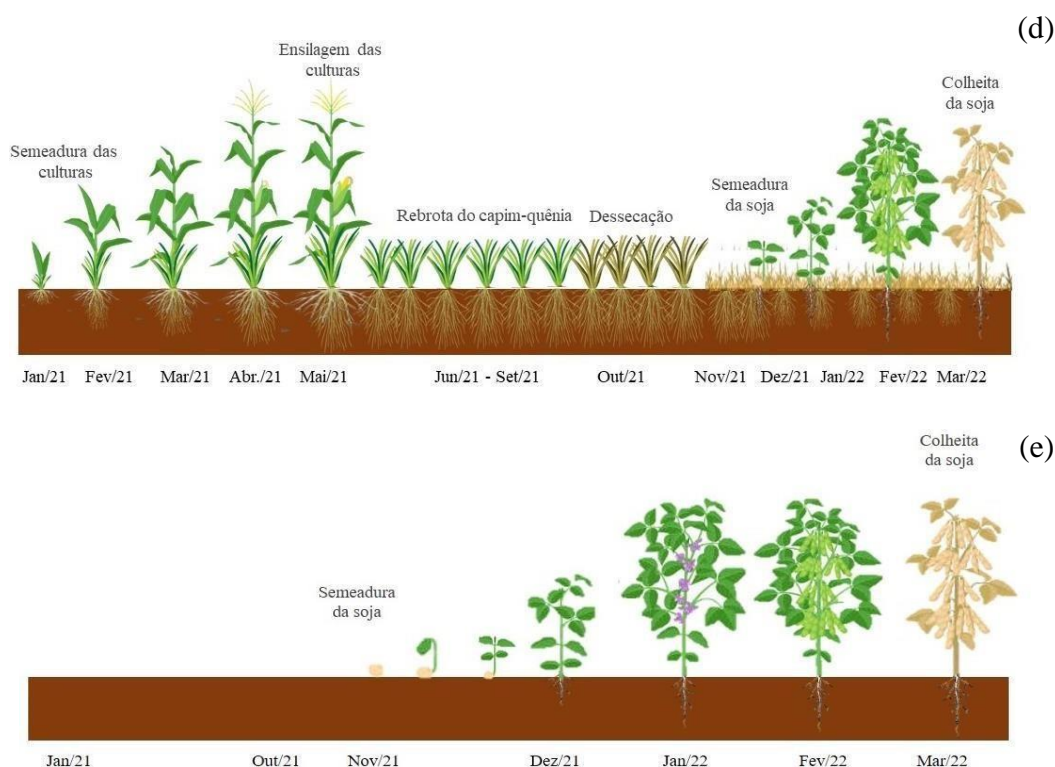


Figura 2. Esquema dos sistemas de cultivo: milho em monocultivo (a); capim-Quênia em monocultivo (b); milho consorciado com capim-Quênia na linha (c); milho consorciado com capim-Quênia na entrelinha (d) e soja sem biomassa de cobertura do solo (e).

2.3. Produção, decomposição da biomassa e acúmulo de nutrientes

A dessecação das forrageiras foi realizada em outubro de 2021, com aplicação do herbicida glifosato na dose de 3 L ha^{-1} (480 g L^{-1} de ingrediente ativo), com volume de calda de 150 L ha^{-1} .

Para quantificar a produção de biomassa, um dia antes da sementeira da soja foi coletando quatro amostras, através de um quadrado de $0,50 \times 0,50 \text{ m}$ ($0,25 \text{ m}^2$) distribuído aleatoriamente dentro de cada parcela. O material foi cortado rente ao solo, sendo posteriormente pesado e as amostras colocadas em estufa de ventilação forçada de ar a 55°C até obter a peso constante, sendo as quantidades extrapoladas para kg ha^{-1} .

A decomposição da biomassa foi avaliada em sacolas confeccionadas em nylon (“*Litter bags*”) com malha de 2 mm de abertura e dimensões de $25 \times 30 \text{ cm}$ (Thomas & Asakawa, 1993). Quatro bolsas contendo a biomassa das espécies em quantidade proporcional à da biomassa seca produzida por hectare foram depositados em contato direto com o solo. Aos 30, 60, 90 e 120 dias após o manejo da decomposição, 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. A cada avaliação, o material foi enviado para

laboratório para retirada de solo aderido com água corrente até retirar todo resíduo, e seco em estufa a 55°C até peso constante para obtenção da biomassa seca. Com base nos dados de produção inicial de biomassa (kg ha^{-1}) dos sistemas, foram calculadas as decomposições percentuais, pela razão entre a massa dos *litter bags* em kg ha^{-1} e a produção inicial de biomassa (Dias et al., 2020).

As amostras de biomassa foram moídas em moinho com facas de 1 mm, para determinação da concentração de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e enxofre (S) de acordo com a metodologia proposta Malavolta et al. (1997). Para avaliação do acúmulo de nutrientes na biomassa, as concentrações de macronutrientes foram multiplicadas pela produção de biomassa, expressando os resultados para kg ha^{-1} .

Os equivalentes em fertilizantes N, P_2O_5 e K_2O na biomassa de cobertura do solo dos sistemas de cultivo, 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).

2.4. Implantação da soja na safra 2021/2022 e tratos culturais

Amostras de solo foram coletadas na camada de 0-20 cm, para determinar as recomendações da adubação para a semeadura da soja. As características químicas da análise de solo estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo na camada de 0-0,20m do Latossolo Vermelho Acriférrico Típico antes da semeadura da soja.

pH	Ca	Mg	Al	Al+H	K	CTC	P	Zn	Fe	Cu	V ₁	MO
CaCl ₂	----- $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ -----				----- mg dm^{-3} -----						%	g kg^{-1}
5,1	2,09	1,28	0,01	4,88	0,54	8,7	5,2	1,2	16,8	4,3	44,9	39,6

CTC: capacidade de trocas de cátions; P: Mehlich; V₁: saturação por bases; MO: matéria orgânica

Inicialmente foi aplicado a lanço $1,300 \text{ kg ha}^{-1}$ de calcário filler (100% PRNT) em toda a área experimental. A soja foi semeada de forma mecanizada, nos diferentes sistemas de cultivo, em 01 de novembro de 2021 de forma mecanizada. A variedade utilizada foi a Bônus IPRO 8579, com espaçamento entre linhas de 0,50 m. Na semeadura, foi utilizado 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 (superfosfato simples), aplicado no sulco de plantio. Com intuito de aproveitar a ciclagem de nutrientes, o potássio não foi aplicado nos tratamentos com biomassa de cobertura do solo, apenas no tratamento de soja sem biomassa foi aplicado a lanço 85 kg ha^{-1} de K_2O na fonte de cloreto de potássio. Quando as plantas encontravam no estágio de desenvolvimento de V3 e V4, foi realizado

aplicação foliar de 300 ml/ha⁻¹ do produto contendo (Co: 0,5%; Mo: 2,5%; Zn 1,5% e Fe: 0,5%).

As aplicações de fungicida foram realizadas aos 40 dias após semeadura - DAS (dose de 0,3 L ha⁻¹ de Piraclostrobrina e 0,5 L ha⁻¹ de óleo mineral) e aos 60 dias DAS (dose de 0,2 kg ha⁻¹ de Elatus (60 g de azoxistrobrina e 30g benzovindiflupir) e 0,6 L ha⁻¹ de óleo mineral).

2.5. Avaliação das características agronômicas da soja

No dia 5 de março de 2022 (125 dias após a semeadura), foi realizada as avaliações das características agronômicas da soja. Foram avaliados: altura de plantas e altura de inserção da primeira e da última vagem (medida da distância compreendida entre a superfície do solo e à extremidade apical e entre a superfície do solo à 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-se a média de vagens por planta), número de grãos por vagem (contagem de todos os grãos por vagem em 10 plantas na área útil da parcela, calculando-se a média de grãos por vagem), peso de mil grãos e produtividade em quilogramas por hectare.

2.6. Análise estatística

Para descrever a decomposição da biomassa e o acúmulo de nutrientes, os dados foram ajustados com erro padrão a um modelo matemático exponencial ($y = ae^{kx}$) usando o software SigmaPlot. As comparações entre as equações estimadas foram realizadas de acordo com o procedimento descrito por Snedecor e Cochran (1989), que testa a homogeneidade dos dados (F) e a significância dos coeficientes angulares 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 decompor 50% da biomassa remanescente, foi utilizada a equação proposta por Paul e Clark (1989) na qual, $t_{1/2} = 0,693/k$, onde $t_{1/2}$ é a meia-vida da biomassa seca e k é a constante de decomposição da biomassa seca.

Os resultados de concentração de nutrientes, equivalente de fertilizante, características agronômicas da soja e produtividade de grãos foram submetidas à análise de variância utilizando o 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 nível de significância de 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS

Houve influência ($p < 0,005$) dos sistemas de cultivo para a produção de biomassa (Tabela 2). A maior produção de biomassa foi obtida no capim-Quênia em monocultivo, seguido dos sistemas consorciados na linha e entrelinha. Por outro lado, o sistema de cultivo do milho em

monocultivo apresentou menor produção de biomassa (Tabela 2).

Tabela 2. Produção de biomassa e concentração inicial de nutrientes na biomassa de diferentes sistemas de cultivo, antes da implantação da cultura da soja.

Sistema de cultivo	Biomassa (kg ha ⁻¹)	Concentração de nutrientes (g kg ⁻¹)			
		N	P	K	S
Milho monocultivo	2973 c	8,39 c	1,59 b	8,26 b	2,43 a
Capim-Quênia monocultivo	4893 a	17,10 a	2,29 a	17,30 a	3,07 a
Milho + capim-Quênia na linha	3764 b	12,65 b	2,19 a	17,11 a	2,97 a
Milho+ capim-Quênia na entrelinha	4032 b	13,45 b	2,23 a	17,90 a	3,19 a
Erro padrão média	117,23	0,6256	0,0518	0,6878	0,1760
Pvalor	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	0,065

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si (P<0,05) pelo teste de Tukey.

Para a concentração de nitrogênio o capim-Quênia em monocultivo apresentou maior valor, seguido dos sistemas consorciados, já a menor concentração de nitrogênio foi obtida na biomassa de cobertura do milho em monocultivo (Tabela 2). Para a concentração de fósforo e potássio, o sistema do milho em monocultivo diferiu-se dos demais sistemas com os menor valor. E para a concentração de enxofre não houve diferença entre os sistemas de cultivo, com resultados semelhantes.

As diferentes biomassas de cobertura do solo influenciaram no acúmulo de nutrientes e proporcionaram redução exponencial, durante o ciclo de desenvolvimento da soja (120 dias), conforme demonstrado na Figura 3. Os maiores acúmulos de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre foram obtidos na biomassa de cobertura do solo do capim-Quênia em monocultivo, nos tempos de decomposição zero, 30, 60 e 90 dias. Já nos sistemas consorciado, o capim-Quênia semeado na entrelinha do milho resultou em maior valor em comparação ao consórcio na mesma linha de semeadura. Entretanto, no final do ciclo de desenvolvimento da soja, o acúmulo de nutrientes foi semelhante entre os sistemas de cultivo. Em todos os tempos de cultivo, a biomassa de milho apresentou menor potencial de acumular os nutrientes.

Com a decomposição da biomassa ao longo do ciclo de desenvolvimento da soja, houve liberação percentual de nitrogênio de 71,2; 80,5; 78,6 e 70,4%; fósforo de 79,6; 76,0; 72,1 e 70,4%; potássio de 92,7; 94,6; 95,5 e 94,4% e enxofre de 72,2; 78,6; 79,0 e 73,7% nas biomassas de milho em monocultivo, capim-Quênia em monocultivo, milho consorciado com capim-Quênia

na linha e milho consorciado com capim-Quênia na entrelinha, respectivamente (Figura 3).

O potássio apresentou menor tempo de meia-vida ($t_{1/2}$), em relação aos demais nutrientes, com 42 dias para a biomassa de milho em monocultivo e média de 34 dias para os sistemas do capim-Quênia em monocultivo e consorciado, demonstrando que esse nutriente é rapidamente liberado e em alta porcentagem, acima de 90%, em todas as biomassas. Já o maior tempo de meia vida ($t_{1/2}$) de todos os nutrientes foi observado na biomassa do milho em monocultivo, indicando baixa taxa de liberação, seguido do sistema consorciado com capim-Quênia na entrelinha e na linha do milho (Figura 3).

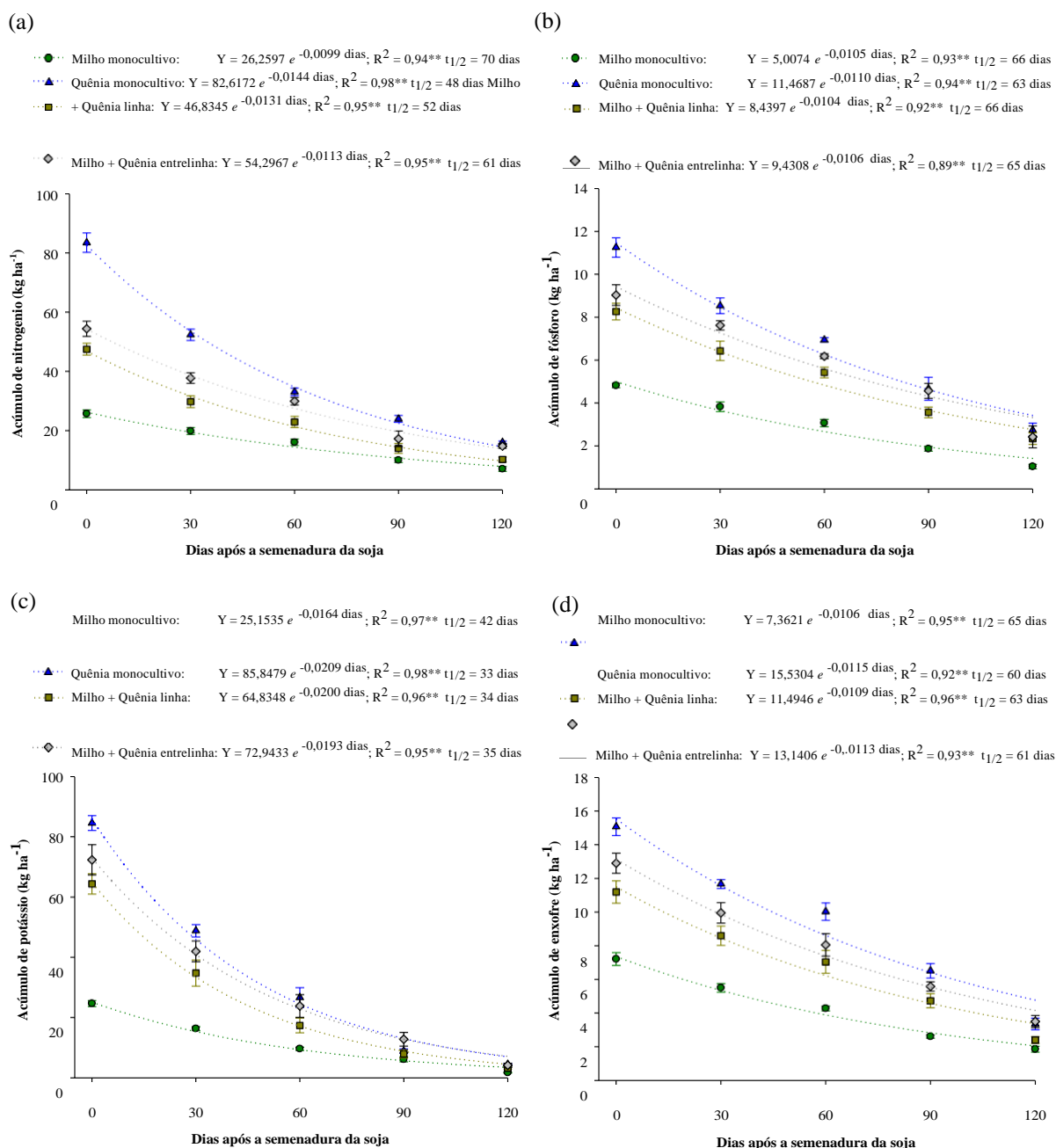


Figura 3. Acúmulo de nitrogênio (a), fósforo (b), potássio (c) e enxofre (d) na biomassa do dos sistemas de cultivo do milho e capim-Quênia em monocultivo e consorciados, durante o desenvolvimento da soja (de 0 a 120 dias).

Para o equivalente em fertilizante (Tabela 3), foi possível observar que a biomassa de capim-Quênia em monocultivo proporcionou maior retorno de nitrogênio e fósforo ao solo. Para o potássio, a biomassa de capim-Quênia em monocultivo e milho consorciado com capim-Quênia na entrelinha proporcionaram maior equivalente desse fertilizante. Já o sistema de cultivo com biomassa de milho em monocultivo apresentou os menores valores.

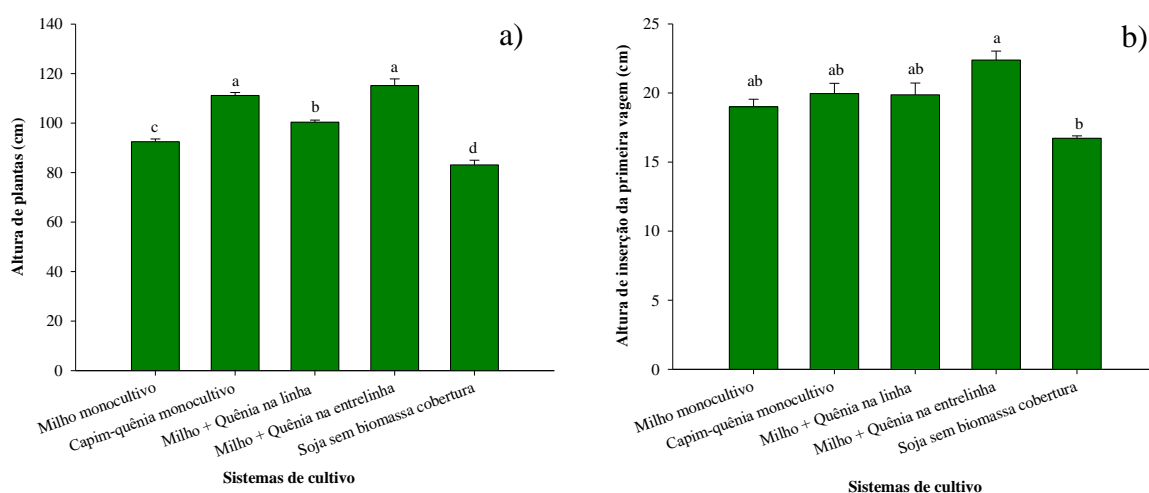
Tabela 3. Conteúdos equivalentes em N, P₂O₅, e K₂O na biomassa de diferentes sistemas de cultivo.

Sistemas de cultivo	Equivalente (kg ha ⁻¹)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Milho monocultivo	24,39 c	9,79 c	28,58 c
Quênia monocultivo	83,46 a	25,78 a	101,84 a
Milho + Quênia na linha	47,50 b	18,92 b	77,49 b
Milho + Quênia na entrelinha	54,39 b	20,69 b	87,13 ab
Erro padrão média	2,595	0,971	4,070
Pvalor	p<0,001	p<0,001	p<0,001

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si (P<0,05) pelo teste de Tukey.

SFS: superfosfato simples; KCl: cloreto de potássio.

As biomassas dos diferentes sistemas de cultivo influenciaram (p<0,005) nas características agrônômicas e produtividade da soja (Figura 4). As biomassas do capim-Quênia em monocultivo e consorciado com milho na entrelinha proporcionaram a maior altura de plantas, com média de 113,16 cm, seguido da biomassa de milho consorciado com capim-Quênia na linha (100,38 cm) e da biomassa de milho (92,46 cm), proporcionando um incremento de 20,7% em relação a soja cultivada sem biomassa, que apresentou menor altura (83,10 cm) (Figura 4a).



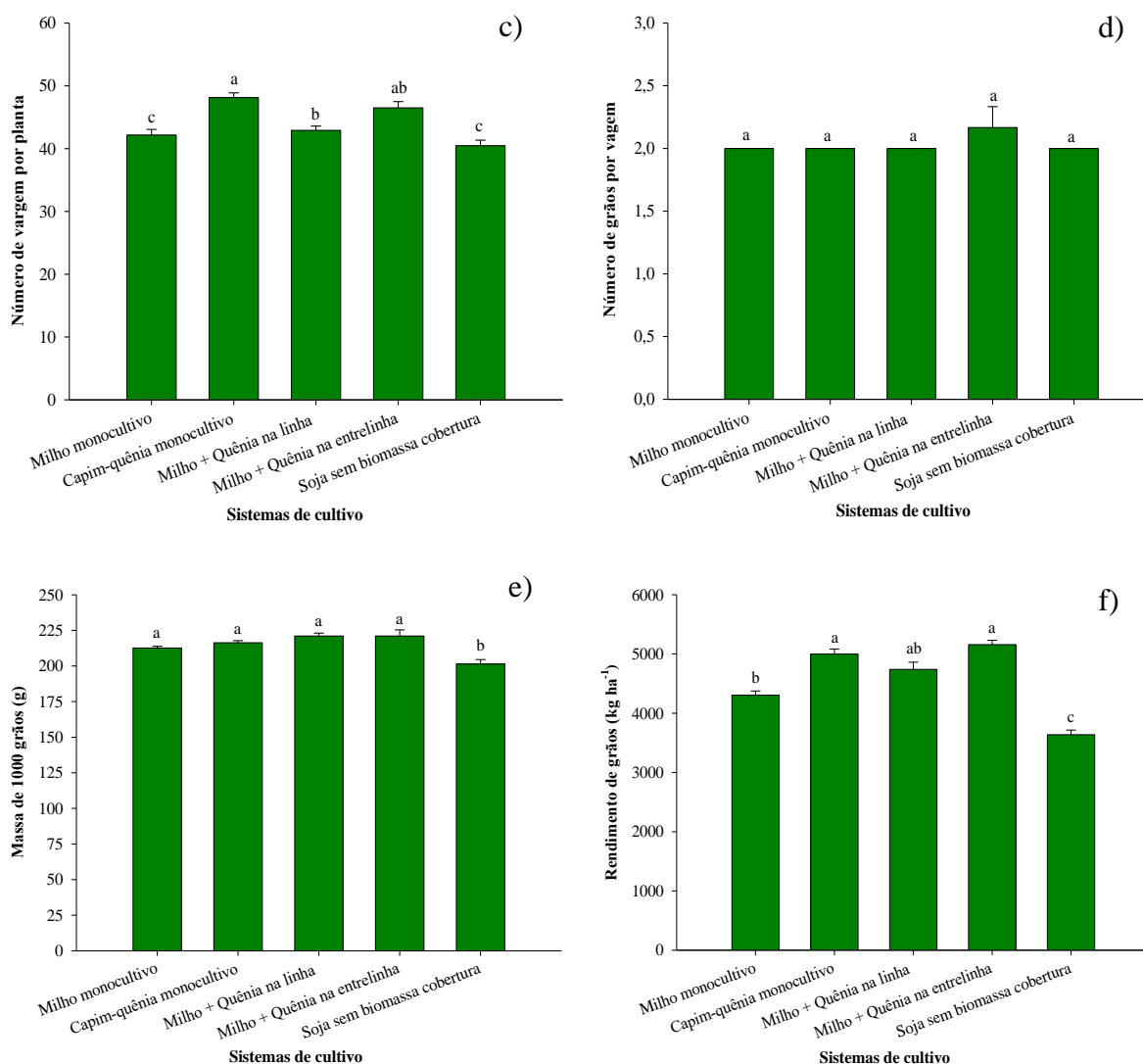


Figura 4. Altura de plantas (a), altura de inserção da primeira vagem (b), número de vagem por planta (c), número de grãos por vagem (d), massa de 1000 grãos (e), produtividade de grãos da soja (f) sob a biomassa do milho e capim-Quênia em monocultivo, consorciado e soja sem cobertura. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a inserção de primeira vagem (Figura 4b) a biomassa de milho consorciado com capim-Quênia na entrelinha proporcionou altura de 22,38 cm, com aumento de 25,29% em relação a soja cultivada sem biomassa, que apresentou a menor altura de inserção de primeira vagem com 16,72 cm. As biomassas de capim-Quênia em monocultivo, milho consorciado com capim-Quênia na linha e milho em monocultivo não diferenciaram entre si com média de 19,60 cm.

As diferentes biomassas também influenciaram o número de vagens por planta (Figura 4c). A biomassa do capim-Quênia em monocultivo e consorciado na entrelinha do milho contribuiu para maior produção de vagens por plantas (Figura 4c). Já a biomassa do milho e a soja sem biomassa apresentaram redução de 14,16% em relação a biomassa de capim-Quênia em monocultivo na produção de vagens por planta, com média de 41,31. E para número de grãos por

vagem, não houve diferença significativa entre os sistemas de cultivo (Figura 4d).

A soja cultivada sem biomassa de cobertura do solo apresentou menor valor de massa de 1000 grãos (201,33 g), com redução de 7,53% em relação aos sistemas com cobertura de solo que apresentaram média de 217,74 g. E para a produtividades da soja, as maiores produção foram obtidas na biomassa de milho consorciado com capim-Quênia na entrelinha e capim-Quênia em monocultivo com 5158 e 4998 kg ha⁻¹, respectivamente, seguido da biomassa de milho consorciado com capim-Quênia na linha (4739 kg ha⁻¹) e milho em monocultivo (4303 kg ha⁻¹). A soja cultivada sem biomassa de solo apresentou menor produtividade (3637,33 kg ha⁻¹), com redução de 26,75% em relação aos sistemas do quênia em monocultivo e consorciado e de 15,49% do milho em monocultivo.

4. DISCUSSÃO

A morfologia do capim-Quênia explica a maior produção de biomassa, para os sistemas da forrageira em monocultivo e consorciado com milho na entrelinha e na linha, pois é uma cultivar de porte intermediário com alta produção de perfilhos e folhas, e com quantidade significativa de estruturas de suporte (colmos) (Valote et al., 2021), contribuindo, desta forma, para maior produção de biomassa e sua persistência até o final do ciclo de desenvolvimento da soja.

Adicionalmente, no sistema do capim-Quênia em monocultivo a competição foi ausente. Já nos sistemas consorciado houve competição por água, luz, nutrientes e espaço físico entre as plantas do milho com a forrageira nas duas formas de semeadura. No entanto, quando o milho foi consorciado com capim-Quênia na entrelinha a competição foi menor, pois havia maior espaço (entrelinha) para o desenvolvimento de ambas as culturas, o que promoveu maior distribuição das plantas e cobertura do solo, refletindo diretamente na maior produção de biomassa. Esses resultados corroboram com as pesquisas realizadas por Guarnieri et al. (2019), Oliveira et al. (2020) e Costa et al. (2020), que afirmam que a escolha do método de semeadura e da planta forrageira é essencial para adequada produção de cobertura do solo e persistência da biomassa, garantindo o sucesso para o sistema de plantio direto da soja.

O capim-Quênia em monocultivo e consorciado na entrelinha e na linha do milho apresentaram a maior concentração inicial de nitrogênio, fósforo e potássio em comparação ao milho em monocultivo (Tabela 1). Esse resultado é relevante quando o objetivo é proporcionar biomassa de cobertura do solo e ciclagem de nutrientes para a cultura sucessora. Forrageiras do gênero *Panicum* são consideradas de crescimento rápido, pois apresentam relação raiz/área foliar, em equilíbrio, no qual as folhas transferem uma proporção dos fotossimilados para permitir a expansão da raiz e otimizar a absorção de água e nutrientes (Huot et al., 2020). Garantindo assim maior produção de matéria seca por hectare e acúmulo de nutrientes.

Analisando a contribuição de sistemas integrados para a ciclagem de nutrientes, Oliveira et al. (2019) observaram que o sistema consorciado aumentou o rendimento de biomassa bem como o acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio, em relação ao milho em monocultivo, contribuindo desta forma para maior ciclagem destes nutrientes.

Além de promover diretamente o crescimento das culturas, os nutrientes do solo, também são um importante indicador da qualidade e produtividade do solo (Wang et al., 2022). Cobertura de solo, para o plantio direto, produzidas a partir de sistemas de integração lavoura-pecuária, são importantes fontes de macronutrientes para culturas como a soja, pois apresentam alta eficiência na ciclagem de nutrientes, melhoram a matéria orgânica do solo e contribuem para aumento de produtividade (Tanaka et al., 2019).

Os maiores acúmulos de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre aos 0, 30, 60 e 90 dias de decomposição (Figura 3) nos sistemas do capim-Quênia em monocultivo e consorciado na entrelinha e linha do milho pode ser explicado pela maior produção de biomassa inicial (Tabela 1). A alta proporção de folhas do capim-Quênia (Tesk et al., 2020), faz com que aumenta a eficiência da ciclagem de nutrientes, pois é nesse órgão da planta que concentra maior concentração de nutrientes, contribuindo assim para ciclagem de nutrientes (Dias et al., 2020).

Para todos os sistemas de cultivo, o potássio apresentou maior taxa de liberação, com valores acima de 90% e com menor tempo de meia vida ($t^{1/2}$), conforme demonstrado na Figura 5c. Tal comportamento pode ser explicado, pois o potássio não está ligado a compostos orgânicos nos tecidos vegetais, sendo facilmente liberado dos resíduos vegetais com as primeiras chuvas (Volf et al., 2023). Maior taxa de liberação e menor tempo de meia vida para o potássio também foram observados por Miguel et al. (2018), analisando liberação de nutrientes de diferentes sistemas de cultivo para o plantio direto da soja. No presente estudo, a alta taxa de liberação do potássio nas biomassas de cobertura do solo, associado a ausência de adubação potássica contribuiu para maior eficiência da ciclagem desse nutriente, demonstrando que a cobertura do solo tem potencial de suprir a deficiência de potássio no solo com o tempo, e consequentemente reduzir a entrada desse fertilizante mineral (Wang et al., 2022), ou até mesmo a não aplicação, como demonstrado nos estudos de Dias et al. (2020) e Muniz et al. (2021).

O maior teor de lignina e relação C:N na biomassa de milho em monocultivo, seguido do sistema consorciado de milho com capim-Quênia na entrelinha e na linha foram responsáveis pelo maior tempo de meia vida ($t^{1/2}$), de todos os nutrientes analisados. Maior teor de lignina, em especial no milho, reduz o processo de decomposição e mineralização dos nutrientes, indicando que a biomassa de milho não é a melhor opção para o sistema de plantio direto (Dias et al., 2020).

Portanto, conhecer a dinâmica de decomposição das culturas de cobertura pode fornecer benefícios as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, através do aumento de carbono orgânico e matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes e redução da erosão e compactação do

solo (Costa et al., 2021). Além de melhorar a comunidade microbiana do solo (Alghamdi e Cihacek, 2022; Koudahe et al., 2022). Desta forma, é importante ressaltar que biomassa de cobertura de alta qualidade deve apresentar alta concentração de nutrientes, assim como, sincronizar a liberação destes nutrientes de acordo com o crescimento da cultura (Cavalli et al., 2018. Pires et al., (2023) relataram que o maior acúmulo de nutrientes, nas plantas de sola ocorre entre os estádios de desenvolvimento R5 e R7 (a partir de 85 dias após a emergência). No presente estudo, os diferentes sistemas de cultivo, com capim-Quênia, apresentaram liberação dos nutrientes acima de 70% aos 120 dias de decomposição, mostrando o potencial dessa forrageira como reserva e fornecimento de nutrientes para as culturas sucessoras.

Os sistemas do capim-Quênia em monocultivo e consorciado na entrelinha e na linha do milho apresentaram a ordem decrescente de acúmulo de nutrientes na biomassa: $K > N > S > P$. Para a biomassa de milho a ordem foi: $N > K > S > P$. Cultivares de *Panicum maximum*, como o capim-Quênia apresentam maior absorção de K em relação ao N (Almeida et al., 2022). Estes resultados demonstram que a biomassa de cobertura auxilia na maior ciclagem dos nutrientes, aumenta o estoque de carbono e nitrogênio no solo (Gurgel et al., 2020) e podem reduzir custos de produção devido ao retorno dos nutrientes através da mineralização da biomassa (Dias et al., 2020).

Os maiores valores em equivalentes de fertilizantes foram observados na biomassa do sistema do capim-Quênia em monocultivo e consorciado com a milho nas duas formas de semeadura, demonstrando que esses sistemas são mais eficientes para a ciclagem de nutrientes em comparação ao milho em monocultivo. As forrageiras tropicais utilizadas como biomassa para o sistema de plantio direto disponibilizam nutrientes para a cultura subsequente (Dalla Cort et al., 2021) e podem reduzir custos com fertilizantes mineral (Muniz et al., 2021). Neste contexto, os resultados de nosso estudo se tornam cruciais para demonstrar que a produção de cobertura vegetal adequada gera benefícios para o sucesso do plantio direto nos trópicos, porque além da economia com fertilizantes mineral, as plantas de cobertura têm como papel suprimir as plantas daninhas (Maclaren et al., 2019) e promover melhores condições para os plantios sucessivos, reduzindo o impacto ambiental com aplicação de insumos.

As biomassas do sistema do capim-Quênia em monocultivo e consorciado com milho na entrelinha, contribuíram para as maiores alturas de plantas da soja. Esse resultado pode ser explicado devido a maior produção de biomassa de cobertura do solo que esses sistemas promoveram. Maiores alturas de plantas de soja foram observadas por Dias et al. (2020), quando as plantas foram cultivadas sobre biomassa de cobertura de forrageiras do gênero *Panicum*, demonstrando o seu potencial para compor o sistema de integração lavoura-pecuária. A cobertura do solo, para o plantio direto, quando bem manejada, auxilia na manutenção do teor de água no solo, reduzindo a evaporação e mantendo a disponibilidade de água nas camadas superficiais do

solo (Peterson et al., 2019), além, da nutrição das plantas através da ciclagem de nutrientes, contribuindo para o bom desenvolvimento da soja (Soares et al., 2023) e redução dos custos de produção e das estimativas de perdas de solo (Jacobs et al., 2022).

A biomassa produzida no sistema do capim-Quênia consorciado na entrelinha do milho, resultou em maior altura de inserção de primeira vagem (Figura 6b). Este resultado demonstra a importância do conhecimento, sobre as diferentes formas de semeadura no consórcio da cultura anual (cereais) com as forrageiras tropicais (Oliveira et al., 2020), para posterior produção de biomassa para o sistema de plantio direto. Além disso, entender a dinâmica da disponibilidade de nutrientes da biomassa para a soja durante todo seu ciclo, é de extrema importância, uma vez que a ciclagem de nutrientes influencia nas características agrônômicas da soja, que afeta diretamente o rendimento da cultura (Dias et al., 2020). Rebilas et al. (2020) relataram que a altura de inserção de primeira vagem acima de 15 cm, resulta em menores perdas na época da colheita dos grãos, em função da altura de corte da plataforma da colhedora.

O maior número de vagens por planta observado para a biomassa do capim-Quênia, seguido do sistema do milho consorciado com capim-Quênia na entrelinha e na linha podem ser explicados pela maior produção de biomassa e acúmulo de nutrientes, corroborando com os resultados observados por Muniz et al. (2021). É importante ressaltar que o número de vagens por planta é a característica que apresenta maior correlação com a produtividade de grãos e a presença de cobertura vegetal no solo influencia positivamente a formação de vagens (Tanaka et al., 2019).

A presença de cobertura no solo para o plantio da soja influenciou diretamente o peso de 1000 grãos. O acúmulo e liberação de nutrientes pelas biomassas dos diferentes sistemas de cultivo podem explicar esse maior peso, assim como os resultados observados por Oliveira et al. (2020) e Muniz et al. (2021). Forrageiras tropicais são excelente opção como planta de cobertura para o plantio direto em sistemas de integração lavoura-pecuária, devido a sua maior produção de biomassa, relação C:N, acúmulo e liberação de nutrientes, favorecendo, desta forma as características produtivas da cultura sucessora (Costa et al., 2021).

No presente estudo, os maiores rendimentos da soja observada na biomassa do capim-Quênia em monocultivo e milho consorciado com capim-Quênia na entrelinha relacionam-se as mudanças nos atributos químicos do solo (Simões et al., 2023), devido ao maior acúmulo de biomassa na superfície do solo durante a condução do experimento (Figura 2; Tabela 2), proporcionando menor variação de temperatura e maior umidade no solo (Silva et al., 2022) e maior disponibilidade de nutrientes (Brito et al., 2023). Desta forma, a maior produtividade dos grãos de soja, pode ter sido resultado dos efeitos cumulativos da biomassa de cobertura do solo e da maior ciclagem de nutrientes nestes sistemas de cultivo.

Vale ressaltar que no presente estudo não foi realizado adubação potássica na cultura da soja nos tratamentos com biomassa de cobertura do solo, visando o aproveitamento da ciclagem

desse nutriente, que foi acima de 92,7%. A quantidade remanescente de potássio na biomassa no ciclo final de desenvolvimento da soja foi muito pequena, com valor médio de 7% da quantidade total de potássio não liberado, mostrando a representatividade deste nutriente devolvido ao solo através da ciclagem. Britoann et al. (2017) ressaltaram a importância de se considerar os nutrientes oriundos da biomassa em sistemas integrados no cálculo de recomendações de fertilizantes, pois grande proporção desses nutrientes retorna ao solo.

5. CONCLUSÃO

O sistema consorciado de milho com capim-Quênia na entrelinha é mais recomendado do que a semeadura na mesma linha do milho, pois promove maior produção de biomassa e ciclagem de nutrientes, refletindo em maior produtividade da soja.

Os sistemas integrados de produção é uma tecnologia promissora e eficiente para os sistemas de produção em comparação ao sistema de cultivo do milho em monocultivo e soja sem biomassa de cobertura do solo, o que assegura maior sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

6. REFERÊNCIAS

ADETUNJI, A. T.; NCUBE, B.; MULIDZI, R.; LEWU, F. B. Management impact and benefit of cover crops on soil quality: A review. **Soil and Tillage Research**, v. 204, p. 104717, 2020.

ALGHAMDI, R. S.; CIHACEK, L. Do post-harvest crop residues in no-till systems provide for nitrogen needs of following crops? **Agronomy Journal**, v. 114, n. 1, p. 835-852, 2022.

ALMEIDA, E. M. D.; MONTAGNER, D. B.; DIFANTE, G. D. S.; ARAÚJO, A. R. D.; SANTANA, J. C. S.; GURGEL, A. L. C.; SCARIOT, C. Growth dynamics and nutrient uptake of *Panicum maximum* under nitrogen fertilisation. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, p. 1-15, 2022.

ASSMANN, J. M.; MARTINS, A. P.; ANGHINONI, I.; DENARDIN, L. G. O.; NICHEL, G. H.; COSTA, S. E. V. L. 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.

BRITO, L. D. C. R.; SOUZA, H. A.; ARAÚJO NETO, R. B.; AZEVEDO, D. M. P.; SAGRILO, E.; VOGADO, R. F.; CARVALHO, S. P.; FERREIRA, A. C. M.; CAVIGELLI, M. A. Improved soil fertility, plant nutrition and grain yield of soybean and millet following maize intercropped with forage grasses and crotalaria in the Brazilian savanna. **Crop and Pasture Science**, v. 74, n. 5, p. 438-448, 2023.

CAVALLI, E.; LANGE, A.; CAVALLI, C.; BEHLING, M. Decomposition and release of nutrients from crop residues on soybean-maize cropping systems. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 2, p. 1-8, 2018.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C.A.C., PARIZ, C.M., BOSSOLANI, J.W., CASTILHOS, A.M., NASCIMENTO, C.A.C., LIMA, C.G.R., BONINI, C.S.B., KURUMAE, E.E. Can palisade and Guinea grass sowing time in intercropping systems affect soybean yield and soil chemical properties? **Frontier Sustain. Food Syst.** 4, 81, 2020.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C.; PARIZ, C. M.; BOSSOLANI, J. W.; PASCOALOTO, I. M.; LIMA, C. G. R.; BONINI, C. S. B.; CASTILHOS, A. M.; CALONEGO, J. C. Soybean yield and nutrition after tropical forage grasses. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 121, p. 31-49, 2021.

DALLA CÔRT, A. S.; FEITOSA, P. B.; PACHECO, L. P.; GRECO, T. M.; SILVA, I. D. F.; SOUZA, E. D.; SANTOS, L. F.; PETTER, F. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Accumulation and efficiency of nutrient use in crop systems in second crop under no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, 2021.

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. **Journal of Agricultural Science**, v. 158, n. 3, p. 206-217, 2020.

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, 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, 1185-1198, 2019.

GURGEL, A. L. C.; DIFANTE, G. D. S.; ARAUJO, A. R. D.; MONTAGNER, D. B.; EUCLIDES, V. P. B.; SILVA, M. G. P. Carbon and nitrogen stocks and soil quality in an area cultivated with guinea grass under the residual effect of nitrogen doses. **Sustainability**, v. 12, n. 22, p. 9381, 2020.

HUOT, C.; ZHOU, Y.; PHILP, J. N.; DENTON, M. D. Root depth development in tropical perennial forage grasses is related to root angle, root diameter and leaf area. **Plant and Soil**, v. 456, p. 145-158, 2020.

JACOBS, A. A.; EVANS, R. S.; ALLISON, J. K.; GARNER, E. R.; KINGERY, W. L.; MCCULLEY, R. L. Cover crops and no-tillage reduce crop production costs and soil loss, compensating for lack of short-term soil quality improvement in a maize and soybean production system. **Soil and Tillage Research**, v. 218, p. 105310, 2022.

KOUDAHE, K.; SIMON, L. M.; OBOUR, A. K.; ALLEN, S. C.; DJAMAN, K. Critical review of the impact of cover crops on soil properties. **International Soil and Water Conservation Research**. v. 10, n. 3, p. 343-354, 2022.

MACLAREN, C.; SWANEPOEL, P.; BENNETT, J.; WRIGHT, J.; DEHNEN-SCHMUTZ, K. Cover crop biomass production is more important than diversity for weed suppression. **Crop Science**, v. 59, n. 2, p. 733-748, 2019.

MELLO, C. E.; JAKELAITIS, A.; SILVA, C. H. D. L.; SOUSA, G. D. D.; SILVA, J. O. D. Doses de glifosato na supressão de *Megathyrus maximus* cv. BRS Quênia consorciado com milho transgênico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, p. 892-899, 2023.

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

MUNIZ, M.P.; COSTA, K.A.P.; SEVERIANO, E.C.; BILEGO, U.O.; ALMEIDA, D.P.; FURTINI NETO, A.E.; VILELA, L.; LANA, M.A.; LEANDRO, W.M.; DIAS, M.B.C. Soybean yield in integrated crop–livestock system in comparison to soybean–maize succession system. **Journal of Agricultural Science**, v. 159, n. 3-4, p. 188-198, 2021.

OLIVEIRA, I. P.; COSTA, K. A. P.; ASSIS, R. L.; SEVERIANO, E. C.; DIAS, M. B. C.; SANTOS, C. B. Agronomic characteristics of soybean under the production and decomposition of sunflower and Paiaguas palisade grass biomass in different integrated production systems. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 5, p. 788-794, 2020.

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

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

PEDOLIN, D.; JAN, P.; ROESCH, A.; SIX, J.; NEMECEK, T. Farm diversity impacts on food production, income generation and environmental preservation: The Swiss case. **Journal of Cleaner Production**, v. 388, n. 9, p. 135851, 2023.

PETERSON, C. A.; NUNES, P. A. A.; MARTINS, A. P.; BERGAMASCHI, H.; ANGHINONI, I; CARVALHO, P. C. F.; GAUDIN, A. C. Winter grazing does not affect soybean yield despite lower soil water content in a subtropical crop-livestock system. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 39, p. 1-10, 2019.

PIRES, M. D. F. M.; de SOUZA, H. A.; MEDEIROS, J. C.; DALLA ROSA, J.; de MARTINS, R. V. S.; SOBRAL, A. H. S.; SAGRILO, E. Nutrient uptake by soybean plants in succession of cover crops in northeast of Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 54, n. 7, p. 945-963, 2023.

REBILAS, K.; KLIMEK-KOPYRA, A.; BACIOR, M.; ZAJĄC, T. A model for the yield losses estimation in an early soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivar depending on the cutting height at harvest. **Field crops research**, v. 254, p. 107846, 2020.

SANTOS, F.C.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; VILELA, L.; FERREIRA, G.B.; CARVALHO, M.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, p. 1855-1861, 2014.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa CNPS, 5 ed. 356p. 2018.

SILVA, J. A. G., COSTA, K. A. P., SILVA, L. M., SEVERIANO, E. C., SILVA, F. G., HABERMANN, E., MARTINEZ, C. A., VILELA, L., SILVA, A. G., COSTA, A. C., COSTA, J. V. C. P., OLIVEIRA, K. J. Integrated systems improve the sustainability of soybean cultivation in the tropical region. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 7, p. 1224530, 2023.

SIMÕES, V. J. L. P.; SOUZA, E. S.; MARTINS, A. P.; TIECHER, T.; BREMM, C.; RAMOS, J. S.; FARIAS, G. D.; CARVALHO, P. C. F. Structural soil quality and system fertilization efficiency in integrated crop-livestock system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 349, p. 108453, 2023.

SNEDECOR, G.W.; COCHRAN, W.G. **Statistical methods**, octave ed. Iowa State University Press, 1989.

SOARES, D. D. A.; MODESTO, V. C.; NAKAO, A. H.; SOARES, W. R.; FREITAS, L. A.; DICKMANN, L.; PASCOALOTO, I. M.; ANDREOTTI, M. Soybean Yield and Nutrition Grown on the Straw of Grain Sorghum Inoculated with *Azospirillum brasilense* and Intercropped with BRS Paiaguás Grass. **Plants**, v. 12, n. 10, p. 2007, 2023.

TANAKA, K. S.; CRUSCIOL, C. A.; SORATTO, R. P.; MOMESSO, L.; COSTA, C. H.; FRANZLUEBBERS, A. J.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; CALONEGO, J.C. Nutrients released by *Urochloa* cover crops prior to soybean. **Nutr Cycl Agroecosyst** 113, 267–281, 2019.

TESK, C. R.; CAVALLI, J.; PINA, D. S.; PEREIRA, D. H.; PEDREIRA, C. G.; JANK, L.; SOLLENBERGER, I.; PEDREIRA, B. C. Herbage responses of Tamani and Quênia guinea grasses to grazing intensity. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 3, p. 2081-2091, 2020.

THOMAS, R. J.; ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 10, p. 1351-1361, 1993.

VOLF, M. R.; CRUSCIOL, C. A.; KOVAR, J. L.; ROSOLEM, C. A. Unraveling the role of ruzigrass in soil K cycling in tropical cropping systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, p. 1-14, 2023.

WANG, X.; HU, W.; NING, X.; WEI, W.; TANG, Y.; GU, Y. Effects of potassium fertilizer and straw on maize yield, potassium utilization efficiency and soil potassium balance. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 69, n. 5, p. 679-692, 2022.