

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Quantidade e qualidade da biomassa de plantas de cobertura do
solo e efeitos na soja sob semeadura direta**

Mathaus Antonio Elias Mandro

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Fitotecnia

**Piracicaba
2024**

**Mathaus Antonio Elias Mandro
Engenheiro Agrônomo**

**Quantidade e qualidade da biomassa de plantas de cobertura do solo e
seus efeitos na soja sob semeadura direta**
versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ LAÉRCIO FAVARIN**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Fitotecnia

**Piracicaba
2024**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Mandro, Mathaus Antonio Elias

Quantidade e qualidade da biomassa de plantas de cobertura do solo e seus efeitos na soja sob semeadura direta / Mathaus Antonio Elias Mandro. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2024.

53 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Massa seca de parte aérea 2. Taxa de decomposição 3. Relação C/N 4. Teor de lignina 5. Índice de qualidade do resíduo I Título.

AGRADECIMENTOS E DEDICATÓRIA

Agradeço e dedico, primeiro a Deus, nosso bom Senhor que me conduziu até este momento, e que continue dando forças aos filhos desta escola para o intuito de aumentar e melhorar a produção de alimentos para o mundo.

Agradeço e dedico, principalmente a minha namorada, esposa, companheira, Karina de Fatima Cuba Silva Mandro, que tanto me apoiou nesta trajetória, acompanhando em todas as avaliações e coletas que foram realizadas durante o projeto.

Agradeço e dedico, aos meus familiares, especialmente minha mãe Patrícia Carla Borsato Elias, que sempre colocou meus estudos a frente de suas próprias necessidades, e a minha avó, Maria Elisa Borsato Elias, que me ajudou na minha formação acadêmica.

Agradeço e dedico aos meus professores e mentores, José Laércio Favarin, Horst Brehmer Neto, Paulo Sérgio Pavinato e Vinicius Vasconcelos.

Agradeço e dedico, ao meu professor orientador José Laércio Favarin, pelos ensinamentos, diretrizes e valores que me dedicou.

Agradeço e dedico, ao Biólogo e responsável pelo laboratório de Produção Vegetal Edson Moraes, que como uma mão amiga, sempre está disposto a ajudar os alunos que por ali passam.

Agradeço e dedico, aos queridos colegas do Departamento de Genética da ESALQ, José Baldin Pinheiro, aos técnicos da estação experimental de Genética-Anhumas e principalmente ao Cláudio Segatelli, por todo apoio e dedicação em fazer o possível para me ajudar neste trabalho.

Agradeço e dedico ao meu sócio Nericles Chaves Marcante, que me impulsionou ao estudo e me permitiu almejar ser um dia pesquisador.

Agradeço e dedico a todos os familiares e colegas que de alguma forma me ajudaram, amigos de infância, especialmente Danilo Zanuncio e Pablo de Oliveira Franco, que sempre me apoiaram nos estudos.

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
ABSTRACT	6
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	7
2. OBJETIVOS	11
2.1. Objetivo geral	11
2.2. Objetivos específicos	11
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.4. Tratamentos e delineamento experimental.....	14
3.5. Avaliações de solo	17
3.6. Avaliações de quantidade e qualidade de biomassa	18
3.6.1. Massa seca da parte aérea (MSPA).....	18
3.6.2. Qualidade de resíduo vegetal	18
3.6.3. Taxa de decomposição do resíduo vegetal	19
3.7. Taxa de acúmulo absoluto de biomassa por Graus-dia	20
3.8. Produtividade da soja	21
3.9. Índice de qualidade de resíduo	22
3.10. Análise estatística.....	22
4. RESULTADOS	25
4.1. Acúmulo de matéria seca das plantas de cobertura em relação a Graus-Dias.....	25
4.2. Análise de qualidade do resíduo vegetal	28
4.3. Decomposição do resíduo vegetal.....	32
4.4. Umidade e temperatura do solo sob resíduo vegetal	34
4.5. Parâmetros fitotécnicos e produtividade da soja cultivada em sucessão...	36
4.6. Análise de fertilidade de solo após cultivo da soja	38
5. DISCUSSÃO	39
6. CONCLUSÕES	43
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
REFERÊNCIAS.....	47

RESUMO

Quantidade e qualidade da biomassa de plantas de cobertura do solo e seus efeitos na soja sob semeadura direta

As plantas de cobertura (PC) são valiosas na gestão agrícola, uma vez que proporcionam efeitos benéficos para a cultura seguinte, como proteção do solo ou controle de doenças ou pragas. A correta escolha das plantas de cobertura auxilia na execução de um Sistema de Plantio Direto (SPD) eficiente. O objetivo deste trabalho foi compreender como o acúmulo de biomassa e os atributos relacionados à qualidade do resíduo vegetal dessas plantas, implementadas na segunda safra, influenciam a fertilidade do solo e a cultura da soja, conduzida sob semeadura direta. A quantidade de biomassa produzida foi medida durante todo o ciclo de desenvolvimento das PC conduzidas, considerando-se Graus dias. A qualidade do resíduo vegetal foi expressa a partir do Índice de Qualidade de Resíduo (IQR) e seus parâmetros correlatos (Relação C/N e teor de lignina). O experimento foi realizado em Piracicaba (SP), entre março de 2022 e março de 2023. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições dos seguintes tratamentos: (1) Pousio, (2) Mavuno (híbrido de *Urochloa ruziziensis* x *Urochloa decumbens* cv Mavuno), (3) *Urochloa ruziziensis*, (4) *Crotalaria ochroleuca*, (5) *Sorghum* spp. cv. Podium, (6) *Panicum maximum* cv. Mombaça. Foi avaliado durante o cultivo das PC a massa de matéria seca na superfície do solo correlacionada com Graus dias ao longo do ciclo. Com relação ao resíduo vegetal, foram medidas a taxa de decomposição, análise de qualidade do resíduo (teor de lignina, de carbono e relação C/N) e efeitos na fertilidade de solo, após o cultivo da PC e depois da soja, grau de umidade e temperatura na camada de 10 cm de solo. Para a cultura da soja, foi avaliada a produtividade, massa de mil grãos (PMG), estande e altura. O maior acúmulo de biomassa foi observado pelas gramíneas, *Urochloa ruziziensis* e *Sorghum* spp. cv Podium. As PC não diferiram quanto à C/N e teor de lignina. Ainda assim, houve variação na taxa de decomposição dos resíduos, principalmente do sorgo para as demais. O IQR, quando desconsiderado o teor de polifenóis, foi similar entre as plantas estudadas e não se relacionou com a taxa de degradação, nem com umidade e temperatura de solo. O efeito da temperatura basal no metabolismo das plantas foram cruciais para a diferença de biomassa produzida, umidade e temperatura do solo. Contudo, as PC não influenciaram a produtividade da soja.

Palavras-chave: Massa seca de parte aérea, Taxa de decomposição, Relação C/N, Teor de lignina, Índice de qualidade do resíduo

ABSTRACT

Quantity and quality of soil cover crop biomass and their effects on soybeans under no-tillage

The correct choice of cover crops assists in the implementation of an efficient No Tillage Planting System (NTS). The objective of this study was to understand how the biomass accumulation and attributes related to the quality of the vegetal residue of these cover crops, implemented in the second crop, influence soil fertility and soybean culture conducted under direct seeding into the straw. The amount of biomass produced was measured throughout the development cycle of the CCs conducted in this study, considering Growing Degree Days. The quality of the vegetal residue was expressed from the Residue Quality Index (RQI) and its related parameters (C/N Ratio and lignin content). The experiment was conducted in Piracicaba (SP), between March 2022 and March 2023. A randomized complete block design was used, with four repetitions of the following treatments: (1) Fallow, (2) Mavuno (*Urochloa ruziziensis* x *Urochloa decumbens* cv Mavuno hybrid), (3) *Urochloa ruziziensis*, (4) *Crotalaria ochroleuca*, (5) *Sorghum* spp. Cv Podium, (6) *Panicum maximum* cv. Mombaça. During the CCs cultivation, the surface soil dry matter mass correlated with Growing Degree Days throughout the entire cycle was evaluated. Regarding the vegetal residue, its decomposition rate, vegetal quality analysis (lignin content, C/N ratio, and organic C) were measured, and their effects on soil fertility (after CC cultivation and after soybean) and on soil moisture and temperature in the 0-10 cm soil layer were evaluated. For soybean culture, its productivity, Thousand Grain Weight (TGW), stand, and height were evaluated. The highest biomass accumulation was observed in the grasses, *Urochloa ruziziensis* and *Sorghum* spp. cv Podium. The CCs did not differ in terms of C/N ratio and lignin content. Nonetheless, there was variation in the decomposition rate of CC residues, mainly from sorghum to the others. The RQI, when disregarding polyphenols, was similar among the studied plants, but this did not reflect on the degradation rate and effects on soil moisture and temperature evaluated. Basal temperature and plant metabolism were crucial for the difference in results for biomass produced and soil moisture and temperature. However, the use of CCs did not influence soybean crop productivity.

Keywords: Aboveground dry mass, Decomposition rate; C/N ratio, Lignin content, Residue quality index

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A população mundial, atualmente, está em amplo crescimento, o que implica, inevitavelmente, no aumento da demanda por alimentos. De acordo com a ONU (2024), no ano de 2024 a população mundial ultrapassou os 8 bilhões e alcançará 9,9 bilhões de pessoas em 2054. Além do crescimento demográfico tem-se o movimento das pessoas do campo para as cidades, o aumento da expectativa de vida de 64,5 anos em 1994 para 73 anos em 2024, que pressionarão ainda mais a demanda de alimentos. Afora todas essas informações, não se pode desconsiderar que a taxa de crescimento vegetativo da população, razão entre taxa de natalidade e mortalidade, é cada vez menor e há um evidente envelhecimento da humanidade. Entretanto, isso não deve diminuir a busca pela eficiência da produtividade agrícola mundial.

A pressão por novas áreas de plantio e/ou de aumento da produtividade agrícola é uma realidade em razão da fome em muitos países. As áreas disponíveis à expansão da agropecuária são limitadas e a preocupação ambiental e necessidade de preservação ambiental, especialmente no Brasil, dificultam a incorporação de novas áreas para a produção de alimentos. As áreas de expansão agrícola estão concentradas em poucos países, cerca de 90 % das terras estão localizadas nos continentes sul-americano e na África-Subsaariana (FAO, 2013).

Nesse sentido, o Brasil é reconhecido por realizar uma agricultura conservacionista (FAO, 2022), como se faz no sistema de produção Plantio Direto (SPD), como afirmou o cientista Rattan Lal, professor Emérito da Ohio University. Na ocasião da 27ª Conferência Climática das Nações Unidas (COP27, novembro de 2022), realizada no Egito, o professor disse: “a agricultura brasileira é uma história de sucesso”.

O Sistema de Plantio Direto (SPD) originou-se do conceito norte-americano de “no-tillage”, cuja tradução para o português significa “não lavração”, ou seja, a semeadura da cultura agrícola é realizada em sulco sobre a massa de resíduo vegetal, em sulco aberto por disco de corte presente na semeadora. O SPD consiste em três premissas: (i) não lavração de solo, (ii) permanência da cobertura de solo durante todo o ano e (iii) rotação de culturas. No Brasil, o SPD iniciou na década de 1970, principalmente no estado do Paraná. Ao longo dos anos essa técnica se ampliou substancialmente e a adoção do SPD é, atualmente, uma das alternativas mais promissoras para a agricultura tropical (MOTTER; ALMEIDA, 2015).

A principal razão para a introdução e expansão da semeadura direta foi a erosão dos solos brasileiros em razão da erosividade das chuvas tropicais e subtropicais. A erosão hídrica resulta da desagregação pelo impacto de gotas de água sobre a superfície do solo sem palha, com o carreamento de sedimentos pelo deflúvio, assoreando cursos d'água, lagos e represas, com prejuízo da fertilidade do solo.

No SPD, o solo fica coberto por resíduo vegetal durante um período maior ao longo do ano, o que reduz o impacto da gota de chuva e o transporte pela enxurrada (SOUZA et al. 2005; ALMEIDA, 2016). Dessa forma, o SPD proporciona benefícios como: proteção do solo contra erosão eólica e pluvial, redução do aquecimento excessivo e evaporação hídrica por causa da incidência de raios solares, recupera em parte a infiltração e preserva por mais tempo a água armazenada, bem como dificulta a emergência das plantas daninhas fotoblásticas positivas (THEODORO et al., 2018).

Para a execução eficiente do SPD, a escolha correta das culturas a serem conduzidas entre os períodos de produção de grãos, as plantas de cobertura (PC) são muito importantes. As PC podem auxiliar o SPD de diversas maneiras, como diminuição da população de nematoides, a quebra do ciclo de plantas hospedeiras de outras pragas ou doenças e, principalmente, o controle da erosão do solo.

Visando a produção de biomassa, é importante que se escolha PC adaptada à região e época de cultivo, com base em fatores fitotécnicos, como: fotoperíodo, temperatura basal e regime pluvial. É importante levar esses fatores em conta, pois eles influenciam diretamente no crescimento vegetativo das plantas e na produção de biomassa.

Diante do exposto é importante salientar que a quantidade e a qualidade do resíduo vegetal deixado sobre o solo influenciam os benefícios dessa prática agrícola. A quantidade de biomassa está diretamente relacionada ao recobrimento do solo e ao potencial de aumento do teor de matéria orgânica do sistema.

Em relação à qualidade do resíduo vegetal, existem alguns parâmetros, como a relação carbono e nitrogênio (C/N) e o teor de lignina, por causa da ação sobre a taxa de degradação desse material, ou seja, a persistência do resíduo sobre o solo (TIAN et al., 1995). A qualidade da biomassa relaciona-se com o objetivo que pretende alcançar: fonte de nutrientes, proteção do solo ou controle de nematoide. Como fonte de nutriente é importante a concentração dos elementos na biomassa e a rapidez da degradação do material vegetal. Para a proteção do solo contra a erosão interessa

resíduo de PC que dure o maior tempo possível sobre o solo, pelo menos até a cultura sucessora cobrir a área.

Tian et al (1993) propôs um indicador de qualidade do resíduo vegetal, o qual é inversamente proporcional ao somatório do produto da relação C/N, teor de lignina e fenóis totais multiplicadas por constantes estabelecidas pelos autores. Para esses cientistas, quanto maior o valor, maior será a taxa de degradação dos resíduos, por isso os elementos são reciclados bem mais rápidos no sistema. Entretanto, em ambiente tropical, onde a degradação do resíduo vegetal é acelerada, a conservação do solo contra a erosão pode ser considerada um fator mais importante do que a ciclagem de nutrientes. O potássio é um caso à parte, haja vista que o Brasil importa cerca de 94% de tudo que é utilizada pela agricultura, e trata-se do cátion mais fácil de lixiviar em razão da fraca retenção pelos coloides do solo.

O uso de plantas de cobertura no SPD pode contribuir para a produtividade das culturas agrícolas de interesse econômico. As plantas de cobertura afetam a emergência e o desenvolvimento das plantas daninhas, reduzindo a competição entre as plantas invasoras e o cultivo de interesse econômico por luz, água e nutrientes (QUEIROZ et al., 2010; LAMEGO et al., 2013). Além do benefício citado anteriormente, as plantas de cobertura apresentam potencial para recuperar os nutrientes do subsolo (FAGERIA et al., 2005; CARVALHO et al., 2007; FORTE et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2020) e fornecer nitrogênio ao sistema por meio da fixação biológica (MICHELON et al., 2019).

Esta pesquisa foi realizada com base na hipótese de que a escolha das PC deve considerar a temperatura basal (T_b), porque determinada espécie reconhecida para produção de biomassa residual pode não ter o mesmo comportamento semeada em outra época, uma vez que a energia necessária para desencadear o metabolismo varia com T_b .

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Esta pesquisa foi realizada com a finalidade de estudar o acúmulo de biomassa de plantas de cobertura cultivadas na segunda safra em função da Tb, bem como atributos de qualidade do resíduo vegetal por meio do índice de qualidade de resíduo (IQR) cultivo de segunda safra sobre a produtividade da soja.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar o desenvolvimento das plantas de cobertura em segunda safra, por meio da determinação da massa seca da parte aérea (MSPA) ao longo do cultivo,
- Determinar a taxa de crescimento das plantas de cobertura em função da energia disponível no ambiente (Graus-dias),
- Quantificar os atributos de qualidade do resíduo vegetal quanto à C/N e teor de lignina no final do cultivo da PC,
- Obter a taxa de degradação; fertilidade, umidade e temperatura do solo em função do resíduo vegetal,
- Avaliar a produtividade da soja cultivada em sucessão às plantas de cobertura, sob semeadura direta.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.3. Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado na Estação Experimental de Genética - Anhumas, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, localizada na cidade de Piracicaba, estado de SP. O clima da região é classificado como Cwa (ALVARES et al., 2013), clima subtropical de inverno seco e verão quente segundo Koeppen (Latitude entre 22°45' e 22°50' S Longitude entre 48°00' e 48°05' O). A área experimental utilizada localiza-se dentro de uma área cercada de 18.000 m², conforme demarcada (Figura 1).



Figura 1. Localização da Estação Experimental da Genética-USP, onde foi realizada a pesquisa.

A área experimental foi composta por 24 unidades experimentais de 9 metros (m) de largura por 25 metros de comprimento. Metade de cada unidade (9 x 12,5 m) foi usada para as determinações da massa seca da parte aérea (MSPA) e dos atributos do resíduo vegetal das plantas de cobertura. A outra metade da unidade experimental (9 x 12,5 m) foi destinada para avaliação das taxas de decomposição do resíduo vegetal, grau de umidade e a temperatura do solo e, ainda, a produtividade da soja sobre diferentes resíduos.

Devido ao tráfego do trator com o pulverizador, foi adicionado uma bordadura de 3 m entre blocos, uma vez que a barra de pulverizador tem 12 m, com bitola de 3 m entre o rodado do trator.

Para a caracterização do solo da área do experimento foram coletadas 20 subamostras, gerando uma amostra composta, cujos resultados da análise química de 0-20 cm de profundidade foram: pH CaCl_2 5,3; H^+Al 1,7 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; cálcio (Ca) 1,7 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; magnésio (Mg) 0,8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; potássio (K) 0,11 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; fósforo (P resina) 52,8 mg dm^{-3} ; enxofre (S-SO_4^{2-}) 7,2 mg dm^{-3} ; sem Alumínio (Al^{3+}); Matéria orgânica 1,4 %; Soma de bases 2,58 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; CTC 4,23 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; 60,9 % de saturação por bases (V %); micronutrientes (mg dm^{-3}): boro (B) 0,2 mg dm^{-3} , ferro (Fe) 30,1 mg dm^{-3} , manganês (Mn) 13,9 mg dm^{-3} , cobre (Cu) 0,9 mg dm^{-3} , zinco (Zn) 3,9 mg dm^{-3} . A textura do solo é franca-arenosa, com 78 % de areia, 6 % de silte e 16 % de argila, pertencente a classe dos Latossolos (LV Ae) (EMBRAPA, 2013).

As condições climáticas, precipitação e temperaturas máximas e mínimas mensais durante a condução do experimento, de janeiro de 2022 a julho de 2023 estão representados na Figura 2. Os dados de precipitação foram obtidos com base na própria estação meteorológica da Estação Experimental – Anhumas, e os dados de temperatura foram obtidos a partir do programa NASA POWER.

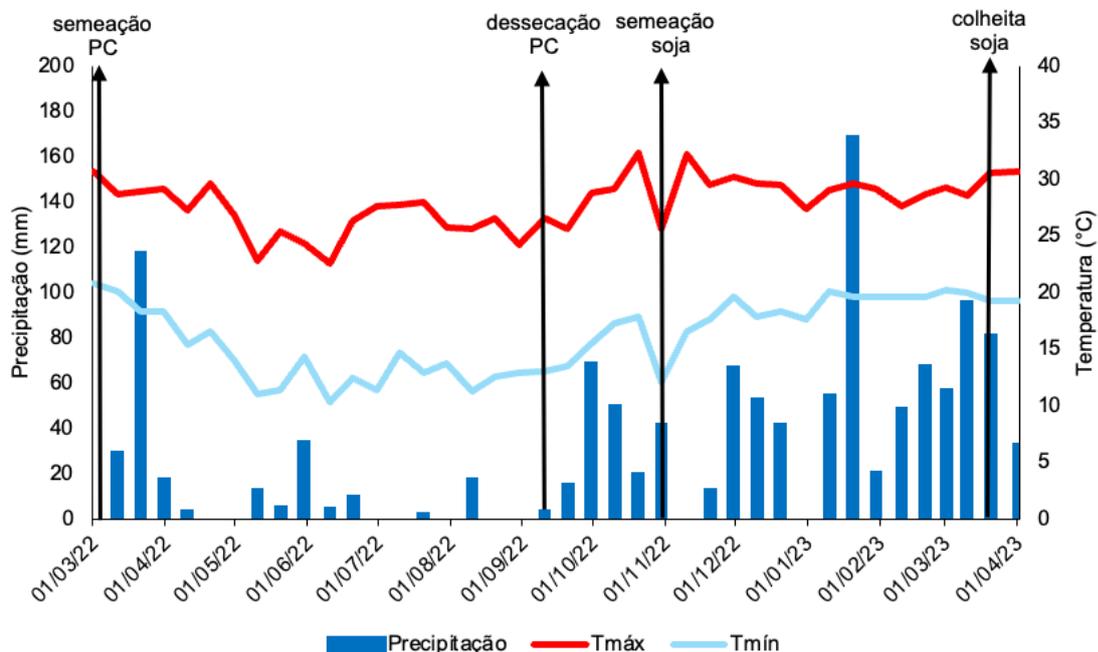


Figura 2. Precipitação (mm) e temperaturas máxima e mínima (°C) durante o experimento, de janeiro de 2022 a julho de 2023. Seta A indica a data de semeadura das plantas de cobertura (tratamentos) (04/março/2022); seta B o dia da dessecação das plantas (10/setembro/2022); seta C a data da semeadura da soja (26/outubro/2022); seta D a data da colheita da soja (23/março/2023).

3.4. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos utilizados foram: (T1) pousio, (T2) Mavuno (híbrido entre *Urochloa ruziziensis* e *Urochloa decumbens*), (T3) *Urochloa ruziziensis*, (T4) *Crotalaria ochroleuca*, (T5) *Sorghum* spp. cv. podium e (T6) *Panicum maximum* cv. mombaça, de acordo com a Tabela 1. Estes tratamentos foram dispostos em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. As PC foram semeadas no dia 04 de março de 2022 a lanço, manualmente. O experimento foi delimitado e marcado com bandeirolas em todos os vértices de cada unidade experimental. Dentro de cada unidade experimental, exceto o controle, as sementes das plantas foram semeadas de acordo com a taxa de semeadura apresentada na Tabela 1.

O cálculo da quantidade de sementes foi feito por unidade experimental e foi pesada a quantidade necessária de sementes em gramas para cada unidade experimental, com uma balança semi-analítica, marca Shimadzu. As quantidades de sementes foram acondicionadas em saco plástico identificado de acordo com o tratamento e repetição. Essa etapa de pesagem foi realizada no dia anterior à semeadura. A quantidade de sementes foi utilizada em conformidade com a recomendação dos produtores de sementes.

Para uma boa emergência das plantas, após a semeadura foi realizada uma incorporação da semente no solo com uma grade leve. Na área destinada ao tratamento de pousio, também foi realizada essa operação.

Na Tabela 1, pode-se observar as espécies de plantas de cobertura de cada tratamento, grupo botânico, metabolismo e dose de sementes puras viáveis.

Tabela 1. Plantas de cobertura, grupo botânico, quantidade de sementes utilizadas no experimento e Temperatura basal das plantas

Legenda	Tratamentos	Grupo	Sementes (kg ha ⁻¹)	Temperatura basal (°C)
T1	Pousio	-	-	-
T2	Mavuno	<i>Gramínea</i>	15	15
T3	<i>U. ruziziensis</i>	<i>Gramínea</i>	8	15
T4	<i>C. ochroleuca</i>	<i>Leguminosa</i>	20	16
T5	S. Podium	<i>Gramínea</i>	8	10
T6	<i>P. Mombaça</i>	<i>Gramínea</i>	15	17,5

Durante a condução do experimento foi realizada a catação manual de plantas daninhas e de soja tiguera durante o desenvolvimento das culturas, de modo a evitar competição com as PC. No pousio (T1) não foi feito nenhum tipo de manejo de catação de plantas. Como manejo fitossanitário foi feito somente o controle de formiga, pela aplicação de 2 gramas por litro de Regente® (Fipronil), em que se colocou 50 mL desta calda por olheiro.

As plantas de cobertura foram cultivadas até o momento de sua dessecação, que ocorreu no dia 10 de setembro de 2022. Para a dessecação foram utilizados os produtos Roundup Ultra®, sal diamônio (Glifosato) na dose de 1,5 kg ha⁻¹ e Verdict R®, haloxyfop-R-metílico na dose de 0,5 L ha⁻¹ e óleo mineral 3 L ha⁻¹. Previamente à dessecação, foi realizada a última coleta de matéria seca de parte aérea (MSPA) das plantas de cobertura. Amostras das plantas foram colocadas em bolsas de decomposição, "*litter bags*" (adaptado de BOCOCK & GILBERT, 1957), descrita no item 3.4.3. Cinco dias após a dessecação, o resíduo vegetal sobre o solo foi fragmentado com o equipamento rolo faca rente ao solo.

A semeadura da soja ocorreu no dia 26 de outubro de 2022. A cultivar semeada foi a NS 6770, com tratamento de semente realizado para cada 25 kg: 180 ml Rizokop, 60 ml de Azokop, 50 ml de Tricodermil, 50 ml de Stingray, 4 ml de Cropstar por kg de semente e 100 ml de Maxim XL por 100 kg semente. Foi utilizada a quantidade de 16 sementes por metro, com 0,5 m de espaçamento, com ciclo aproximado de 125-135 dias. No sulco de semeadura foram utilizados 260 kg ha⁻¹ de 4-30-10 (10,4 kg de N, 78 kg de P₂O₅ e 26 kg de K₂O). Para completar a adubação de potássio, foi realizada uma aplicação em cobertura com 120 kg ha⁻¹ de KCl a lanço no estádio V4.

O manejo fitossanitário e aplicação de micronutrientes foliares da soja foi realizado conforme o padrão da fazenda e igual para todos os tratamentos. No dia 23 de março de 2023 foi realizada a colheita manual das plantas de soja presente em 2,5 m de quatro linhas adjacentes (5 m²). As plantas foram arrancadas do solo, acondicionadas em sacos plásticos de 80 litros e levadas até a trilhadora estacionária da fazenda para beneficiamento dos grãos.

3.5. Avaliações de solo

Foram realizadas análises químicas de amostras de solo coletadas com trado holandês no momento da dessecação das plantas de cobertura e na colheita da soja, na profundidade de 0-20 cm com o objetivo de aferir o efeito da ciclagem de nutrientes proporcionada pelos tratamentos. Para as coletas, foram realizadas 6 subamostras por unidade experimental, formando uma amostra composta por unidade. As subamostras foram colocadas em um balde plástico para homogeneização. Uma alíquota de 400 gramas de solo foi retirada após homogeneização, com um saco plástico devidamente etiquetado com a identificação da unidade experimental correspondente (bloco e tratamento) e enviada para laboratório. Outra alíquota de 400 gramas foi guardada como contra amostra.

Além da determinação dos parâmetros da fertilidade do solo avaliou-se o efeito dos tratamentos sobre a temperatura e umidade do solo após a implantação da soja. A primeira avaliação de temperatura e umidade do solo foi realizada no dia 17 de setembro de 2022. Foram feitas seis avaliações consecutivas a cada 7 dias, em que a última avaliação foi feita no dia 29 de novembro de 2022.

Para a determinação da temperatura foi utilizado um termômetro digital com haste termopar de cobre constantan, da marca Akso. O termômetro afere a média da temperatura ao longo da haste, com isso, o resultado obtido de temperatura foi a média da temperatura na profundidade de 0 a 10 cm de solo, com um erro de 0,1 °C. Em cada momento foram realizadas três leituras de temperatura para cada repetição.

A umidade do solo foi obtida por meio do método termo-gravitacional de acordo com a Embrapa (1997). Foram coletadas três subamostras na profundidade de 0-10 cm para cada repetição. As amostras foram acondicionadas em latas de alumínio de massa conhecida e previamente identificadas. Imediatamente após a vedação das latas com fita adesiva transparente, elas foram colocadas em caixas térmicas durante o transporte do campo até o laboratório. Após essa etapa, as latas contendo os solos foram pesadas em balança semianalítica da marca Shimadzu, com precisão de 0,001 g (peso úmido) e levadas para estufa com ventilação mantidas na temperatura de 105-110°C durante 36 horas. Após isso, as latas com os solos já secos foram retiradas e colocadas em dessecador para resfriamento e pesadas novamente (peso seco).

Para os cálculos de umidade de solo, a tara das latas foi subtraída de todas as leituras realizadas (pesos úmidos e pesos secos), para posteriormente ser utilizada a equação abaixo:

$$(i) \quad \text{Umidade gravimétrica (\%)} = 100 (a - b) / b$$

em que: *a* corresponde à massa da amostra úmida (g), enquanto *b* representa a massa da amostra seca (g).

3.6. Avaliações de quantidade e qualidade de biomassa

3.6.1. Massa seca da parte aérea (MSPA)

Para a MSPA foram realizadas 17 amostragens, iniciada no dia 18 de março de 2022 (14 dias após a semeadura), sendo coletadas 9 amostras sequenciais a cada 7 dias, até o dia 21 de maio de 2022. Após essa data, as avaliações até completar as 17 coletas foram realizadas a cada 14 dias, com a primeira amostragem no dia 04 de junho de 2022 e a última realizada no dia 27 de agosto de 2022.

A amostragem foi realizada utilizando um quadrado de ferro de 0,5 m x 0,5 m (0,25 m²), em que foram coletados 100 % da parte aérea das plantas. As amostragens foram compostas por três subamostras de cada unidade experimental, as quais foram feitas de forma aleatória dentro da área útil das parcelas. As subamostras foram acondicionadas em somente um saco de papel, a fim de obter o somatório da aferição da MSPA.

A parte aérea das plantas foi cortada rente ao solo, com uma tesoura de poda, e o material foi acondicionado em saco de papel previamente identificado, transportados em caixa térmica, para serem secos em uma estufa com ventilação à temperatura de 65 °C durante 72 h. Depois da secagem, foi obtido a massa em balança semianalítica, marca Shimadzu, com precisão de 0,001 g até a oitava coleta. Posteriormente, o volume de massa foi superior à capacidade da balança, por isso foi utilizada uma balança de bancada com precisão de 0,01 g e capacidade de até 40 kg. A MSPA obtida nas avaliações foi transformada para kg ha⁻¹.

3.6.2. Qualidade de resíduo vegetal

Para a avaliação da qualidade do resíduo, foi utilizada a última amostra de MSPA de cada tratamento, realizada no dia 27 de agosto de 2022. As amostras de cada unidade experimental foram trituradas em um triturador forrageiro Trapp, e posteriormente homogeneizadas. Após homogeneizada, foi separada uma alíquota de 300 gramas de cada unidade experimental em um saco plástico. As amostras foram encaminhadas para um laboratório para realização das análises: (i) teor de Carbono orgânico, (ii) teor de nitrogênio total, (iii) relação C/N e (iv) teor de lignina. Além da determinação da concentração de P, K, Mg, S, Zn e Fe.

3.6.3. Taxa de decomposição do resíduo vegetal

Para a análise da taxa de decomposição do resíduo vegetal foi utilizada a última coleta de MSPA, no dia 27 de agosto de 2022. As amostras foram levadas para secagem em estufa e posterior pesagem da amostra seca, conforme mencionado no item 3.3.1.

Após a pesagem de massa de matéria seca, ela foi quarteada e homogeneizada. A seguir, foram retiradas 6 alíquotas de 10 gramas de MSPA de cada repetição. As amostras de plantas utilizadas foram somente seccionadas de modo que coubessem nas bolsas de náilon, sem utilizar material moído. Cada alíquota foi acondicionada em uma bolsa de decomposição de náilon com malha de 2 mm de abertura e dimensões de 15 cm x 20 cm. Dessa forma, determinou-se o conteúdo inicial das bolsas para a avaliação de decomposição do resíduo vegetal.

Foram colocadas seis bolsas contendo 10 g resíduo vegetal seco com peso inicial conhecido, sobre o solo em cada unidade experimental e para os cinco tratamentos (plantas de cobertura), desconsiderando-se o pousio (ausência de planta de cobertura), totalizando 30 bolsas de decomposição. A taxa de decomposição da palha gerada por cada tratamento foi determinada a cada 14 dias, ou seja, de 17 de setembro de 2022 até 29 de novembro do mesmo ano, com uma duração de 70 dias.

Em cada coleta foi recolhida um “*litter bag*”, seu conteúdo foi pesado após secagem, repetindo-se o método citado no item 3.4.1. Para a dinâmica da decomposição de resíduos vegetais foi ajustado a equação exponencial por meio de perda de massa, segundo a equação exponencial (ii) de Wiegert & Evans (1964):

$$(ii) \quad x_t = x_0 \cdot e^{(-kt)}$$

em que: x_t corresponde à biomassa seca do resíduo vegetal remanescente na superfície do solo após t dias; x_0 o valor da biomassa seca do resíduo vegetal acondicionada dentro da sacola de tule no dia zero.

Com base nos dados de variação de biomassa seca, foi estimada a constante de decomposição (k) a partir da equação (iii):

$$(iii) \quad k = \ln(x_t \div x_0) / \text{tempo}$$

A partir dos valores da constante de decomposição da matéria seca (k), pode-se calcular o tempo de meia vida ($t_{1/2}$) pela equação (iv). Ainda segundo Wiegert & Evans (1964), temos:

$$(iv) \quad t_{1/2} = \ln(2) / k$$

em que: $t_{1/2}$ corresponde ao tempo de meia vida do resíduo vegetal seco, isto é, número de dias necessários para decompor 50 % da sua biomassa seca; k é o valor da constante de decomposição do resíduo vegetal seco.

3.7. Taxa de acúmulo absoluto de biomassa por Graus-dia

O parâmetro de Graus-dia (GD), através de modelos matemáticos, pode ser utilizado para estimar acúmulo de biomassa de plantas. Para a avaliação de Graus-dia, foram utilizados os dados de temperatura máxima e mínima diária de acordo com o obtido pelo programa NASA POWER. Os Graus-dia foram acumulados a cada 7 dias (coletas de MSPA) após a semeadura das plantas de cobertura até a 9ª amostragem realizada, após isso o intervalo para o acumulado foi a cada 14 dias, até o momento final da avaliação. Os valores de GD foram obtidos a partir das séries de temperatura máxima e mínima, calculados a partir da equação abaixo (v):

$$(v) \quad GD (\text{°C dia}) = \sum_{i=1}^n [((T_{max_i} + T_{mín_i})/2) - T_b]$$

em que: T_{max_i} e $T_{mín_i}$ referem-se, respectivamente, às temperaturas máxima e mínima em °C diárias observadas no local, T_b é a temperatura basal da planta considerada.

As temperaturas basais das plantas foram: 15 °C para o Mavuno, híbrido entre *Urochloa ruziziensis* e *Urochloa decumbens* (T2) (FERNANDES, 2015); 15 °C para *Urochloa ruziziensis* (T3) (FERNANDES, 2015); 16 °C para *Crotalaria ochroleuca* (T4)

(adaptado de FILHO et al., 2016); 10 °C para *Sorghum spp.* cv. podium (T5) (SILVA et al., 2011); e 17,5 °C para *Panicum maximum* cv. Mombaça (T6) (MORENO, 2004).

A temperatura e o fotoperíodo são dois fatores que afetam o desenvolvimento da cultura. Neste trabalho, abordamos a influência da temperatura basal na produção de biomassa das plantas de cobertura, para o cálculo de GD. Para simplificação são utilizadas três temperaturas cardinais (basal, máxima e ótima). Como este estudo foi realizado em período de safrinha, em que as temperaturas são menores, dosamos pela temperatura basal, abaixo da qual praticamente não há crescimento ou produção de biomassa (WANG & ENGEL, 1998).

3.8. Produtividade da soja

Para verificar o efeito da quantidade e da qualidade do resíduo vegetal, foi avaliada a produtividade da soja em sucessão sobre os diferentes tipos de resíduos vegetais e pousio.

Para a colheita, foram arrancadas todas as plantas de uma área de 4 linhas paralelas (com espaçamento de 0,5 m) por 2,5 m lineares, totalizando uma colheita em 5m². As plantas coletadas foram amarradas em feixes e levadas até a trilhadora estacionária (SB Máquinas agrícolas). Os grãos foram acondicionados em sacos de ráfia e levados posteriormente para o Laboratório de Sementes do departamento de Produção Vegetal da Esalq, cuja massa foi aferida em balança de contrapesos, e a umidade de grãos determinada pelo medidor de umidade da Gehaka G610i.

A partir dessa avaliação, obtida em g de grãos por m², foi feita a conversão da produtividade em kg ha⁻¹, e o grau de umidade foi corrigido para 13 %.

3.9. Índice de qualidade de resíduo

As avaliações citadas anteriormente, relação C/N e lignina, são fatores decisivos para a qualidade do resíduo vegetal e de como esses fatores interagem com o ambiente (Tian et al, 1993). Baseado nesses fatores e na equação (vi) a seguir, desconsiderou a concentração de polifenóis como propuseram Tian et al. (1993).

$$(vi) \quad IQR = [1 / (0,423 \times C/N + 0,439 \times \text{Lignina} + 0,138 \times \text{Polifenóis})] \times 100$$

A contribuição de polifenóis foi retirada por causa do custo da análise e porque a sua contribuição para o IQR é o menor de todos, como indica o coeficiente (0,138). Para Tian et al. (1995), quanto maior o IQR, maior a taxa de decomposição do resíduo vegetal. Nessa condição, aumenta a temperatura da solo e diminui o tempo que o mesmo permanece úmido. Isso é decorrente do autor considerar o IQR uma grandeza inversamente proporcional aos valores da relação C/N, teor de lignina e fenóis. No entanto, para o ambiente tropical, em que as condições elevadas de temperatura e umidade, a taxa de degradação é muito elevada, diminui a persistência do resíduo sobre o solo.

A taxa de degradação dos resíduos vegetais é influenciada proporcionalmente pela elevação da temperatura e umidade. Isso faz com que a taxa de degradação de ambientes tropicais e subtropicais sejam elevadas em comparação com ambientes temperados, em que a temperatura é menor na média do ano. Essa diferença na taxa de degradação deve ser levada em consideração para a avaliação da qualidade do resíduo vegetal.

A taxa de degradação varia também com a composição química da biomassa vegetal, como os teores de celulose, lignina e biomassa não estrutural são relevantes, assim como as relações C/N, lignina/N e lignina/P (Trinsoutrot et al., 2000; Tagliavini et al., 2007; Cornwell et al., 2008; Teixeira et al., 2012). Em geral, resíduos de plantas de cobertura com mais lignina e maiores relações C/N, se decompõem e liberam nutrientes para o solo de forma mais lenta e gradual (Giacomini et al., 2003), o que pode ser um fator decisivo para a escolha da PC na agricultura tropical.

3.10. Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, com quatro repetições. O croqui utilizado para o experimento está ilustrado na Figura 3. A aleatorização dos tratamentos (1 a 6, seguindo os tratamentos da Tabela 1), dentro de cada bloco, foi realizada por meio do programa R Studio versão 4.1.0 (R Core Team, 2021). Os dados coletados foram avaliados em relação à variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro, por meio do programa R Studio versão 4.1.0 (R Core Team, 2021).

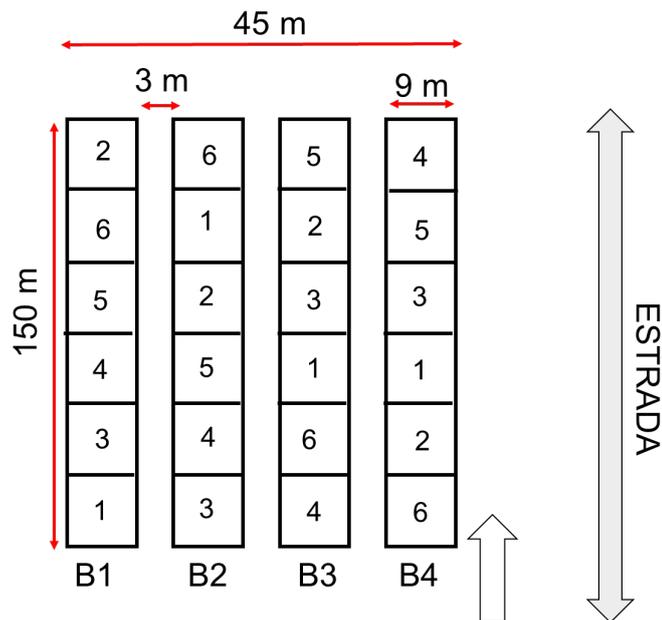


Figura 3. Croqui do experimento, com as dimensões das unidades experimentais e disposição dos tratamentos aleatorizados dentro de cada bloco.

4. RESULTADOS

4.1. Acúmulo de matéria seca das plantas de cobertura em relação a Graus-dia

Os dados referentes ao acúmulo de matéria seca de parte aérea (MSPA) das plantas de cobertura ao longo de 189 dias após a emergência (DAE) estão apresentados na Tabela 2. No período de 14 DAE, foram observadas diferenças significativas no acúmulo de Matéria Seca (MS) entre as plantas de cobertura. O capim Mombaça demonstrou um desempenho superior, enquanto a *Urochloa ruzizensis* (Ruzizensis) apresentou o menor acúmulo. Essa disparidade persistiu até os 28 DAE, quando ocorreu um avanço na taxa de acúmulo de MSPA para as espécies de Ruzizensis e Sorgo. O Sorgo manteve um acúmulo mais elevado ao longo de todo o ciclo de avaliação (189 DAE), com uma taxa numericamente superior em comparação com as demais, embora estatisticamente similar ao desempenho da Ruzizensis.

De forma que, ao final do ciclo de cultivo, 189 DAE, foi observado que o Sorgo e a Ruzizensis foram as plantas que mais acumularam MSPA, sendo 6.970 kg ha^{-1} e $5.790,2 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente. Já as plantas de cobertura Mavuno e Mombaça ($4.820,4 \text{ kg ha}^{-1}$ e $4.538,1 \text{ kg ha}^{-1}$) não diferiram estatisticamente entre si e Ruzizensis. Já a Ochroleuca ($3.640,4 \text{ kg ha}^{-1}$) apresentou a menor produtividade de MSPA, mas não diferiu estatisticamente de Mavuno e Mombaça, notadamente inferior a Ruzizensis e Sorgo.

Nas Figuras 4, 5, 6, 7 e 8, estão representados os gráficos que mostram o acúmulo de matéria seca em relação ao somatório de Graus-dia ao longo do período de avaliação para as espécies Mavuno (Figura 4), Ruzizensis (Figura 5) e Mombaça (Figura 8). Para todas essas espécies, foi observado um padrão linear no ganho de matéria seca à medida que os Graus-dias foram somados durante o ciclo de cultivo.

No entanto, para as plantas de cobertura Ochroleuca (Figura 6) e Sorgo (Figura 7), o padrão de acúmulo de matéria seca foi representado por uma expressão quadrática, indicando uma relação mais complexa entre o acúmulo de matéria seca e o tempo, conforme representado nos gráficos correspondentes. Vale a pena ressaltar, que estas plantas de cobertura atingiram a maturidade fisiológica com 140 DAE e 100 DAE, respectivamente. Desta forma, a partir destes momentos, é possível verificar que as plantas não acumularam mais matéria seca. O Sorgo, a partir dos 170 DAE,

voltou a acumular massa seca, pois as plantas iniciaram o perfilhamento, com brotações laterais. Essa informação pode ser relevante, uma vez que, caso fosse colhido na maturidade fisiológica, as plantas de sorgo poderiam voltar a produzir massa seca de parte aérea sem uma nova semeadura.

Ao analisar o acúmulo de MSPA em relação aos Graus-dias (conforme apresentado na Tabela 3), notou-se que ao atingir 750 Graus-dia, o Sorgo demonstrou ganhos expressivos em comparação com as demais plantas de cobertura avaliadas. O Sorgo registrou um acúmulo superior de até doze vezes em comparação ao cultivar Mavuno, que apresentou o menor acúmulo, totalizando 20 g m^{-2} (200 kg ha^{-1}). Para as outras espécies, Ruziziensis, Ochroleuca e Mombaça, os ganhos de matéria seca ao longo da soma de Graus-dias mantiveram-se numericamente próximos entre si.

Tabela 1. Massa de Matéria Seca de parte aérea de cada planta de cobertura, medido ao longo do tempo em dias após emergência (DAE), expresso em kg ha⁻¹ e Graus Dias (GD) acumulados para cada tratamento durante os períodos

Tratamentos	DAE																	
	7		14		21		28		35		42		49		56		70	
	GD	MSPA	GD	MSPA	GD	MSPA	GD	MSPA	GD	MSPA	GD	MSPA	GD	MSPA	GD	MSPA	GD	MSPA
Pousio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mavuno	56,9	24,7 b	59,9	93,0 bc	65,4	214,5 bc	58,7	256,5 bc	65,1	436,8 b	38,0	612,0 b	54,7	913,9 b	58,9	964,8 b	28,6	1088,0 b
Mombaça	34,1	58,1 a	42,4	253,7 ac	47,9	656,5 a	41,2	371,8 abc	47,6	494,1 b	20,5	613,3 b	37,2	849,8 b	41,4	1178,8 b	11,1	1186,9 b
Ochroleuca	50,9	25,2 b	52,9	45,5 c	58,4	109,3 c	51,7	220,2 c	58,1	251,2 c	31,0	298,6 b	47,7	849,3 b	51,9	1038,8 b	21,6	1350,2 b
Ruziziensis	56,9	6,3 c	59,9	62,4 bc	65,4	340,1 b	58,7	483,8 abc	65,1	563,8 b	38,0	848,7 b	54,7	914,7 b	58,9	1374,4 b	28,6	1462,5 b
Sorgo	86,9	26,8 b	94,9	102,5 bc	100,4	349,9 b	93,7	445,1 ab	100,1	1118,1 a	73,0	1752,0 a	89,7	2800,5 a	93,9	3697,3 a	63,6	4185,1 a
Média	-	28,2 *	-	111,4 *	-	334,1 *	-	355,5 *	-	572,8 *	-	824,9 *	-	1265,6 *	-	1650,8 *	-	1854,6 *
Teste Fc	-	0,000	-	0,000	-	0,000	-	0,000	-	0,000	-	0,000	-	0,000	-	0,000	-	0,000
C.V %	-	27,9	-	19,6	-	27,3	-	24,8	-	14,0	-	30,0	-	31,5	-	17,0	-	18,1

Tratamentos	DAE															
	84		98		112		126		140		154		168		182	
	GD	MSPA	GD	MSPA	GD	MSPA	GD	MSPA	GD	MSPA	GD	MSPA	GD	MSPA	GD	MSPA
Pousio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Mavuno	27,5	1691,9 b	28,9	1932,3 b	40,8	2798,8 b	53,1	2983,1 bc	63,4	3868,8 b	89,6	3796,3 bc	72,4	4045,8 b	43,7	4820,4 bc
Mombaça	10,0	1154,7 b	-6,2	1851,9 b	5,8	2263,5 b	18,1	2099,9 c	28,4	2881,3 b	54,6	3196,8 c	37,4	3491,5 b	8,7	4538,1 bc
Ochroleuca	20,5	1842,3 b	14,9	1763,4 b	26,8	2180,5 b	39,1	3250,0 bc	49,4	3902,4 b	75,6	4534,2 b	58,4	3221,8 b	29,7	3640,4 c
Ruziziensis	27,5	1658,3 b	28,9	2212,4 b	40,8	2377,0 b	53,1	3861,9 bc	63,4	4573,2 ab	89,6	5493,2 a	72,4	4622,8 b	43,7	5790,2 ab
Sorgo	62,5	5246,6 a	98,9	7554,3 a	110,8	6611,0 a	123,1	5660,7 a	133,4	5722,2 a	159,6	6020,0 a	142,4	7214,8 a	113,7	6970,0 a
Média	-	2318,7 *	-	3062,9 *	-	3246,1 *	-	3571,1 *	-	4189,6 *	-	4608,1 *	-	4519,3	-	5151,8 *
Teste Fc	-	0,000	-	0,000	-	0,000	-	0,000	-	0,000	-	0,000	-	0,000	-	0,000
C.V %	-	23,8	-	16,8	-	11,9	-	15,9	-	18,5	-	9,1	-	20,4	-	13,7

F*médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a nível de confiabilidade de 5 %

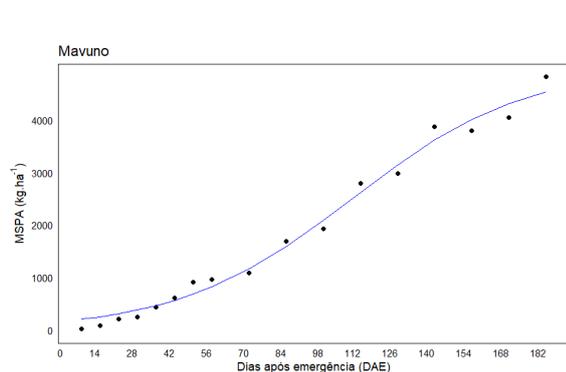


Figura 4. Acúmulo de massa seca de parte aérea de Mavuno (T2), em função de Graus-dias acumulados durante o período de avaliação.

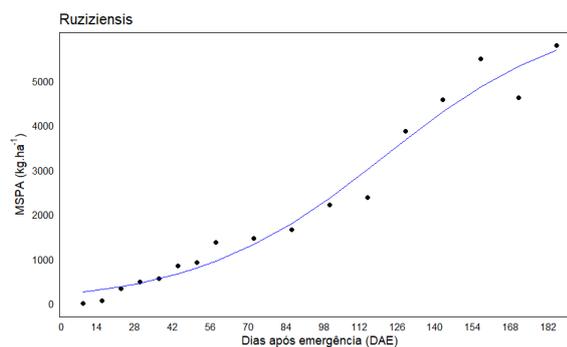


Figura 5. Acúmulo de massa seca de parte aérea de Ruziziensis (T3), em função de Graus-dia acumulados durante o período de avaliação.

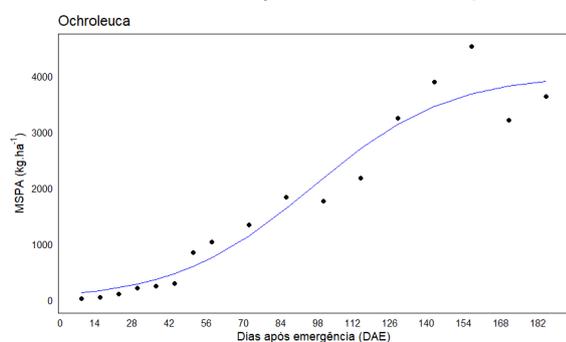


Figura 6. Acúmulo de massa seca de parte aérea de ochroleuca (T4), em função de Graus-dia acumulados durante o período de avaliação.

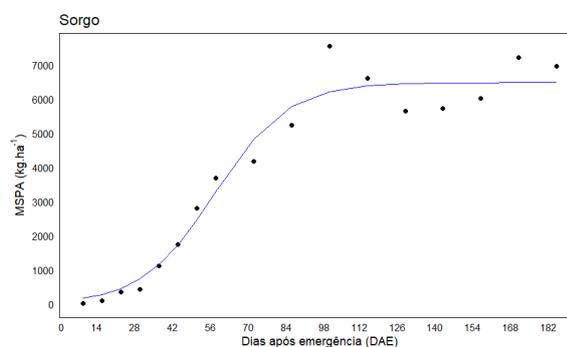


Figura 7. Acúmulo de massa seca de parte aérea de sorgo (T5), em função de Graus-dia acumulados durante o período de avaliação.

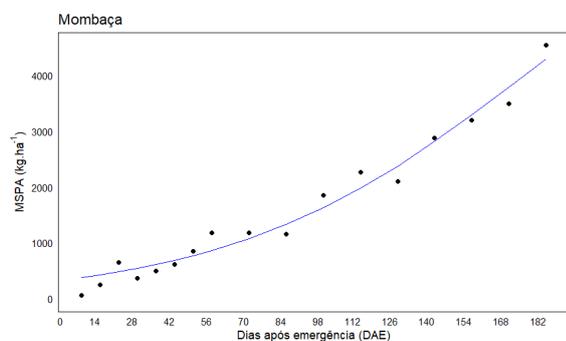


Figura 8. Acúmulo de massa seca de parte aérea do Mombaça (T6), em função de Graus-dia acumulados durante o período de avaliação.

4.2. Análise de qualidade do resíduo vegetal

Os resultados da análise da qualidade do resíduo das plantas de cobertura estão apresentados na Tabela 3. Não constatou diferenças significativas nos teores de lignina e relação C/N. As variações da relação C/N não foram significativas, o que

sugere que as plantas de coberturas da presente pesquisa devem apresentar o mesmo padrão na taxa de degradação da biomassa.

É importante ressaltar, que como as plantas do gênero *Urochloa* e *Panicum* não atingiram a maturidade fisiológica, e a ochroleuca e o sorgo atingiram, isso proporcionou uma igualdade entre a relação C/N encontrada nas plantas. Relatos de Flores et al. (2013) e Foloni et al. (2016), que encontraram correlação positiva entre período do corte das plantas de cobertura e a relação C/N de capim elefante e milheto. Ou seja, quanto mais próximo da maturidade fisiológica, maior é a relação C/N das plantas.

O Índice de Qualidade Residual (IQR) desempenha um papel importante na compreensão da taxa de decomposição do resíduo vegetal. Exceto pela Ochroleuca (9,4), as demais plantas de cobertura mantiveram índices bastante próximos à média de 8,7 (Tabela 3), dado que o IQR é dependente dos componentes lignina e relação C/N, as quais não apresentaram diferenças estatísticas. Estes resultados forneceram uma visão abrangente da qualidade do tecido vegetal e seus efeitos potenciais na dinâmica do solo.

Tabela 2. Teor de Lignina, Relação C/N e Índice de Qualidade do Resíduo (IQR) das plantas de cobertura

Tratamento	Lignina	Relação C/N	IQR ¹
	%	%	-
Pousio	-	-	-
Mavuno	4,8	22,4	8,6
Mombaça	4,8	22,6	8,6
Ochroleuca	4,8	20,2	9,4
Ruziziensis	4,8	23,0	8,4
Sorgo	4,8	23,3	8,4
Média	4,8 ^{ns}	22,3 ^{ns}	8,7
Valor Fc (pr F<0,05)	0,991	0,251	-
C.V %	6,2	8,9	-

*médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a um nível de confiabilidade de 5 %; ^{ns} médias dos tratamentos não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade.

De maneira geral, os teores dos nutrientes N, P, Mg, S, Zn e Fe nas plantas de cobertura foram semelhantes entre si (Tabela 4). No entanto, no que diz respeito ao

teor de K, as plantas de Ochroleuca e Sorgo apresentaram valores inferiores em comparação com as demais plantas, registrando teores de 15 e 9,6 g kg⁻¹, respectivamente. Além disso, no que concerne ao teor de Ca, somente o Sorgo mostrou diferença estatística significativa, com valor inferior às outras plantas de coberturas.

Em relação ao Mn, os teores nas cultivares Mombaça e Mavuno foram superiores, registrando valores de 162,2 e 184,5 mg kg⁻¹, respectivamente. Para o Cu, a Ochroleuca apresentou teor expressivamente superior (5,5 mg kg⁻¹) similar aos teores da Mombaça e Sorgo (4,7 e 4,2 mg kg⁻¹, respectivamente).

Quanto a extração de nutrientes (Tabela 4), pode-se estimar o potencial de reciclagem de nutrientes, dado que, é feito a partir da multiplicação dos teores dos nutrientes pela massa seca de parte aérea (biomassa) produzida pelas PC. Foi visto que as gramíneas, exceto a Mombaça, proporcionaram mais de 100 kg.ha⁻¹. Apesar da Ochroleuca, numericamente apresentar um teor de N mais elevado, sua baixa biomassa produzida a fez ter o menor potencial de reciclagem de nutrientes. O maior potencial de reciclagem de nutrientes, foi visto para a Ruziziensis. Uma vez que esta PC apresentou a maior extração de N, K, Ca e Mg, e a segunda maior extração de P dentre as demais.

Tabela 3. Teores e extração dos macronutrientes para cada planta de cobertura avaliada

Tratamentos	Teores de macronutrientes no tecido vegetal					Extração dos macronutrientes				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
	-----%-----					----- kg.ha ⁻¹ -----				
Pousio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mavuno	2,1	0,2	2,1 a	0,6 a	0,1	106,8 ab	7,7 bc	102,8 b	24,1 b	6,5 bc
Mombaça	2,2	0,2	2,3 a	0,6 a	0,2	99,3 b	9,2 bc	114,9 ab	27,7 ab	6,6 b
Ochroleuca	2,5	0,2	1,5 b	0,7 a	0,2	90,3 b	6,5 c	59,9 c	28,6 ab	5,2 c
Ruzizensis	2,1	0,2	2,3 a	0,6 a	0,2	121,8 ab	9,5 b	133,3 a	36,2 a	8,2 a
Sorgo	2,2	0,2	1,0 c	0,4 b	0,1	150,2 a	12,9 a	64,7 c	27,1 ab	7,7 ab
Média	2,2	0,2	1,8	0,6	29,6	113,7	9,2	95,1	28,7	6,8
Valor Fc (pr F<0,05)	0,1789 ^{ns}	0,8680 ^{ns}	0,0000*	0,0029*	0,1185 ^{ns}	0,015*	0,000*	0,000*	0,045*	0,000*
C.V %	9,7	15,5	9,3	14,3	17,1	18,8	14,2	12,9	17,0	9,0

* médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a um nível de confiabilidade de 5 %; ^{ns} médias dos tratamentos não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade.

4.3. Decomposição do resíduo vegetal

A última massa seca residual das plantas de cobertura (PC), a constante de decaimento (k) e o tempo de meia vida ($t_{1/2}$) estão apresentados na Tabela 5. Mavuno foi o resíduo que apresentou o maior valor de k , seguido de mombaça, ochroleuca, ruzizensis e sorgo. Dessa forma, o sorgo se destaca como a PC com meia vida maior, em comparação as demais aos 151 dias.

As Figuras 9, 10, 11, 12 e 13, ilustram a equação de decaimento ajustada para cada tratamento, mavuno, ruzizensis, ochroleuca, mombaça e sorgo, respectivamente. A partir das figuras é possível a curva com menor R^2 , ou seja, menos se adequa aos dados encontrados, é a da ruzizensis. Vê-se que ao longo das cinco avaliações de decomposição, a ruzizensis não seguiu um padrão de decomposição conforme ajustado o modelo. Isso pode ter ocorrido devido a complicações com a metodologia utilizada.

Contudo, as PC, menos o sorgo, apresentaram um comportamento de decomposição bem semelhante, isso pode ser decorrente do fracionamento do resíduo vegetal para acomodação nas *litter bags*.

Tabela 4. Resíduo vegetal pesado nas “litter bags”, expressos em gramas, no último dia de avaliação (70 dias) em seis momentos após a dessecação das plantas de cobertura

Tratamentos	última massa residual (g)	Constante de decaimento (k)	Tempo de meia vida ($t_{1/2}$)
Mavuno	7,10	0,0053	57
Mombaca	6,70	0,0051	59
Ochroleuca	7,21	0,0047	64
Ruzizensis	7,85	0,0033	91
Sorgo	8,78	0,0020	151

*médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a um nível de confiabilidade de 5 %; ^{ns} médias dos tratamentos não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade.

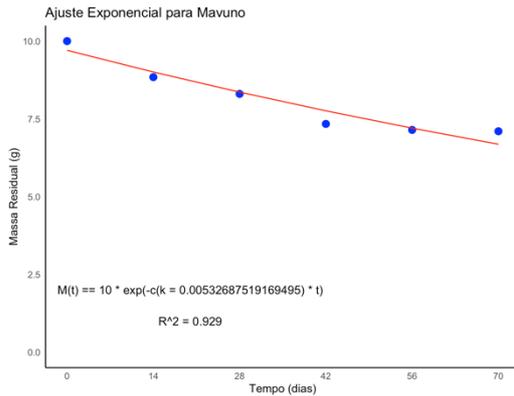


Figura 9. Massa seca residual de mavuno (T2) em função do tempo de decomposição e o ajuste de decaimento.

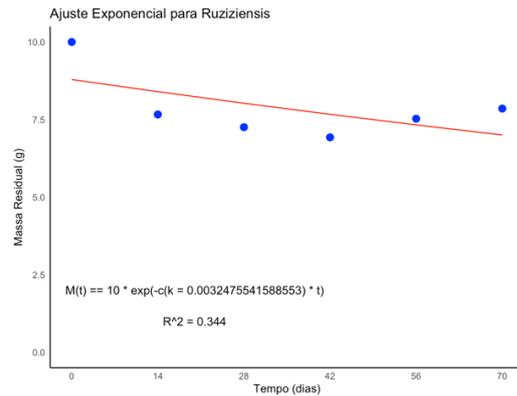


Figura 10. Massa seca residual de Ruzizensis (T3), em função do tempo de decomposição e o ajuste de decaimento.

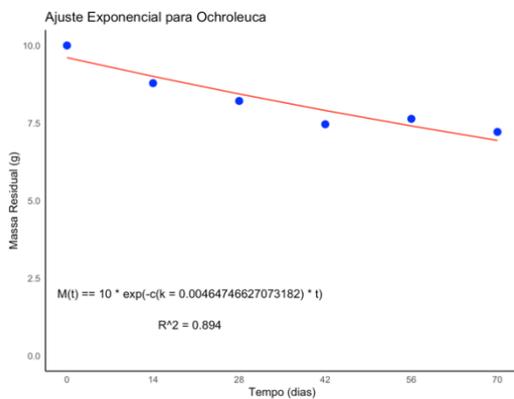


Figura 11. Massa seca residual de ochroleuca (T4), em função do tempo de decomposição e o ajuste de decaimento

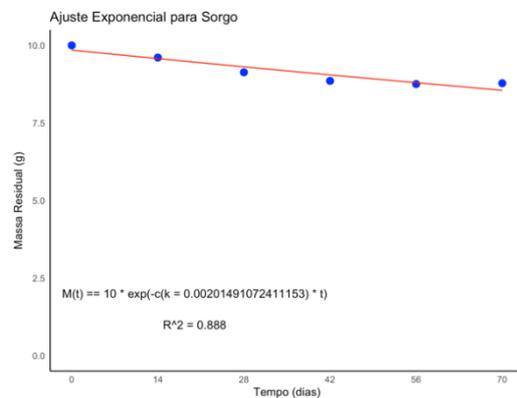


Figura 12. Massa seca residual de sorgo (T5) em função do tempo de decomposição e o ajuste de decaimento.

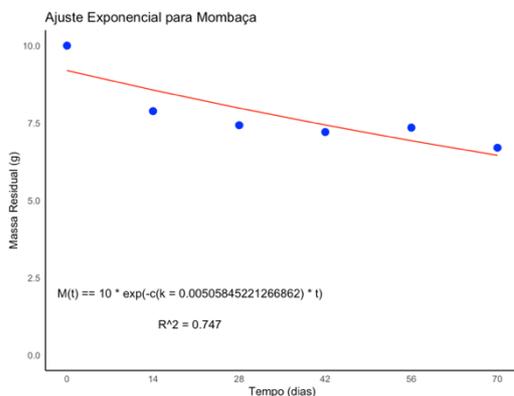


Figura 13. Massa seca residual de Mombaça (T6) em função do tempo de decomposição e o ajuste de decaimento.

4.4. Umidade e temperatura do solo sob resíduo vegetal

A interação entre a umidade, a temperatura do solo e o uso de plantas de cobertura (PC) desempenha um papel crucial nos sistemas agrícolas, exercendo influência tanto no desempenho das plantas de cobertura quanto nas condições gerais do solo. Os resultados das avaliações de umidade e temperatura do solo são apresentados nas Tabelas 6 e 7.

Aos 7 dias, com uma precipitação acumulada de 14 mm, observou-se uma tendência de maior umidade nas áreas cultivadas com plantas de cobertura, embora essa diferença não tenha alcançado significância estatística. Do dia 07 a 21 após dessecação, também não foram observadas diferenças estatísticas, sendo que nesse período a precipitação foi de 63,4 mm. No entanto, após 35 dias (precipitação acumulada de 48,8 mm), a disparidade de umidade entre os tratamentos tornou-se mais expressiva com Mavuno e Ruzizensis apresentando maiores níveis.

Entre os dias 35 e 49, houve uma precipitação de 18,25 mm, e foi observado uma umidade maior para a Ruzizensis em comparação ao tratamento Pousio. Já, entre os 49 e 66 dias após dessecação, não foram encontradas diferenças estatísticas, uma vez que, houve uma precipitação acumulada no período de 52 mm, sendo que no dia anterior a medição de umidade choveu mais de 10 mm.

No último período de avaliação de umidade, entre os dias 66 a 80 após dessecação foi visto uma variação de umidade em que todas as plantas de cobertura tiveram superioridade com relação ao solo descoberto (pousio). Nesse período houve uma precipitação acumulada de 35 mm, e foi visto diferença estatística mesmo com uma precipitação de 30 mm no dia anterior a medição de umidade.

Com esses resultados, pode-se afirmar que o uso das PC favorece maiores percentuais de umidade em comparação com a área sob pousio dentro o período avaliado, de 80 dias após a dessecação, para a primeira camada de 10 centímetros de solo. Nos primeiros dois períodos, 07 e 21, quando se faz uma correlação com a temperatura média do solo, que as temperaturas de solo eram baixas, 21,1 °C e 23,5 °C. A partir do terceiro período as temperaturas médias do solo aumentam consideravelmente, 26,8 °C, 31,2 °C, 32,4 °C e 29,6 °C, o que faz com que as condições ambientais sejam favoráveis para a resposta de aumento da umidade do solo com o uso das PC.

As PC proporcionam além da melhora em taxas de infiltração e armazenamento de água no solo, menor perda de água por evaporação, uma vez que ela exerce uma função de barreira protetiva. Essa função diminui a transmissão do vapor de água formado na superfície do solo para a atmosfera. A cobertura do solo proporcionada pelo Sistema de Plantio Direto, atua como isolante térmico e reduz a condução e absorção pelo solo do calor necessário para a água mudar do estado líquido para gasoso (LEMON, 1956; CRUZ, 1982).

Tabela 5. Umidade do solo (%) na camada 0-10 cm, aferida em seis épocas após a dessecação das plantas de cobertura

Tratamentos	Dias após dessecação					
	7	21	35	49	66	80
Pousio	7,7	13,2	6,9 c	6,9 b	10,0	10,7 b
Mavuno	8,5	14,4	9,3 a	8,1 ab	11,6	12,9 a
Mombaça	8,0	14,5	7,2 c	7,4 ab	14,7	12,5 a
Ochroleuca	8,3	14,2	7,7 bc	7,2 b	10,0	12,1 a
Ruzizensis	8,1	14,4	9,4 a	8,7 a	12,1	12,2 a
Sorgo	8,9	14,6	8,7 ab	7,9 ab	11,5	12,4 a
Média	8,3	14,2	8,2 *	7,7 *	11,7	12,1 *
Fc (pr F<0,05)	0,262	0,174	0,000	0,005	0,054	0,000
C.V %	8,1	5,5	7,9	7,3	17,6	3,8

*médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a um nível de confiabilidade de 5 %; ^{ns} médias dos tratamentos não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade.

Já para a temperatura (Tabela 7), aos 7 dias, diferenças expressivas foram identificadas entre os tratamentos, com o solo sob pousio apresentando temperaturas mais elevadas. Ao longo dos 94 dias, o solo sob pousio manteve constantemente temperaturas mais altas. Destaca-se que as médias para Mavuno, Mombaça e Ruzizensis apresentaram as temperaturas mais baixas, reduzindo em, aproximadamente, 5 °C a temperatura do solo em comparação com o solo sob pousio.

Com isso, nota-se um efeito geral na preservação da umidade e temperatura do solo maior com a presença de plantas de cobertura, principalmente com o uso de gramíneas. Esses resultados indicam que a presença de alguma cobertura sobre o solo, mesmo após 80 dias de sua dessecação, observa-se um aumento próximo de 2 % no teor de umidade do solo, em comparação a um solo que permaneceu a segunda safra sob pousio. É uma regulação térmica maior, principalmente quando a

temperatura do ar é maior, o que foi verificado a partir do dia 35 após a dessecação das PC.

Tabela 6. Temperatura do solo (°C) na camada 0-10 cm, aferida em seis épocas após a dessecação das plantas de cobertura

Tratamentos	Dias após dessecação					
	7	21	35	49	66	80
Pousio	22,8 a	26,3 a	30,3 a	34,1 a	36,5 a	31,1
Mavuno	20,0 c	21,2 c	23,9 b	28,9 c	29,6 c	26,8
Mombaça	20,3 c	21,3 c	24,1 b	29,5 c	30,3 c	29,6
Ochroleuca	21,9 b	25,8 ab	29,9 a	33,1 a	34,1 b	30,4
Ruziensiis	20,1 c	21,0 c	24,1 b	29,5 c	30,9 c	29,3
Sorgo	21,7 b	25,3 b	28,7 a	32,0 b	32,9 b	30,2
Média	21,1 *	23,5 *	26,8 *	31,2 *	32,4 *	29,6 ^{ns}
Fc (pr F<0,05)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,075
C.V %	1,6	1,4	2,8	1,5	2,1	6,4

*médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a um nível de confiabilidade de 5 %; ^{ns} médias dos tratamentos não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade.

4.5. Parâmetros fitotécnicos e produtividade da soja em sucessão

Os resultados referentes aos parâmetros fitotécnicos e à produtividade da soja em sucessão sob diferentes plantas de cobertura estão apresentados na Tabela 8. Não foram identificadas diferenças estatísticas significativas para nenhum dos parâmetros por efeito das plantas de cobertura.

A composição química dos grãos de soja com relação aos macronutrientes (Tabela 9), não apresentaram diferença significativa para os tratamentos avaliados.

Tabela 7. Produtividade da soja (kg.ha⁻¹) e massa de mil grãos (PMG, g)

Tratamento	Produtividade	PMG
	kg ha ⁻¹	g
Pousio	3355,0	161,4
Mavuno	3133,7	168,4
Mombaça	2994,2	166,0
Ochroleuca	3291,5	164,6
Ruzizensis	3088,2	169,9
Sorgo	2915,3	163,0
Média	3129,6 ^{ns}	165,5 ^{ns}
Valor Fc (pr F<0,05)	0,5312	0,336
C.V %	11,7	3,5

^{ns} médias dos tratamentos não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade.

Tabela 8. Resultado da análise química de macronutrientes (g.kg⁻¹) dos grãos de soja

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----g.kg ⁻¹ -----					
Pousio	50,6	4,7	17,1	4,2	2,9	2,3
Mavuno	52,6	4,7	18,6	4,4	3,0	2,3
Mombaça	53,2	4,6	18,3	4,4	3,0	2,1
Ochroleuca	53,5	4,8	18,6	4,2	3,0	2,3
Ruzizensis	51,9	4,8	18,1	4,4	2,9	2,3
Sorgo	56,6	4,9	17,8	4,3	2,9	2,5
Média	53,1 ^{ns}	4,8 ^{ns}	18,1 ^{ns}	4,3 ^{ns}	3,0 ^{ns}	29,6 ^{ns}
Valor Fc (pr F<0,05)	0,121	0,760	0,963	0,955	0,210	0,370
C.V %	5,1	5,5	14,8	9,3	3,5	9,6

*médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a um nível de confiabilidade de 5 %; ^{ns} médias dos tratamentos não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade

4.6. Análise de fertilidade de solo após cultivo da soja

Após o cultivo de soja, foi realizada uma análise de fertilidade, com os principais indicativos de sua fertilidade, pH (CaCl₂ e H₂O), Ca, Mg, K, P resina e M.O e somente foi encontrada uma diferença significativa no teor de P resina (Tabela 10). A presença anterior da ruziziensis sobre o solo, foi o único sistema que demonstrou um aumento expressivo nos teores de fósforo quando comparado ao pousio. De acordo com os resultados da análise de fertilidade, observou-se um acréscimo de 17,5 mg dm⁻³ de fósforo, o que significa um aumento de 41,2 % nesse macronutriente. O incremento dos teores de fósforo indica uma possível contribuição dessa forrageira para a ciclagem e disponibilidade do nutriente, mesmo após um ciclo de safra de soja.

Tabela 9. Resultados da análise de solo da profundidade 0-20 cm, após o cultivo da soja, por tratamento

Tratamento	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K	P-resina	M.O
		----- cmol _c .dm ⁻³ -----			mg.dm ⁻³	%
Pousio	5,5	1,85	0,93	0,11	42,5 b	2,0
Mavuno	5,2	1,85	0,83	0,14	44,7 ab	2,4
Mombaça	5,3	1,85	0,85	0,13	37,7 b	1,9
Ochroleuca	5,3	1,88	0,85	0,12	43,7 ab	2,1
Ruziziensis	5,1	1,83	0,8	0,14	60 a	2,3
Sorgo	5,4	1,93	0,88	0,11	43,7 ab	2,5
Média	5,3 ^{ns}	1,86 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,12 ^{ns}	45,4 *	2,2 ^{ns}
Fc (pr F<0,05)	0,673	0,963	0,563	0,126	0,016	0,687
C.V %	5,3	8,6	11,2	15,7	16,6	25,0

*médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a um nível de confiabilidade de 5 %; ^{ns} médias dos tratamentos não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade.

5. DISCUSSÃO

O emprego de plantas de cobertura do solo (PC) apresenta considerável potencial para a sustentabilidade dos sistemas de produção (RIGON et al., 2020). Dentre os parâmetros que influenciam os efeitos das plantas de cobertura na produção agrícola, tem-se a adição de matéria seca (MS) ao sistema, a qual varia de acordo com a espécie escolhida. Neste trabalho, foi observado ao final dos 189 DAE, que a MS produzida pelas PC foi diferente entre elas, uma vez que maior para as gramíneas, *Urochloa ruziziensis* e *Sorghum* spp. cv Podium. A maior quantidade de MS produzida pelo Sorgo também foi observada em comparação à outras espécies de gramíneas (OLIVEIRA et al., 2002) e leguminosas (FERREIRA et al., 2011).

Esse mesmo comportamento do sorgo com maior acúmulo de biomassa, apresentou correlação com a energia disponível no ambiente (Graus-dias) por meio de modelo matemático. Dentre as plantas de cobertura avaliadas, o Sorgo com a temperatura do ambiente apresentou expressivamente mais biomassa. A maior produção de MS sugere uma eficiência superior no uso da temperatura para o crescimento dessas plantas durante a época do presente experimento, principalmente por causa da menor temperatura basal (T_b) desta espécie, utilizada no cálculo de Graus-dias. Vale a pena ressaltar, que o sorgo atingiu sua maturidade fisiológica antes dos 100 DAE, isso mostra que essa PC apresentou uma velocidade de acúmulo de biomassa mais rápida em comparação com as demais PC, tornando-o uma opção interessante quando a janela para cultivo da PC é estreita. Em contrapartida, a *ruziziensis*, atingiu a mesma produtividade de biomassa do sorgo, contudo, ela precisou de todo o tempo de cultivo deste trabalho, 182 dias após emergência. Demonstrando que a curva de acúmulo de biomassa desta planta é mais demorada, na condição de cultivo.

O teor de lignina e a relação C/N são parâmetros importantes para avaliar a finalidade dos resíduos vegetais, pois tem relação com a facilidade ou dificuldade de sua decomposição pela biota do solo, e para a formação do húmus (FIALHO et al., 2010). De maneira geral, as gramíneas costumam manifestar uma relação C/N mais elevada (AMADO et al., 2002).

A escassez de precipitação durante o período de cultivo das plantas de cobertura pode ter afetado o desenvolvimento da biomassa da *Crotalaria ochroleuca*, que mesmo com sua temperatura basal (T_b) muito próxima das demais PC, devido a

sua menor eficiência fisiológica, metabolismo C3. É notado que as plantas com metabolismo C4 são mais eficientes, principalmente em períodos de veranicos (secos) na produção de fotossíntese com a mesma unidade energética oferecida (NETO, 2023, TALUKDER et al., 2024).

De acordo com o trabalho de Chagas et al. (2007), as relações C/N de caules e vagens, 79 e 66 respectivamente, de um resíduo de feijoeiro eram muito superiores à relação C/N de folhas senescentes coletadas ao longo do ciclo, 24. Isso mostra que a relação colmo ou haste, com folha é determinante para a relação C/N. Dessa forma, a velocidade de decomposição do caule foi mais lenta quando comparada à decomposição da folha, uma vez que encontrada meia-vida de mais de 130 dias para o caule e menos de 80 dias para folhas. Interessante posicionar, que a palhada de vagens avaliada pelos autores tinha sido triturada após o beneficiamento dos grãos, isso fez com que o material, mesmo com alta relação C/N, tivesse uma velocidade de decomposição muito próxima a das folhas, com meia vida de 64 dias. Isso pode ser um indicativo, que o grau de fracionamento da palhada implica em maior contato com o solo. Esse fator pode ser tão importante quanto a relação C/N para a taxa de decomposição da palhada.

Em termos gerais, as partes mais velhas das gramíneas tendem a apresentar um teor mais elevado de lignina. Essa substância varia em função do órgão da planta em análise, como folhas e caules, os quais podem exibir teores distintos de lignina (SAVIOLI e FUKUSHIMA, 2000). Além disso, o estágio de crescimento da planta também desempenha um papel significativo na determinação do teor de lignina. Essas observações podem ajudar a explicar a ausência de diferenças significativas entre as espécies de gramíneas e leguminosas avaliadas neste estudo, para a relação C/N, taxa de decomposição e IQR.

As variações nas taxas de decomposição refletem a composição química dos resíduos caulinares das plantas de cobertura (OLIVEIRA et al., 2008). A resistência do resíduo à decomposição está mais fortemente vinculada ao teor de lignina ou a outro componente orgânico não avaliado. Neste estudo, os resultados obtidos para o IQR não o correlacionaram com a taxa de degradação, a exemplo do que foi observado para o sorgo em relação aos resíduos das demais plantas de cobertura. Quanto maior o índice, sugere-se uma maior taxa de decomposição do resíduo vegetal. O maior IQR foi determinado para a ochroleuca, porém o maior percentual da taxa de decomposição foi identificado para o capim Mombaça, que possuía folhas

estreitas e pouco colmo na sua composição, conforme observado no momento da última coleta de matéria seca.

O sorgo apresentou o menor IQR e a menor taxa de decomposição para o período avaliado, devido a sua elevada composição de colmo, em relação a folha, no momento da última coleta de matéria seca. A duração da palha sobre o solo por mais tempo contribui para reduzir a evaporação e a amplitude térmica, ambas favoráveis para a atividade biológica.

Dado que o IQR proposto por Tian et al. (1995), é interdependente da determinação do teor de lignina e C/N, o qual não variou significativamente entre os resíduos neste estudo, pode significar duas possibilidades: (i) não quantificação de polifenóis prejudicou o resultado e (ii) o referido índice não é suficiente para avaliar a qualidade dos resíduos vegetais. Portanto, deve existir outros parâmetros que possam ser determinantes sobre a taxa de decomposição, como mencionado anteriormente o fracionamento do resíduo.

As PC podem ser utilizadas de acordo com outros objetivos além da liberação de nutrientes. É importante salientar que uma PC pode ser utilizada para outros fins, como por exemplo a diminuição da população de nematoides ou outras pragas e doenças e produção de biomassa para cobertura do solo. Contudo, para que as PC exerçam seu objetivo no sistema de produção, é preciso que ela produza biomassa suficiente.

Em estudo recente, Cassol et al. (2023) apresentaram um índice de qualidade do resíduo (RBQI) baseado no índice de massa seca remanescente (RDMI) na superfície do solo e no índice de liberação de N (IRN) após manejo químico e até 105 dias após a semeadura do milho, para indicar o sistema de cobertura vegetal com melhores características para ser inserido no sistema de produção.

Independente da espécie de planta de cobertura cultivada, observou-se uma menor temperatura e maior umidade do solo em relação à área que esteve sob pousio. Esses resultados evidenciam a importância do resíduo vegetal produzido pelas plantas de cobertura da segunda safra, a exemplo do que fora observado por Torres et al. (2006). O aumento no teor de umidade do solo sob palhada em comparação ao pousio é devido a barreira e o efeito de sombreamento proporcionado pelas plantas, protegendo o solo da evaporação da água. Alguns trabalhos anteriores, já demonstram o efeito da cobertura do solo com palha para a diminuição da evaporação da água do solo, enquanto a planta cultivada sobre o resíduo da PC não reduza a

incidência de radiação do Sol sobre o solo (Ma et al, 2024; Li et al, 2018; Li et al, 2013).

A semelhança dos parâmetros fitotécnicos e da produtividade da soja sugerem que o efeito dos resíduos das plantas de cobertura depende de mais tempo de avaliação e, em particular, deve ocorrer em ano que haja veranico.

Por fim, a respeito da fertilidade do solo após o cultivo das plantas de cobertura, o aumento nos teores de fósforo (P), especificamente no sistema de sucessão com *Ruziziensis*, é constantemente afirmado pela literatura. Por exemplo, Merlin et al. (2014), estudaram as frações de P no solo após o cultivo da *U. ruziziensis*, e verificaram um aumento significativo do P disponível (resina), P orgânico lábil, P orgânico moderadamente lábil, P associado a substâncias húmicas e fúlvicas, quando houve uma aplicação de 35 kg ha⁻¹ uma fonte de P (superfosfato triplo ou fosfato natural Arad), em presença da *ruziziensis*. O resultado obtido neste estudo, que demonstra o aumento do teor de P resina no solo após a colheita da soja, sugere que o incremento de P lábil e moderadamente lábil, proveniente da *ruziziensis*, pode ter se tornado disponível durante o cultivo da soja.

6. CONCLUSÕES

A quantidade de biomassa produzida pelas gramíneas *Urochloa ruziziensis* e *Sorghum* spp. cv. Podium foram maiores, uma vez que o metabolismo continuou ativo pela baixa temperatura basal. A *Crotalaria ochroleuca* foi a planta de cobertura com menor biomassa produzida, por ser planta C3 menos eficiente que C4 no uso da água, ainda mais prejudicado pela baixa precipitação da segunda safra.

Índice de Qualidade do Resíduo, desconsiderando o teor de polifenóis e/ou fracionamento do resíduo vegetal, pode ter sido comprometido em relação ao fim que fora desenvolvido, ou ainda que haja necessidade ajuste para tal fim. Por fim, mais do que um índice o que importa é o diagnóstico para a escolha da planta de cobertura, visto que a PC pode exercer funções diferentes no sistema de produção. Na presente pesquisa, as gramíneas tiveram maiores influências na temperatura e umidade na camada superficial do solo, mesmo com IQR semelhante.

A quantidade e a qualidade do resíduo das PC, apesar da influência na umidade, temperatura e fertilidade (aumentou o teor de P do solo após cultivo da soja proporcionado pela *ruziziensis*) não refletiram na produtividade da soja. Na condição da presente pesquisa, o sorgo e a forrageira *ruziziensis* são opções de para o SPD, com vista à produção de resíduo sobre o solo.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, as plantas de cobertura (PC) apresentaram relações C/N semelhantes, apesar da expectativa de que as oleaginosas tivessem uma relação C/N inferior às gramíneas. A quantidade maior de folhas nas gramíneas, devido à sua fase juvenil, provavelmente influenciou para que suas relações C/N fossem menores do que o esperado, em torno de 30. No último período de avaliação para a *Crotalaria ochroleuca*, que havia ultrapassado a maturidade fisiológica e possuía poucas folhas na planta, a relação C/N foi afetada. É importante observar que as relações C/N de hastes e colmos das plantas são geralmente maiores do que as das folhas. Por exemplo, enquanto as folhas tendem a ter uma relação C/N entre 15 e 30, os colmos geralmente apresentam uma relação C/N entre 40 e 80, como é o caso da crotalária. Esses fatores podem ter influenciado as relações C/N das PC, destacando a importância do momento adequado para o corte das PC na formação da relação C/N desejada.

Como a *C. ochroleuca*, assim como sorgo, é sensível ao fotoperíodo, ela atingiu sua maturidade fisiológica sem acumular tanta biomassa quanto as outras PC. Com sua menor eficiência energética devido ao metabolismo C3, ela produziu menos biomassa do que o sorgo (metabolismo C4).

A respeito da decomposição de resíduo vegetal, foram encontradas complicações com a metodologia utilizada. Como as *litter bags* utilizadas eram pequenas, os materiais precisaram ser fracionados. O fracionamento dos materiais e a composição de folhas diminuíram a acurácia dos resultados, principalmente na ruziziensis, em que foi notado que pedaços de folhas caíram das *litter bags*, por isso o resultado ficou comprometido.

Contudo, a expectativa era de que a *C. ochroleuca* apresentasse uma taxa de decomposição distinta das outras plantas de cobertura (PC). No entanto, alguns fatores mitigaram esse efeito esperado. Quando a *Crotalária ochroleuca* foi cortada, bem como o sorgo, encontrava-se completamente lignificada, com vagens secas e a maioria das folhas havia caído. Por outro lado, as braquiárias e o panicum estavam em um estágio juvenil, caracterizado pela ausência de um colmo significativo em sua composição. A juvenilidade ou o período de corte das plantas de cobertura, objetivando cobertura do solo, deve ser um fator importante a ser considerado em novas pesquisas.

Neste estudo, as plantas de cobertura não diferiram entre si para relação C/N e IQR, o que esperava apresentar taxas semelhantes da degradação. No entanto, isso não aconteceu, uma vez que o sorgo destoou das demais. O que leva a crer que outra variável precisa ser considerada, não identificada em nossa pesquisa. Pode-se hipotetizar que o conteúdo de fenóis totais seja importante, ou que a razão colmo/folha da planta impacte na decomposição. No caso do Sorgo, em comparação com a Ruziziensis, que apresenta uma proporção maior de colmo/folha na composição, pode reduzir a área de contato da palha com o solo e, assim, diminuir a taxa de degradação.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, W. S. et al. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 51, n. 9, p. 1110-1119, 2016.
- ALVARES, C. A. et al. Köpen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22. n. 6, p. 711-728, 2013.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 241-248, mar. 2002.
- BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análise química e bioquímica de plantas**. Recife: UFRPE, Editora Universitária da UFRPE, p. 261, 2011.
- BOCOCK, K.L., GILBERT, O.J.W. The disappearance of leaf litter under different woodland conditions. **Plant Soil** 9, p. 179–185, 1957.
- CARVALHO, I.Q. et al. Espécies de cobertura de inverno e nitrogênio na cultura do milho em sistema plantio direto. **Scientia Agraria** v.8, p. 179-184, 2007.
- CASSOL, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; AMADORI, C.; HASKEL, M.K.; FREITAS, L.A. de; TOMAZONI, A.R. Residual biomass quality index: a tool for conservation agriculture. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 47, p. 1-18, mar. 2023.
- CHAGAS, E.; ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G.; GUERRA, J. G. M. Decomposição e liberação de nitrogênio, fósforo e potássio de resíduos da cultura do feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vol. 31, no. 4, p. 723–729, 2007.
- CORNWELL WK, CORNELISSEN JHC, AMATANGELO K, DORREPAAL E, EVINER VT, GODOY O, HOBBI SE, HOORENS B, KUOKAWA H, PÉREZ-HARGUINDEGUY N, QUESTED HM, SANTIAGO LS, WARDLE D, WRIGHT IJ, AERTS R, ALLISON SD, VAN BODEGOM P, BROVKIN V, CHATAIN A, CALLAGHAN TV, DÍAZ S, GARNIER E, GURVICH D, KAZAKOU E, KLEIN JA, READ J, REICH PB, SOUDZILOVSKAIA NA, VAIERETTI MV, WESTOBY M. Plant species traits are the predominant control on litter decomposition rates within biomes worldwide. **Ecol Lett**. 2008;11:1065-71. doi:10.1111/j.1461-0248.2008.01219.x

- CRUZ, J. C. **Effect of crop rotation and tillage systems on some properties, root distribution and crop production.** Indiana. 220p. Tese de Doutorado. Purdue University, 1982.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3^a. ed.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo /** Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997.
- FAGERIA, N.K. et al. Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. **Communications in Soil Science and Plant Analysis.** v. 36, p. 2733-2757, 2005.
- Fao statistical yearbook 2013 world food and agriculture. **Food and Agriculture Organization of the United Nations,** Rome p. 307, 2013.
- FERNANDES, D. M. **Manejos de Brachiaria ruziziensis e Avena sativa em sistema de integração lavoura pecuária na cultura da soja em sucessão.** 2015. 66 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2015.
- FERREIRA, E.P. DE B., STONE, L.F., PARTELLI, F.L., DIDONET, A.D. Produtividade do feijoeiro comum influenciada por plantas de cobertura e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental,** v. 15(7), p. 695–701, 2011.
- FIALHO, L. L.; SILVA, W. T. L.; MILORI, D. M. B. P.; SIMÕES, M. L.; MARTIN-NETO, L. Characterization of organic matter from composting of different residues by physicochemical and spectroscopic methods. **Bioresource Technology,** v.101, p.1927-1934, 2010.
- FILHO, A.C., FOLLMANN, D.N., BEM, C.M., PEZZINI, R.V., SCHABARUM, D.E., SILVEIRA, D.L., ULIANA, D.B., & CHAVES, G.G. Épocas de semeadura e temperatura base em crotalária juncea. **Revista Agrarian.** V.9, n.34, p.312-318, Dourados, 2016.
- FLORES, R.A.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; COLLIER, L.S.; ZANETTI, J.B.; PRADO, R.M.; Nitrogênio e idade de corte na qualidade da biomassa de capim-elefante para fins agroenergéticos cultivado em Latossolo. Semina: **Ciências Agrárias,** v. 34, p. 127-136, 2013.

- FOLONI, J. S. S., CATUCHI, T. A., de MORAES BARBOSA, A., CALONEGO, J. C., & TIRITAN, C. S. Acúmulo de nutrientes e relação C/N em diferentes estádios fenológicos do milho submetido à adubação nitrogenada. **Revista Agro@mbiente on-line**. v. 10(1), p. 1-9, 2016.
- FORTE, C. T.; GALON, L.; BEUTLER, A. N.; PERIN, G. F.; PAULETTI, E. S. S.; BASSO, F. J. M.; HOLZ, C. M.; SANTIN, C. O. Coberturas vegetais do solo e manejo de cultivo e suas contribuições para as culturas agrícolas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 1-10, 2018. DOI: 10.5039/agraria.v13i1a5504. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v13i1a5504>. Acesso em: 24 maio. 2024.
- GIACOMINI SJ, AITA C, HUBNER AP, LUNKES A, GUIDINI E, AMARAL E. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesq Agropec Bras**. 2003; 38: 1097-104. doi:10.1590/S0100-204X2003000900011
- LAMEGO, F.P.; KASPARY, T.E.; RUCHEL, Q.; et al. Manejo de *Coryza bonariensis* resistente ao glyphosate: coberturas de inverno e herbicidas em pré-semeadura da soja. **Planta Daninha**, v.31, n.2, p.433-442, 2013.
- LEMON, E. R. The potencialities for decreasing soil moisture evaporation loss. Proceedings. **Soil Science Society of América, Madison**, v. 20, p. 120-125. 1956.
- LI, S., LI, Y., LIN, H., FENG, H., DYCK, M. Effects of different mulching technologies on evapotranspiration and summer maize growth. **Agricultural Water Management**, v. 201, p 309-318, 2018.
- LI, S.X., WANG, Z.H., LI, S.Q., GAO, Y.J., TIAN, X.H. Effect of plastic sheet mulch, wheat straw mulch, and maize growth on water loss by evaporation in dryland areas of China. **Agricultural Water Management**, v. 116, p. 39-49, 2013.
- MA, J., CHANG, L., LI, Y., LAN, X., JI, W., ZHANG, J., HAN, F., CHENG, H., CHAI, Y., CHAI, S. Straw strip mulch improves soil moisture similar to plastic film mulch but with a higher net income. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 362, 2024.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, **Potafos**, p. 319, 1997.

- MERLIN A, HE, Z.L., ROSOLEM, C.A. Congo grass grown in rotation with soybean affects phosphorus bound to soil carbon. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 38, p 888-895, 2014.
- MICHELON, C.J., JUNGES, E., CASALI, C.A., PELLEGRINI, J.B.R., ROSA NETO, L., OLIVEIRA, Z.B.D., OLIVEIRA, M.B.D. Atributos do solo e produtividade do milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de inverno. **Revista de Ciências Agroveterinárias** v. 18, p. 230–239, 2019.
- MOTTER, P.; ALMEIDA, H.G. Contexto histórico do surgimento do plantio direto no Brasil. In: MOTTER, P.; ALMEIDA, H.G. de (Coord.). **Plantio direto: a tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira**. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, v.1, p.10-14, 2015.
- Moreno, L. S. B. **Produção de forragem de capins do gênero Panicum e modelagem de respostas produtivas e morfofisiológicas em função de variáveis climáticas**. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004. doi:10.11606/D.11.2004.tde-13122004-103013. Recuperado em 2024-05-24, de www.teses.usp.br
- NETO, B. P. da C. Photosynthetic efficiency in species with C3 and C4 metabolisms. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, 10(01), 2023.
- OLIVEIRA, F. F de; GUERRA, J.G. M; ALMEIDA, D. L, de; RIBEIRO, R. de Ld; A ESPINDOLA, J. A.; RICCI, M. dos Sf; CEDDIA, M. B. Avaliação de coberturas mortas em cultura de alface sob manejo orgânico. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 2, p. 216-220, jun. 2008.
- OLIVEIRA, M.A. de. **Características morfofisiológicas e valor nutritivo de gramíneas forrageiras do gênero Cynodon sob diferentes condições de irrigação, fotoperíodo, adubação nitrogenada e idades de rebrota**. 2002. 142 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.2002.
- OLIVEIRA, M. S. DE, DIAS, D. S., REIS, A. F. D. B., CRUZ, S. C. S., FAVARIN, J.L. Vertical stratification of K uptake for soybean-based crop rotation. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v 117, p. 185–197, 2020.

- Organização das Nações Unidas, ONU. **População mundial chegará a 9,9 bilhões em 2054**, 2024. Recuperado de <https://news.un.org/pt/story/2024/04/1830966>. Acessado em 5 de junho de 2024.
- Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, p. 212, 2017.
- QUEIROZ, L.R.; GALVÃO, J.C.C.; CRUZ, J.C.; et al. Supressão de plantas daninhas e produção de milho-verde orgânico em sistema de plantio direto. **Planta Daninha**, v.28, n.2, p.263-270. 2010.
- R CORE TEAM. R Development Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**, 2021.
- RIGON, J.P.G.; FRANZLUEBBERS, A.J.; CALONEGO, J.C. Soil aggregation and potential carbon and nitrogen mineralization with cover crops under tropical no-till. **Journal Of Soil And Water Conservation**, v. 75, n. 5, p. 601-609, 2020.
- ROBERTSON, J. B.; VAN SOEST, P. J. The detergent system of analysis and its application to humans foods. In: JAMES, H.P.T.; THEANDER, O. (Eds.). **The analysis of dietary fiber in food**. New York: Marcel Dekker, p. 123-158, 1981.
- RODRIGUES, M., RABÊLO, F. H. S., CASTRO, H. A. DE, ROBOREDO, D., CARVALHO, M. A. C. DE, & ROQUE, C. G. Cultivo mínimo é o sistema recomendado para introdução da *Brachiaria brizantha* em Latossolo na Amazônia. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 61, 2018.
- SAVIOLI, N. M. de F.; FUKUSHIMA, R. S.; LIMA, C. G. de; GOMIDE, C. A. Rendimento e comportamento espectrofotométrico da lignina extraída de preparações de parede celular, fibra em detergente neutro ou fibra em detergente ácido. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 4, p. 988-996, ago. 2000.
- SILVA, M. A. V., ANDRADE, V. M. S. de, COSTA, J. M. N. da, FERREIRA, W. P. M., BEZERRA, A. R. G., MOSCONS, E. S. CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 5. **Influência da soma térmica no crescimento e desenvolvimento do milho BR 106 cultivado sob plantio direto**. Piracicaba: ESALQ, 2011.
- SOUZA, Z.M. de; PRADO, R. de M.; PAIXÃO, A.C.S.; CESARIN, L.G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.271-278, 2005.

- TAGLIAVINI M, TONON G, SCANDELLARI F, QUIÑONES A, PALMIERI S, MENARBIN G, GIOACCHINI P, MASIA A. Nutrient recycling during the decomposition of apple leaves (*Malus domestica*) and mowed grasses in an orchard. **Agric Ecosyst Environ.** 2007; 118: 191-200. doi:10.1016/j.agee.2006.05.018
- TALUKDER, P, SINHA, B., BISWAS, S, Ghosh, A., BANERJEE, A., PAUL, S. A study on the prospect of converting C3 plants into C4 plants. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 58, 2024.
- TEIXEIRA MB, LOSS A, PEREIRA MG, PIMENTEL C. Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo. **Idesia.** 2012; 30: 55-64. doi:10.4067/S0718-34292012000100007
- THEODORO, G. F.; GOLIN, H. O.; SILVA, M. S.; REZENDE, R. P.; ABREU, V. L. S. Influência de sistemas de preparo na manutenção da palhada e resistência do solo à penetração. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 5, n. 2, p.25-30, 2018.
- THOMAS, R.J. & ASAKAWA, N.M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biol. Biochem.**, v. 23, p. 1351-1361, 1993.
- TIAN, G., BRUSSAARD, B.T. KANG. An index for assessing the quality of plant residues and evaluating their effects on soil and crop in the (sub-) humid tropics. **Applied Soil Ecology**, v.2, p. 25-32, 1995.
- TIAN, G., KANG, B.T. & BRUSSAARD, L. Mulching effect of plant residues with chemically contrasting compositions on maize growth and nutrients accumulation. **Plant Soil**, v. 153, p. 179–187, 1993.
- TRINSOUTROT I, RECOUS S, BENTZ B, LINÈRES M, CHÈNEBY D, NICOLARDOT B. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. **Soil Sci Soc Am J.** 2000;64:918-26. doi:10.2136/sssaj2000.643918x
- TORRES, J. L. R., FABIAN, A. J., PEREIRA, M. G., & ANDRIOLI, I. Plants covering influence in soil temperature and humidity in corn-soybean cultures area, in no tillage system. 2006. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World Population Prospects 2019**, custom data acquired via website, 2019.
- WANG, E., ENGEL, T. Simulation of phenological development of wheat crops. **Agricultural Systems**, v.58, p.1-24, 1998.

WIEGERT, R. G.; EVANS, F. C. Primary production and the disappearance of dead vegetation on an old field in Southeastern Michigan. **Ecology**, v. 45, p. 49–63, 1964.