

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
REGIONAL JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**ACÚMULO DE MASSA SECA, NUTRIENTES E
DECOMPOSIÇÃO DE PLANTAS DE COBERTURA
CULTIVADAS ISOLADAS E CONSORCIADAS,
ANTECESSORAS À CULTURA DA SOJA**

Izamara Fonseca Tempesta

Engenheira Agrônoma

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL

Agosto de 2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

☒ Dissertação ☐ Tese

2. Nome completo do autor: IZAMARA FONSECA TEMPESTA

3. Título do trabalho: ACÚMULO DE MASSA SECA, NUTRIENTES E DECOMPOSIÇÃO DE PLANTAS DE COBERTURA CULTIVADAS ISOLADAS E CONSORCIADAS, ANTECESSORAS À CULTURA DA SOJA

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Simério Carlos Silva Cruz, Professor do Magistério Superior**, em 24/08/2020, às 21:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por **IZAMARA FONSECA TEMPESTA, Discente**, em 25/08/2020, às 07:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539](#),



[de 8 de outubro de 2015.](#)



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1503953** e o código CRC **F44CA8C6**.

Referência: Processo nº 23070.028864/2020-10

SEI nº 1503953

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
REGIONAL JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**ACÚMULO DE MASSA SECA, NUTRIENTES E
DECOMPOSIÇÃO DE PLANTAS DE COBERTURA
CULTIVADAS ISOLADAS E CONSORCIADAS,
ANTECESSORAS À CULTURA DA SOJA**

Izamara Fonseca Tempesta

Orientador: Prof. Dr. Simério Carlos Silva Cruz

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal)

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL

Agosto de 2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Fonseca Tempesta, Izamara
ACÚMULO DE MASSA SECA, NUTRIENTES E DECOMPOSIÇÃO
DE PLANTAS DE COBERTURA CULTIVADAS ISOLADAS E
CONSORCIADAS, ANTECESSORAS À CULTURA DA SOJA
[manuscrito] / Izamara Fonseca Tempesta. - 2020.
LXXXI, 81 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Simério Carlos Silva Cruz.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Unidade
Acadêmica Especial de Ciências Agrárias, Jataí, Programa de Pós
Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, Jataí, 2020.
Bibliografia.
Inclui fotografias, gráfico, tabelas.

1. Ciclagem de nutrientes. 2. Decomposição de palhada. 3.
Fertilidade de solo. 4. Glycine max (L.) Merrill. 5. Rotação de culturas.. I.
Carlos Silva Cruz, Simério , orient. II. Título.

CDU 631/635



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº **017/2020-PPGA** da sessão de Defesa de Dissertação de **IZAMARA FONSECA TEMPESTA**, que confere o título de Mestra em **AGRONOMIA** do Programa de Pós-graduação em **Agronomia**, na área de concentração em **Produção Vegetal**.

Ao vigésimo sétimo dia do mês de julho do ano de dois mil e vinte, a partir das 08:00 horas, realizou-se através de videoconferência, a Defesa de Dissertação intitulada **“COMPORTAMENTO DA BIOMASSA DE PLANTAS DE COBERTURA CULTIVADAS ISOLADAS E CONSORCIADAS, ANTECESSORAS À CULTURA DA SOJA”**. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor Simério Carlos Silva Cruz (UACIAGRA/UFJ), com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor Francisco Rafael da Silva Pereira (Instituto Federal de Alagoas) - membro titular externo e Professor Doutor Cláudio Hideo Martins da Costa (UACIAGRA/UFJ), membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca **fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho **conforme explicitado abaixo**. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata **aprovida** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor Simério Carlos Silva Cruz, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, ao vigésimo sétimo dia do mês de julho do ano de dois mil e vinte.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

ACÚMULO DE MASSA SECA, NUTRIENTES E DECOMPOSIÇÃO DE PLANTAS DE COBERTURA CULTIVADAS ISOLADAS E CONSORCIADAS, ANTECESSORAS À CULTURA DA SOJA



Documento assinado eletronicamente por **Simério Carlos Silva Cruz, Professor do Magistério Superior**, em 27/07/2020, às 12:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Claudio Hideo Martins Da Costa, Professor do Magistério Superior**, em 27/07/2020, às 12:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Francisco Rafael da Silva Pereira, Usuário Externo**, em 27/07/2020, às 12:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1433418** e o código CRC **001B2B64**.

Referência: Processo nº 23070.028864/2020-10

SEI nº 1433418

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

Izamara Fonseca Tempesta – nascida em 10 de dezembro de 1996 em Jussara – GO, formou-se Bacharel em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário do Araguaia em março de 2018. Iniciou o curso de Pós-graduação *stricto sensu* em nível de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, linha de pesquisa em Fertilidade do solo e Nutrição Mineral de Plantas, na Universidade Federal de Goiás – Regional Jataí, em agosto de 2018.

“Mergulha a mente, quanto possível, no estudo.
O estudo liberta a ignorância e favorece a criatura com o discernimento.
O estudo e o trabalho são as asas que facilitam a evolução do ser.
O conhecimento é mensagem de vida”.

Joanna de Ângelis.

À Deus, ao Mestre Jesus, aos meus pais João Silvo Tempesta e Elaine Cândida da Fonseca Tempesta pelo apoio e motivação.

Ofereço e dedico

Agradecimentos

Primeiramente, à Deus por ter me concedido a oportunidade do conhecimento através do estudo.

Ao Mestre Jesus por me guiar e enviar anjos de luz que são minha força e sustento.

Aos meus pais, Elaine e Silvío, pelo apoio, motivação, compreensão e carinho.

Aos demais familiares, avós, tios e tias, primos e primas, pela força emocional e afetiva.

Ao professor Simério, por aceitar ser meu orientador, pela ideia inicial do trabalho, pelo esforço, dedicação, comprometimento em se manter sempre presente e disposto a auxiliar.

Aos demais professores, pelo empenho em transmitirem seu conhecimento, Cláudio, Cecília, Darly, Diego, Edésio, Givanildo, Hildeu, Neuda e Paulino.

Aos profissionais da fazenda escola e do núcleo de práticas agronômicas que nunca mediram tempo e esforço e, foram indispensáveis para a realização deste trabalho.

Às minhas amigas que me acompanham desde à infância ou faculdade, por toda forma de ajuda, carinho e palavras de amor, Ana Flávia, Andressa, Carol, Glabrielli, Karina, Larissa, Lorena, Maraiza, Nara Rúbia e Natasha. Aos meus amigos, pelo apoio moral, pelos conselhos e por estarem sempre presentes, Ciro, Diego, Hiltonis, Lucas, Leandro, Max, Micael e Pedro Henrique.

Aos alunos do grupo de pesquisa em fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas, por toda ajuda, Alex, Carlos, Flávia, Juliano, Júlio César, Matheus, Magno, Taynara, Thiago Pinheiro, Thiago Lopes.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| RESUMO | 8 |
| SUMMARY | 9 |
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 12 |
| 2.1. Sistemas de cultivo | 12 |
| 2.2. Plantas de cobertura de solo | 14 |
| 2.2.1. Crotalária (<i>Crotalaria ochroleuca</i>) | 15 |
| 2.2.2. Nabo forrageiro (<i>Raphanus sativus</i> L.) | 16 |
| 2.2.3. Braquiária (<i>Urochloa ruziziensis</i>) | 17 |
| 2.3. Cultivo consorciado de plantas de cobertura | 18 |
| 2.4. Dinâmica de decomposição e de liberação nutricional | 20 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 23 |
| 3.1. Caracterização da área experimental | 23 |
| 3.2. Arranjo experimental e tratamentos | 25 |
| 3.3. Cultivo das espécies que caracterizam os tratamentos | 28 |
| 3.4. Análises na palhada | 30 |
| 3.4.1. Massa seca remanescente | 30 |
| 3.4.2. Macronutrientes remanescentes | 31 |
| 3.4.3. Tempo de meia vida | 32 |
| 3.5. Análises no solo | 32 |
| 3.6. Cultivo da soja | 32 |
| 3.7. Análises na soja | 34 |
| 3.7.1. Componentes fisiológicos | 34 |
| 3.7.2. Componentes morfológicos | 35 |
| 3.7.3. Componentes produtivos | 35 |
| 3.7.4. Produtividade de grãos | 35 |
| 3.8. Análises estatísticas | 36 |
| 3.8.1. Palhada | 36 |
| 3.8.2. Solo | 37 |
| 3.8.3. Soja | 37 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 38 |

| | |
|--|----|
| 4.1. Análises na palhada | 38 |
| 4.1.1. Produção de biomassa e acúmulo de macronutrientes | 38 |
| 4.1.2. Dinâmica de decomposição da biomassa | 43 |
| 4.1.3. Dinâmica de liberação dos macronutrientes | 49 |
| 4.2. Análises no solo | 54 |
| 4.3. Análises na soja | 57 |
| 5. CONCLUSÕES | 63 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 64 |
| 7. REFERÊNCIAS | 65 |

RESUMO

ACÚMULO DE MASSA SECA, NUTRIENTES E DECOMPOSIÇÃO DE PLANTAS DE COBERTURA CULTIVADAS ISOLADAS E CONSORCIADAS, ANTECESSORAS À CULTURA DA SOJA

A rotação de culturas com plantas de cobertura promove a diversificação de espécies, a manutenção da cobertura vegetal do solo e a ciclagem de nutrientes, podendo afetar a fertilidade do solo e o desempenho agrônomo da cultura em sucessão. O acúmulo de biomassa, de nutrientes e suas taxas de decomposição dependem de fatores intrínsecos à espécie, manejo, clima e região, com isso, é necessário o estudo a nível local das espécies cultivadas isoladas e consorciadas a fim de determinar o manejo adequado para cada sistema produtivo. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar a produção de biomassa, o acúmulo de macronutrientes, a decomposição da palhada e os nutrientes remanescentes em plantas de cobertura cultivadas isoladas ou consorciadas em diferentes proporções de semeadura, bem como os atributos químicos do solo e o desempenho agrônomo da cultura da soja em sucessão. O trabalho foi conduzido no município de Jataí-GO, em delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições e com dez tratamentos, sendo eles, T1: Pousio; T2: *Crotalaria ochroleuca*; T3: *Raphanus sativus* L.; T4: *Urochloa ruziziensis* (UR); T5: *C. ochroleuca* + *R. sativus* (CN); T6: UR com o dobro de sementes; T7: 25% de sementes de UR + 75% de sementes de CN; T8: 50% de sementes de UR + 50% de sementes de CN; T9: 75% de sementes de UR + 25% de sementes de CN; T10: *Zea mays*. O manejo das plantas de cobertura (T1 ao T9) foi realizado com roçadora tratorizada aos 83 dias após a semeadura e avaliou-se a produção de biomassa seca e o acúmulo de macronutrientes. Após o manejo de corte do T1 ao T9 foram avaliadas a produção de biomassa seca e o acúmulo de macronutrientes. Amostras proporcionais da biomassa foram acondicionadas em bolsas de decomposição, que foram dispostas sobre o solo, sendo coletadas a cada 30 dias para avaliar a dinâmica de decomposição da palhada e de liberação dos macronutrientes até 90 dias, bem como o tempo de meia vida ($T_{1/2}$). No solo foram analisados os atributos químicos. Na soja foram avaliados os componentes fisiológicos, morfológicos, produtivos e produtividade de grãos. Os dados foram submetidos à análise de variância e quando constatadas diferenças, procedeu-se com o método de Scott-Knott, ambos a 5% de probabilidade de erro. Utilizou-se o modelo de regressão exponencial para ajustar a dinâmica de decomposição, de liberação dos nutrientes e o $T_{1/2}$. Apesar de não ocorrer diferenças entre os tratamentos, a produção de biomassa é considerada ideal para a boa manutenção da cobertura vegetal. O T2 apresenta maior acúmulo de N e K, o T3 de N, P e K e o consórcio entre ambos, T5, de N, P, K, Ca, Mg e S. O T7 acumula altos teores de N, P, K, Mg e S, atua de forma rápida em ciclagem de nutrientes, possui boa persistência da palhada, além de aumentar a diversidade de espécies no sistema. O T4 e o T6 apresentam os menores índices de vegetação por diferença normalizada no estágio R1 da soja, entretanto, os demais componentes não são influenciados pelo cultivo das plantas de cobertura.

Palavras-chave: Ciclagem de nutrientes, decomposição de palhada, fertilidade de solo, *Glycine max* (L.) Merrill, rotação de culturas.

SUMMARY

ACCUMULATION OF DRY BIOMASS, NUTRIENTS AND DECOMPOSITION OF ISOLATED AND CONSORTIATED CULTIVATED COVER PLANTS, BEFORE THE SOYBEAN CULTURE

Crop rotation with cover crops provides more sustainable agriculture due to the diversification of species in the system, maintenance of soil cover and nutrient cycling, which may affect the soil chemical attributes, as well as the agronomic performance of the subsequent crop. The production of biomass, the nutrients accumulation, the decomposition rate and release of nutrients depend on the intrinsic factors of the species, management, climate and region; therefore, it is necessary to study at a local level the isolated and intercropped cultivated species in order to determine the appropriate management for each productive system. Therefore, the objective of the work was to evaluate the production of biomass, the accumulation of macronutrients, the decomposition of the straw and the remaining nutrients in cover crops grown isolated or intercropped in different sowing proportions, as well as the chemical attributes of the soil and the agronomic performance of soybean crops in succession. The work was carried out in a clayey dystrophic Red Latosol, at the Federal University of Goiás, Regional Jataí. The experimental design used was randomized blocks, with four repetitions and with ten treatments: T1 - Fallow; T2 - *Crotalaria ochroleuca*; T3 - *Raphanus sativus*; T4 - *Urochloa ruziziensis*; T5: *C. ochroleuca* + *R. sativus* (CN); T6 - UR (double seeds); T7 - 25% of UR seeds + 75% of CN seeds; T8 - 50% of UR seeds + 50% of CN seeds; T9 - 75% of UR seeds + 25% of CN seeds; T10 - corn. After management the cut from T1 to T9, the production of dry biomass and the accumulation of macronutrients were evaluated. Samples supplied by biomass were stored in decomposition bags, which were discarded on the ground, being collected every 30 days to evaluate the recovery of the decomposition of the pallet and release macronutrients up to 90 days, as well as the half-life ($T_{1/2}$). The soil was analyzed for chemical attributes. In soybean, the physiological, morphological, productive and studied grain components were applied. The data were submitted to analysis of variance and the Scott-Knott method, both with a 5% probability of error. Use the exponential regression model to adjust the decomposition capacity, nutrient release and $T_{1/2}$. Although there are no differences between treatments, biomass production is considered ideal for the good maintenance of vegetation cover. T2 presents a greater accumulation of N and K, T3 of N, P and K and the consortium between them, T5, of N, P, K, Ca, Mg and S. T7 accumulates high levels of N, P, K, Mg and S, acts quickly in nutrient cycling, has good straw persistence, in addition to increasing the diversity of species in the system. T4 and T6 have the lowest vegetation rates due to normalized difference in the soybean R1 stage, however, the other components are not influenced by the cultivation of cover crops.

Keywords: Crop rotation, *Glycine max* (L.) Merrill, nutrient cycling, soil fertility, straw decomposition.

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a principal cultura comercial no Brasil, sendo cultivada primavera/verão (safra). Segundo estimativas da Conab (2020), a produção brasileira de soja na safra 2019/20 foi de 120,9 milhões de toneladas, representando um aumento de 5,1% em relação à safra 2018/19, com acréscimo em 3% da área plantada.

Em algumas regiões no Brasil, principalmente no Cerrado de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e parte de Goiás, o sistema de produção de soja que predomina é a sucessão simples de culturas, sendo realizada uma safra de verão da cultura e uma segunda safra de milho, algodão, sorgo ou milheto (FERREIRA et al., 2016).

Em decorrência da alta precipitação pluviométrica no Cerrado no verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e a ocorrência de um forte déficit hídrico no inverno (junho, julho e agosto), apenas o sistema de sucessão não é suficiente para promover a contínua cobertura de solo com relação à quantidade e qualidade de palhada, tornando-se necessário a ampliação do número de espécies a cada ano agrícola e para isso utiliza-se as plantas de cobertura (DENARDIN et al., 2012)

Plantas de cobertura, também denominadas como plantas condicionadoras de solo e algumas classificadas como adubos verdes, podem ser cultivadas de forma isolada ou consorciadas e são utilizadas principalmente visando a manutenção da cobertura do solo, a descompactação e a ciclagem de nutrientes. Após o seu manejo de corte ou de dessecação são adicionados os resíduos vegetais ao solo, formando a palhada (WUTKE et al., 2014).

A palhada evita oscilações bruscas na temperatura do solo, mantém sua umidade, protege contra intempéries climáticas, processos erosivos (FREITAS et al., 2012), plantas espontâneas (BORGES et al., 2014) e fitopatógenos (COSTA et al., 2012). Atua na estruturação do solo, na descompactação (VALICHESKI et al., 2012), incrementa a fertilidade, aumenta o teor de matéria orgânica do solo e reduz perdas de nutrientes por lixiviação (PACHECO et al., 2011a; PACHECO et al., 2011b).

A rotação de culturas com plantas de cobertura beneficia a cultura em sucessão, garante a utilização mais sustentável em solos agricultáveis, a conservação dos recursos naturais e aumenta a diversidade de espécies no sistema (SPERA et al., 2006). Essa prática pode afetar o desempenho agrônômico da soja em sucessão, principalmente em safras que passam por déficit hídrico (DEBIASI et al., 2013).

O consórcio de plantas de cobertura consiste no cultivo concomitante de duas ou mais espécies. Essa prática pode aumentar a produção de biomassa e o acúmulo nutricional, além de reduzir a velocidade de decomposição e de liberação dos elementos por possuir relação carbono/nitrogênio (C/N) intermediária, beneficiando a cultura em sucessão com a proteção do solo concomitante à liberação dos nutrientes. (VALICHESKI et al., 2012; COSTA et al., 2011; GIACOMINI et al., 2003a, 2003b).

Essas variáveis dependem da proporção de sementes de cada espécie, visto que, gramíneas (Poaceae) possuem maior relação (C/N), portanto maior persistência de palhada. Leguminosas (Fabaceae) fixam biologicamente o nitrogênio atmosférico, adicionando o elemento ao sistema e possuem decomposição mais acentuada, devido a sua baixa relação C/N, bem como as crucíferas (Brassicaceae), que, por sua vez, tem grande atuação em ciclagem de nutrientes (WUTKE et al., 2014).

Após o manejo das plantas de cobertura, o período de permanência dos resíduos culturais e a velocidade de liberação dos elementos dependem da sua taxa de decomposição. Se houver uma decomposição acelerada, reduz a proteção do solo pela palhada e os nutrientes acumulados são rapidamente liberados, significando perdas. É interessante que a decomposição dos resíduos vegetais ocorra concomitante à demanda de nutrientes da cultura em sucessão (AITA et al., 2014).

Conforme Ambrosano et al. (2013), rendimentos de fitomassa e acúmulo de nutrientes, taxas de decomposição da palhada e liberação dos elementos variam com o genótipo, época de semeadura, manejo, contato dos resíduos com o solo, época de cultivo, população de plantas, condições edáficas e climáticas, principalmente temperatura e precipitação pluviométrica.

Diante disso, torna-se necessário o estudo do acúmulo de biomassa, de nutrientes e a decomposição de plantas de cobertura cultivadas isoladas e consorciadas em diferentes proporções de semeadura a nível regional, bem como sua influência no solo e na cultura em sucessão. Com isso, será possível apontar o manejo adequado de acordo com as necessidades de cada sistema produtivo.

Desta forma, objetivou-se com este trabalho avaliar o acúmulo de biomassa e macronutrientes, a decomposição da palhada e de os nutrientes remanescentes de plantas de cobertura cultivadas isoladas e consorciadas em diferentes proporções de semeadura e, seus efeitos sobre os atributos químicos do solo e no desempenho agrônômico da cultura da soja em sucessão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Sistemas de cultivo

O crescimento exponencial da população mundial levanta uma problemática questão frente à produção e distribuição igualitária de alimentos (GAZZONI, 2017). A preocupação em aumentar cada vez mais a produção de alimentos ao longo das décadas, levou a sociedade agrícola a cometer equívocos devido à falta de ciência de diversas práticas, como a monocultura e o revolvimento indiscriminado do solo (SILVA, 2015).

Durante as décadas de 1970 e 1980, a produção de soja no Brasil restringia-se basicamente a sistemas de manejo de solo que foram planejados para regiões de clima temperado. O uso de máquinas para o revolvimento do solo, como grades e arados (sistema de preparo convencional), foi desenvolvido para locais sob geadas, para que ao mobilizar o solo ocorresse o degelo do mesmo para posteriormente realizar o cultivo da safra de verão. Nessas regiões, problemas como redução no teor de matéria orgânica do solo (MOS), perda de água e solo por erosão são ínfimos devido a ocorrência de chuvas menos torrenciais e temperaturas amenas, comparativamente às regiões tropicais e subtropicais, como é o caso do Brasil (DEBIASI et al., 2013).

Quando o sistema de preparo convencional (SPC) é aplicado em regiões tropicais e subtropicais ocasiona uma decomposição mais rápida da cobertura de solo, tornando-o mais propenso a processos erosivos e ocasionando problemas na fertilidade, o que representa um impacto negativo à produção de grãos de soja e ao meio ambiente, principalmente para mananciais superficiais de água (DEBIASI et al., 2013).

A perda em termos de fertilidade de solo manejado com o SPC foi observada por Hernani et al. (1999). Os autores constataram que após sete anos houve expressiva perda de P e K, que seria o equivalente a cerca de 70 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 105 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio, respectivamente, reforçando a importância da rotação de culturas.

Segundo Guareschi e Pereira (2015), a rotação de culturas é um princípio fundamental do sistema de plantio direto (SPD), contudo, no Cerrado vem sendo substituída gradativamente pela sucessão de culturas, principalmente pelo pequeno

número de culturas econômicas a ser utilizado no outono/inverno ou a aspectos de manejo e logística, pois se prefere investir na sucessão soja/milho ou soja/milheto. Essas sucessões podem acabar proporcionando uma cobertura inadequada para manter ou melhorar os atributos químicos ou físicos do solo.

Na região Centro-Oeste do país, que tem grande participação na produção de grãos, há o predomínio desse sistema de cultivo com sequências de apenas uma cultura em um ano agrícola ou a sucessão simples de culturas, como soja/milho, soja/milheto, milho/sorgo, dentre outras, em semeadura direta. Esse cultivo consecutivo de espécies em que a semeadura é realizada sem o revolvimento intenso do solo e com ausência da rotação de culturas têm sido denominados de "Plantio Direto", "Plantio Direto na Palha" ou "Semeadura Direta" (HERNANI & SALTON, 1998).

Quando se fala em SPD, trata-se de um sistema de manejo, não apenas uma técnica com ausência do revolvimento do solo. Este sistema se fundamenta em um conjunto de práticas, dentre elas, a descompactação antes da implantação, após, a movimentação do solo, deve ser unicamente para abrir os sulcos durante a semeadura, a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo deve ser contínua e seguir a rotação de culturas com plantas de cobertura de forma que diversifique o número de espécies utilizadas a cada cultivo (DENARDIN et al., 2012; DOMIT et al., 2014).

Comparando sistemas que recebem as mesmas culturas com diferença apenas no preparo do solo, SPD e SPC, o volume de resíduos vegetais é igual em ambos. Entretanto, no preparo SPC, a incorporação do material orgânico favorece a atividade microbiana devido ao seu maior contato com o solo, consequentemente, aumenta sua decomposição. Já o SPD reduz esse contato, portanto, a decomposição é mais lenta, o que beneficia o acúmulo de carbono orgânico (CRUSCIOL et al., 2016).

Segundo Alfonso Sleutjes, o então presidente da Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação (FEBRAPDP), apesar de comprovadas as vantagens e benefícios incorporados ao processo de produção de alimentos pelo SPD, algumas de suas regras fundamentais vêm sendo ignoradas pelos produtores em todo o país. Dentre estas regras, a principal é a não realização da rotação de culturas, que tem sido justificada pela necessidade de rápido retorno lucrativo, endividamento ou compromissos financeiros, dimensionamento dos equipamentos inadequado à topografia do terreno, falta de conhecimento técnico ou de opção de plantas de

cobertura, sendo que isto trará consequências desastrosas a médio ou a longo prazo (MITTMANN, 2015).

2.2. Plantas de cobertura de solo

As plantas de cobertura, também denominadas de “plantas condicionadoras”, possuem como principal finalidade a cobertura do solo durante o seu ciclo e após receber o manejo de corte ou de dessecação, disponibilizar palhada à camada superficial. Dessa forma, o solo é protegido, principalmente, contra processos erosivos, lixiviação de nutrientes e evaporação de água, além de aumentar o conteúdo de matéria orgânica do solo (WUTKE et al., 2014).

O cultivo das plantas de cobertura pode ser realizado de forma isolada ou consorciada. Quando espécies de alta relação carbono/nitrogênio (C/N) e alto teor de lignina, como espécies do gênero *Urochloa*, são cultivados em consórcio com espécies de baixa relação C/N e baixo teor de lignina, como o nabo forrageiro, a matéria seca apresenta relação C/N e teor de lignina intermediários.

O consórcio pode reduzir a taxa de decomposição da palhada e de liberação dos nutrientes, bem como o tempo de meia vida ($T_{1/2}$) de ambos os fatores. Dessa forma, há uma liberação mais rápida de parte dos nutrientes acumulados, logo após o manejo, e a outra parte será liberada mais lentamente, conforme os resíduos culturais se decompõem. Assim, a cultura em sucessão se beneficia tanto com a proteção do solo quanto com a disponibilidade dos elementos ao longo do seu ciclo (CABRERA et al., 2005).

No entanto, o manejo das diferentes plantas de cobertura e seus consórcios em rotação a culturas comerciais, varia em função das condições edafoclimáticas de cada Região (CALEGARI, 2008). Conforme Carpin et al. (2008), o período de florescimento é o momento correto para o manejo de corte ou de dessecação das plantas de cobertura, em razão do maior acúmulo de fitomassa e nutrientes.

Tem sido observado nas mais diversas regiões do Brasil que plantas de cobertura nem sempre são utilizadas corretamente. Esse fato se deve à falta de dados regionais sobre as melhores formas de rotação e de sementes com qualidade sanitária. Uma análise sempre deve ser feita no local antecedendo a escolha das plantas que irão compor a rotação, levando em consideração o manejo da área,

adubação e calagem, tratos culturais, culturas previamente estabelecidas e seus rendimentos (CALEGARI, 2014).

As culturas utilizadas para a rotação devem ser definidas tendo em vista o bioma, a região, o tipo de solo, o clima, o relevo, a cultura principal e o aporte tecnológico da propriedade. O sucesso depende de um correto planejamento com o ajuste temporal e espacial das atividades. O monitoramento constante é imprescindível, principalmente em casos com solos degradados com baixa produtividade ocasionados pelo uso incorreto de produtos fitossanitários, o revolvimento indiscriminado do solo e a monocultura (CALEGARI, 2014).

Quando bem estabelecida, a rotação com o cultivo de plantas de cobertura aumenta a fitomassa da palhada na superfície do solo e consequentemente, o teor de matéria orgânica. Isso faz com que seja reduzida a incidência de plantas espontâneas, refletindo em economia com os custos de mão de obra, de maquinário agrícola e de produtos fitossanitários. Portanto, além de ser uma prática mais sustentável, também favorece as condições socioeconômicas dos produtores rurais (CALEGARI, 2014).

2.2.1. Crotalária (*Crotalaria ochroleuca*)

Espécies conhecidas como crotalárias (*Crotalaria* spp.) têm sido muito utilizadas por produtores rurais no Cerrado. As principais espécies conhecidas como adubos verdes são: *C. ochroleuca*, *C. juncea*, *C. spectabilis* e a *C. breviflora*. São plantas que apresentam alta tolerância ao estresse hídrico e proporcionam a redução da população e a multiplicação de fitonematóides no solo. Essas espécies possuem alta produção de biomassa e significativa participação em ciclagem de nutrientes, bem como a capacidade de fixação biológica do nitrogênio atmosférico (DEBIASI et al., 2016).

Sua época de cultivo influencia a produção de biomassa, bem como a ciclagem de nutrientes. Em pesquisa desenvolvida com espécies do gênero *Crotalaria* em diferentes estações do ano por César et al. (2011), foi possível observar que o cultivo na primavera-verão da *C. ochroleuca* resultou em massa seca de 11,76 Mg ha⁻¹, já no outono-inverno foi de 3,76 Mg ha⁻¹. Devido ao seu sistema radicular pivotante e profundo, além da fixação biológica do N atmosférico, contribui na ciclagem de nutrientes, principalmente N, P, Ca e Mg (WUTKE et al., 2014).

Conforme observado por Pacheco et al. (2015), a *C. ochroleuca* parece ser uma espécie de crescimento intermediário, mas também de decomposição intermediária quando comparado com a *C. spectabilis* e *C. juncea*. A *C. ochroleuca* possui elevado número de folhas, porém, com tamanhos reduzidos, o que resulta em menor fitomassa seca de folhas, quando comparado à *C. juncea* e a *C. spectabilis*.

Entretanto, a *C. juncea* e a *C. spectabilis* apresentam maior produção de folhas, podendo resultar em maior velocidade de decomposição e liberação de nutrientes ao solo. Já na produção de caule, Pacheco et al. (2015) observaram que a *C. juncea* produziu a maior fitomassa de caule, seguida pela *C. ochroleuca* e *C. spectabilis*, indicando essa a ordem para a decomposição dos resíduos.

De acordo com Cesar (2009), a *C. ochroleuca* atinge 50% da cobertura do solo aos 47 dias após sua semeadura, inferior a *C. juncea* e *C. spectabilis*, com 22 e 42 dias, respectivamente. Um dos aspectos mais importantes relacionados à rápida cobertura do terreno é a habilidade competitiva das leguminosas, adubos verdes, em relação às plantas espontâneas.

2.2.2. Nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.)

O nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) é uma cultura anual, alógama, herbácea, ereta que pertence à Família Brassicaceae (DERPSCH & CALEGARI 1992). Possui sistema radicular pivotante, profundo, atingindo em média 40 cm de profundidade, seu florescimento ocorre entre 65 a 75 dias após a semeadura, atingindo o total florescimento em torno dos 100 dias, com a altura que vai de 1,00 a 1,60 m (MONEGAT, 1991).

Possui um rápido crescimento inicial e tem grande eficácia no controle de plantas invasoras devido a competição entre elas, o que evita gastos com herbicidas ou capinas. Essa redução de infestação de plantas espontâneas ajuda na redução dos bancos de sementes locais, o que facilita o manejo da cultura sucessora e reduz gastos com aplicações. É uma planta muito eficiente no acúmulo de nutrientes, principalmente N e K, quando comparada às demais espécies, até mesmo leguminosas (CARVALHO, 2008).

É utilizada como adubo verde ou planta de cobertura de solo em sistemas conservacionistas, compondo a rotação de culturas em sistema de semeadura direta

(CRUSCIOL et al., 2005). A recomendação média de sementes é de 15 kg ha⁻¹, com população média de 60 plantas m² (COSTA, 1993).

De acordo com Crusciol et al. (2005), o nabo forrageiro quando manejado na época do florescimento pleno, apresenta uma rápida decomposição dos resíduos vegetais com consequente liberação significativa de macronutrientes. Os autores observaram que após o manejo das plantas no florescimento pleno o acúmulo foi de 57,2 kg ha⁻¹ de N, 15,3 kg ha⁻¹ de P, 85,7 kg ha⁻¹ de K, 37,4 kg ha⁻¹ de Ca, 12,5 kg ha⁻¹ de Mg e 14,0 kg ha⁻¹ de S, com produção média de massa de plantas secas de 2.938 kg ha⁻¹.

Lima et al. (2007), trabalhando com o nabo e com a nabiça, objetivando identificar espécies potenciais para uso como adubos verdes em Pariquera-Açu - SP, verificaram que a produção de massa seca do nabo foi de 5,48 Mg ha⁻¹ e que acumulou 139,19 kg ha⁻¹ de N, 9,86 kg ha⁻¹ de P, 172,07 kg ha⁻¹ de K, 77,81 kg ha⁻¹ de Ca, 57,54 kg ha⁻¹ de Mg. Os autores observaram que o nabo forrageiro teve um crescimento inicial acelerado, reduzindo a infestação de plantas invasoras. A relação C/N foi de 29,2/1, sugerindo uma baixa taxa de decomposição dos resíduos vegetais.

2.2.3. Braquiária (*Urochloa ruziziensis*)

Dentre as espécies utilizadas para a inclusão da prática de rotação de culturas nos sistemas de produção agrícola, o gênero *Urochloa* (sinonímia braquiária) tem sido de grande interesse. Espécies do gênero apresentam a possibilidade de consórcio com culturas comerciais, a disponibilização de forragem para uma safra de bovinos, um grande volume de fitomassa após o manejo de corte ou de dessecação, grande volume de solo explorado, devido a sua rusticidade, se desenvolvendo bem em solos ácidos e pobres em fertilidade, com grande participação na ciclagem de nutrientes, principalmente potássio e fósforo (CRUSCIOL et al., 2016).

Segundo Marochi (2006), *U. ruziziensis* é uma espécie com potencial para ser incluída no sistema de rotação de culturas do SPD, pois, não há grandes dificuldades na aquisição de boas sementes, é uma planta com alta rusticidade, de fácil adaptação, seu manejo de dessecação com herbicidas é fácil, a incidência de doenças e insetos pragas é ínfima, possui baixa exigência nutricional e hídrica e tolera acidez e altos teores de Al no solo. Além da facilidade do cultivo e manejo, a espécie tem uma

elevada produção de massa seca. Sua relação C/N é considerada alta, proporcionando menor taxa de decomposição aos resíduos culturais.

Esta espécie pode ser semeada a lanço, incorporada ou em linhas. Auxilia no controle de plantas invasoras e na contenção de patógenos para algumas espécies comerciais. Apresenta micorrização, consideráveis acúmulos nutricionais, é recicladora de silício e uma ótima sequestradora de carbono. Durante seu crescimento há a formação de touceiras, o que possibilita em 100% a cobertura do solo (MAROCHI, 2006).

Em virtude da facilidade na sua dessecação, tem sido amplamente utilizada na região Centro-Oeste (CECCON et al., 2014), tanto em cultivo isolado como cobertura vegetal durante a entressafra (CASTRO et al., 2017), quanto em consórcio com o milho no que se denomina “Sistema Santa-Fé” (OLIVEIRA et al., 2013) e ainda, em sistemas de integração lavoura-pecuária (PARIZ et al., 2011). No que se diz respeito ao seu entouceiramento, quanto menor, mais facilidade haverá na semeadura mecanizada da cultura sucessora (MACHADO et al., 2013).

Conforme Machado e Assis (2010), a *U. ruziziensis* trata-se de uma cultura promissora quando o propósito é a cobertura de solo por se manter em crescimento durante toda a estação seca e por sua facilidade de dessecação.

Castro et al. (2017), trabalhando com diferentes plantas de cobertura, *U. decumbens*, *U. ruziziensis*, *C. spectabilis*, girassol, nabo forrageiro, milheto, crotalária + milheto e pousio, em Inhaúma-MG, verificaram que a *U. ruziziensis* produziu 4,3 Mg ha⁻¹ de massa seca e que acumulou 88,0 kg ha⁻¹ de N, 5,5 kg ha⁻¹ de P, 94,0 kg ha⁻¹ de K, 24,1 kg ha⁻¹ de Ca, 12,2 kg ha⁻¹ de Mg e 9,6 kg ha⁻¹ de S. Além de uma boa cobertura de solo, atua na ciclagem de nutrientes.

2.3. Cultivo consorciado de plantas de cobertura

O cultivo de duas ou mais espécies de plantas de cobertura recebe o nome de consórcio, mix ou coquetel vegetal. Geralmente, não há um critério de determinação da porcentagem de sementes de cada espécie, realizando apenas uma mistura entre as plantas escolhidas. Entretanto, as proporções de sementes podem influenciar o acúmulo de biomassa e de nutrientes e, sua taxa de decomposição, pois, espécies da Família Poacea (gramíneas), Fabacea (leguminosas) e Brassicaceae (crucíferas) apresentam distinções para essas variáveis (CERETTA et al., 2002).

As leguminosas fixam N_2 atmosférico em razão da associação simbiótica com bactérias fixadoras e apresentam maior velocidade de decomposição da palhada em razão da sua baixa relação C/N, inferior a 20 (ROSOLEM et al., 2003).

Já as gramíneas apresentam elevada relação C/N, entre 30 e 40, seus resíduos permanecem no solo por maior período de tempo, contribuindo com a palhada, na estruturação do solo, especialmente na estabilização dos agregados, em razão do sistema radicular abundante e agressivo. Os nutrientes na palha são liberados lentamente (PAULETTI, 1999).

Quando espécies de alta relação C/N e alto teor de lignina, como a braquiária, são cultivados em consórcio com espécies de baixa relação C/N e baixo teor de lignina, como o nabo forrageiro e a crotalária, a matéria seca apresenta relação C/N intermediária, com reduzidos teores de lignina, contribuindo com a redução da taxa de decomposição da palhada e da mineralização do N e, com o aumento no tempo de meia vida ($T_{1/2}$) de ambos fatores (CABRERA et al., 2005).

Freitas et al. (2012) e Giacomini et al. (2003a), observaram maior taxa de cobertura do solo quando as plantas de cobertura foram cultivadas em consórcio. Com isso, tem-se a proteção física do solo simultâneo ao aporte de nitrogênio, permitindo o sincronismo entre a mineralização dos resíduos vegetais e a necessidade de N da cultura em sucessão.

Em trabalho realizado por Giacomini et al. (2003a), utilizando a aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca em cultivo isolado e consorciados em diferentes proporções de semeadura, os autores observaram uma boa produção de massa seca pela aveia e pelo nabo, acima de $3,58 \text{ Mg ha}^{-1}$ e constataram que a produção foi semelhante à dos consórcios. A quantidade de N acumulada por alguns consórcios foi superior à dos cultivos isolados da aveia e do milheto no segundo e no terceiro ano do trabalho.

Em experimento realizado no município de Selvíria-MS com plantas de coberturas do solo cultivadas de forma isolada e consorciadas antecessoras à cultura do feijão, Bettiol et al. (2015) constataram que a produção de massa seca do consórcio entre *U. ruziziensis* + *C. juncea* foi de $12,68 \text{ Mg ha}^{-1}$, enquanto que do cultivo isolado da braquiária foi de $8,16 \text{ Mg ha}^{-1}$ e que apesar de não ocorrer diferença significativa, os teores dos macronutrientes acumulados foram maiores no consórcio. O número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de mil grãos e produtividade de grãos do feijoeiro não foram influenciados.

Essa alternativa possibilita conciliar os benefícios de cada espécie e mitigar os fatores indesejados delas. Algumas dessas vantagens podem ser listadas: a) o consórcio entre espécies de relação C/N alta com as de relação C/N baixa produz resíduos culturais com velocidade de decomposição e liberação nutricional intermediária; b) em decorrência de uma decomposição intermediária dos resíduos, a cultura em sucessão se beneficia tanto pela proteção do solo, quanto pela mineralização dos nutrientes e c) a produção de massa seca é maior (AITA & GIACOMINI, 2003).

2.4. Dinâmica de decomposição e de liberação nutricional

O manejo das plantas de cobertura é o momento em que se interrompe o ciclo vegetativo delas, tendo como finalidade a adição de resíduos vegetais na superfície do solo, formando a palhada. Dessa forma, o manejo pode ser realizado pelo corte das plantas, rente ao solo, ou pela dessecação com herbicida. O ideal para o Bioma Cerrado é que as plantas sejam pouco fragmentadas ou que permaneçam inteiras, pois, dessa forma o contato com a umidade e com os microrganismos decompositores é reduzida, diminuindo a taxa de decomposição (ALVARENGA et al., 2001).

Conforme Damasceno (2013), o manejo das plantas de coberturas de solo deve ser realizado logo após o florescimento pleno, momento em que mais de 50% das plantas possui estruturas reprodutivas (flor). Neste momento, o material vegetal se encontra com o máximo de acúmulo nutricional e não está muito fibroso ou maduro. Posterior a esse período, a relação C/N será muito alta, podendo levar à imobilização temporária do N, pois, o material estará rico em material fibroso (celulose, hemicelulose e lignina) e os microrganismos consomem muita energia para proceder com a decomposição, utilizando o N do solo.

Caso não seja realizado durante a fase de florescimento pleno poderá surgir um problema que é o amadurecimento das sementes. Caso isso ocorra, bancos de sementes locais poderão ser formados, tornando-se espécies infestantes de difícil controle durante o cultivo da cultura comercial (DAMASCENO, 2013).

Após o manejo, o tempo de permanência dos resíduos e a velocidade de liberação de nutrientes dependem da sua taxa de decomposição. Esta, por sua vez, depende de características intrínsecas às espécies (relação C/N, teor de lignina, polifenóis, celulose e hemicelulose), das condições edafoclimáticas, pela forma como

são manejadas, do contato com o solo, do seu teor de argila e da sua atividade microbiana (AITA et al., 2014).

Para uma melhor utilização dos resíduos vegetais e para maximizar o sincronismo entre a liberação dos nutrientes e as exigências da cultura em sucessão, é necessário compreender a cinética de decomposição e de liberação de nutrientes dos resíduos vegetais (AITA et al., 2014).

Conforme Teixeira et al. (2011), a dinâmica de liberação dos nutrientes depende diretamente da relação C/N dos resíduos. Os autores observaram que a cultivar de milho ENA 2 teve maior relação C/N e, portanto, maior tempo de meia vida do que a cultivar BRS 1501 e do que o sorgo BRS 310. De acordo com Maluf et al. (2015), a decomposição dos resíduos culturais é diretamente proporcional aos teores de N e a quantidade mineralizada de N, P, K, Ca, Mg e S é diretamente proporcional aos seus respectivos conteúdos iniciais nos resíduos.

Com relação às condições edafoclimáticas que influenciam na taxa de decomposição, destacam-se a temperatura e a precipitação pluviométrica. Rossi et al. (2013), constataram que durante períodos chuvosos o tempo de meia vida da palhada foi inferior em comparação à períodos secos. A umidade e a alta temperatura favorecem a atividade dos microrganismos decompositores do solo, o que aumenta a taxa de decomposição da palhada e reduz a permanência dos resíduos.

Em sistemas de manejo convencional a taxa de decomposição tende à ser maior do que sistema de semeadura direta, pois, o contato direto dos resíduos com a umidade do solo e com os microrganismos decompositores acelera o processo de mineralização da matéria orgânica do solo (GONÇALVES et al., 2010).

A rápida decomposição da palhada e o processo erosivo do solo geralmente são fatores característicos de regiões tropicais e subtropicais, comparativamente às de clima temperado. Com a rápida decomposição, tem-se a liberação de nutrientes à taxas elevadas, significando perdas por lixiviação e pela redução na proteção do solo pela cobertura vegetal (AITA et al., 2014).

Já a lenta decomposição dos resíduos e menor liberação dos nutrientes, pode aumentar a necessidade de adubação mineral. Entretanto, pode ser positivo por manter o solo protegido por mais tempo. Contudo, há uma grande dificuldade em compatibilizar com uma única espécie de adubo verde o sincronismo entre a proteção do solo e a liberação de nutrientes com a cinética de absorção da cultura em sucessão (AITA et al., 2014).

Para avaliar a decomposição e a liberação de nutrientes o monitoramento pode ser feito a partir da colocação dos resíduos em bolsas teladas, que são distribuídas no campo e coletadas periodicamente para que sejam avaliados a matéria seca e a concentração de nutrientes remanescentes (AITA et al., 2014).

Essa relação pode ser ajustada a modelos lineares (CRUSCIOL et al., 2005), quadráticos (PAL & BROADBENT, 1975) ou exponenciais (WIEDER & LANG, 1982). De toda forma, o modelo aceito como o mais eficiente em descrever a decomposição da fitomassa é o exponencial simples, descrito por Wieder e Lang (1982). Esse modelo visa caracterizar a perda de massa seca com o passar do tempo, tornando fácil a comparação com demais resultados (BOER et al., 2008).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área experimental

A presente pesquisa foi desenvolvida à nível de campo, na área experimental da fazenda escola da Universidade Federal de Jataí, Jataí – Goiás, tendo como coordenadas geográficas 17°55'32"S, 51°42'32"O e 685 metros de altitude. O experimento teve início na entressafra de 2019 onde foram cultivadas as plantas de cobertura, e posteriormente na safra de verão 2019/2020 foi cultivada a cultura da soja.

A temperatura e a precipitação média anual são de 22 °C e 1.800 mm, respectivamente. O clima da região é do tipo Aw, típico de savanas, conforme a classificação de Köppen e se caracteriza por apresentar duas estações bem definidas, uma de seca e fria (outono e inverno), outra chuvosa e quente (primavera e verão) (ALVAREZ et al., 2013). Os dados referentes às temperaturas máxima e mínima e precipitações pluviométricas ocorridas durante o desenvolvimento das duas etapas do trabalho foram coletados da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática localizada na Universidade Federal de Jataí, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (Figuras 1 e 2).

O solo no qual foi estabelecido o trabalho é classificado como Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa (EMBRAPA, 2018). Esta área vem sendo cultivada em semeadura direta com a sucessão das culturas da soja, na safra verão, e milho ou sorgo, na entressafra de inverno há pelo mesmo 10 anos.

Antecedendo a instalação do experimento, foram retiradas 20 amostras simples de solo nas camadas de 0 – 0,10, 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m, com o auxílio de um trado holandês, para formar uma amostra composta de 0,50 kg de cada camada. As amostras compostas foram encaminhadas ao Laboratório de Solos da Universidade Federal de Jataí para realização de análise química e textural (Embrapa, 2017) (Tabela 1).

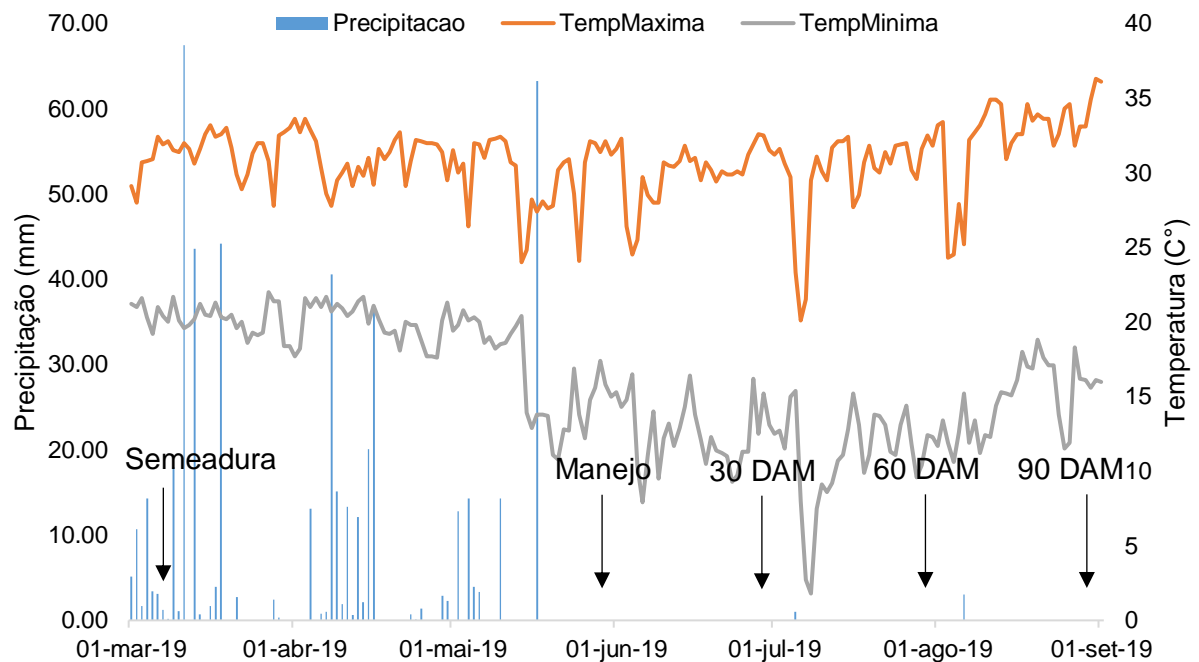


Figura 1. Precipitação pluviométrica, temperaturas máxima (TempMáxima) e mínima (TempMínima) durante a condução da primeira etapa do trabalho. Jataí – GO (1ª Etapa). Fonte: INMET (2019). Semeadura dos tratamentos em 08/03/2019, manejo de corte dos tratamentos em 30/05/2019. 30, 60 e 90 DAM: avaliações na palhada aos 30, 60 e 90 dias após o manejo de corte das plantas.

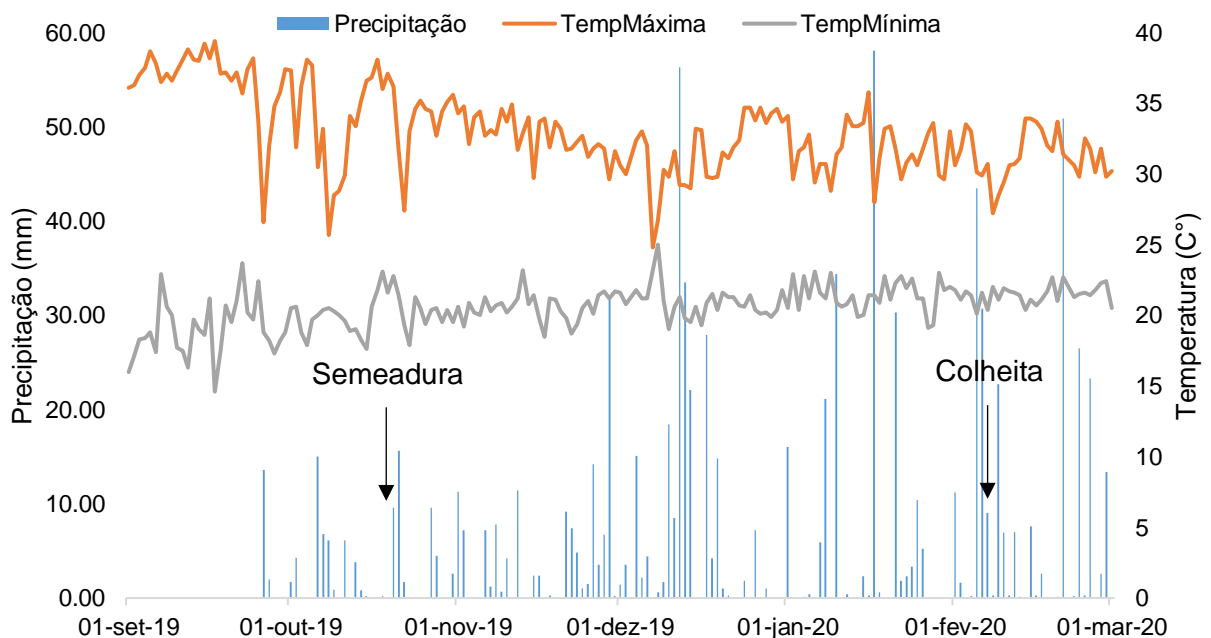


Figura 2. Precipitação pluviométrica, temperaturas máxima (TempMáxima) e mínima (TempMínima) durante a condução da segunda etapa do trabalho. Jataí – GO (2ª Etapa). Fonte: INMET (2020). Semeadura da cultura da soja em 22/10/2019. Colheita da cultura da soja em 10/02/2020.

Tabela 1. Análise química e textural do solo na área experimental antes do cultivo dos tratamentos. Jataí – GO (2019).

| Camada (m) | pH | H+Al | Al | Ca | Mg | Ca+Mg | SB | CTC (total) | CTC (efetiva) |
|--|-------|------|------|-------|-------|-------|---------------|----------------|--------------------|
| ----- cmol _c dm ⁻³ ----- | | | | | | | | | |
| 0,0 – 0,10 | 5,52 | 6,45 | 0,08 | 1,83 | 0,63 | 2,46 | 2,62 | 9,08 | 2,70 |
| 0,10 – 0,20 | 5,63 | 6,02 | 0,05 | 1,71 | 0,54 | 2,25 | 2,40 | 8,43 | 2,45 |
| 0,20 – 0,40 | 5,62 | 5,00 | 0,00 | 1,33 | 0,45 | 1,78 | 1,92 | 6,92 | 1,91 |
| | K | P | Cu | Fe | Mn | Zn | V | m | MOS |
| ----- mg dm ⁻³ ----- | | | | | | | ----- % ----- | | g kg ⁻¹ |
| 0,0 – 0,10 | 65,69 | 5,16 | 6,39 | 29,30 | 22,78 | 2,32 | 28,91 | 2,95 | 37,17 |
| 0,10 – 0,20 | 57,87 | 3,70 | 6,39 | 30,22 | 18,53 | 1,71 | 28,52 | 2,03 | 33,75 |
| 0,20 – 0,40 | 54,74 | 1,19 | 6,93 | 32,32 | 9,26 | 0,99 | 27,71 | 0,00 | 26,67 |
| | Areia | | | Silte | | | Argila | | |
| g dm ⁻³ | | | | | | | | | |
| 0,0 – 0,40 | 175 | | | 240 | | | 585 | | |

pH: potencial hidrogeniônico em água; H: hidrogênio; Al: alumínio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; K: potássio; P: fósforo; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Zn: zinco; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; MOS: matéria orgânica.

3.2. Arranjo experimental e tratamentos

O cultivo das espécies, que caracterizaram os tratamentos, foi realizado no período da entressafra de 2019. Foram utilizadas quatro culturas, sendo que três delas são plantas de cobertura de solo, crotalária (*Crotalaria ochroleuca*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e braquiária (*Urochloa ruziziensis*). A outra trata-se do milho (*Zea mays*). O híbrido de milho utilizado foi o 2A401PW®, da marca Dow AgroSciences®.

A distribuição dos tratamentos foi realizada de forma que as três plantas de cobertura tivessem seus cultivos de forma isolada e também de forma consorciada em diferentes proporções de semeadura. A recomendação de sementes para o cultivo isolado de cada espécie foi utilizada para que os consórcios recebessem a quantidade de sementes proporcional à porcentagem de cada tratamento.

O milho foi cultivado de forma isolada, a fim de representar uma segunda safra da cultura, como é comum na região. Um dos tratamentos foi destinado ao pousio,

onde, não foi semeada nem uma cultura e a vegetação espontânea se desenvolveu a partir de bancos de sementes locais, com o predomínio de gramíneas, sendo elas, capim amargoso (*Digitaria insularis*), capim pé-de-galinha (*Eleusine indica*), capim timbete (*Cenchrus echinatus* L.) e picão preto (*Bidens pilosa*).

Sendo assim, o delineamento experimental foi estabelecido em blocos casualizados, com 10 tratamentos, em quatro repetições. Os tratamentos foram distribuídos da seguinte forma: T1 – Pousio; T2 – crotalária; T3 – nabo forrageiro; T4 – braquiária (UR); T5 – 50% de sementes de crotalária + 50% de sementes nabo forrageiro (CN); T6 – UR com o dobro da recomendação de sementes; T7 – 25% de sementes de UR + 75% de sementes de CN; T8 – 50% de sementes de UR + 50% de sementes de CN; T9 – 75% de sementes de UR + 25% de sementes de CN; T10 – milho (Tabela 2). O símbolo “+” significa que o cultivo foi consorciado entre as espécies.

A área em que foi implantado o trabalho possui um total de 2.300 m², onde, cada unidade experimental foi composta por 10 m de comprimento e 4,5 m de largura. Havia ainda dois carregadores no local que possibilitavam o tráfego do maquinário utilizado nos tratos culturais (Figura 3).

Tabela 2. Distribuição dos tratamentos, espécies utilizadas, quantidade de sementes e suas proporções conforme as recomendações para a região. Jataí – GO (2019).

| Tratamento | <i>Urochloa</i> | <i>Crotalaria</i> | <i>Raphanus</i> | <i>Zea</i> |
|---------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| | <i>ruziziensis</i> ⁽²⁾ | <i>ochroleuca</i> ⁽²⁾ | <i>sativus</i> L. ⁽³⁾ | <i>mays</i> ⁽⁴⁾ |
| | kg ha ⁻¹ | | | |
| Pousio | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Crotalaria | 0,00 | 12,00 | 0,00 | 0,00 |
| Nabo forrageiro | 0,00 | 0,00 | 15,00 | 0,00 |
| Braquiária (UR) | 4,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Crotalaria + Nabo (CN) ⁽¹⁾ | 0,00 | 6,00 | 7,50 | 0,00 |
| UR (dobro de sementes) | 8,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 25% de UR + 75% de CN | 1,00 | 4,50 | 5,63 | 0,00 |
| 50% de UR + 50% de CN | 2,00 | 3,00 | 3,75 | 0,00 |
| 75% de UR + 25% de CN | 3,00 | 1,50 | 1,88 | 0,00 |
| Milho | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 16,00 |

⁽¹⁾ O símbolo “+” significa consórcio. Recomendação de sementes: ⁽²⁾ Ferreira et al. (2016), ⁽³⁾ Wutke et al., (2014), ⁽⁴⁾ Dow AgroSciences®.

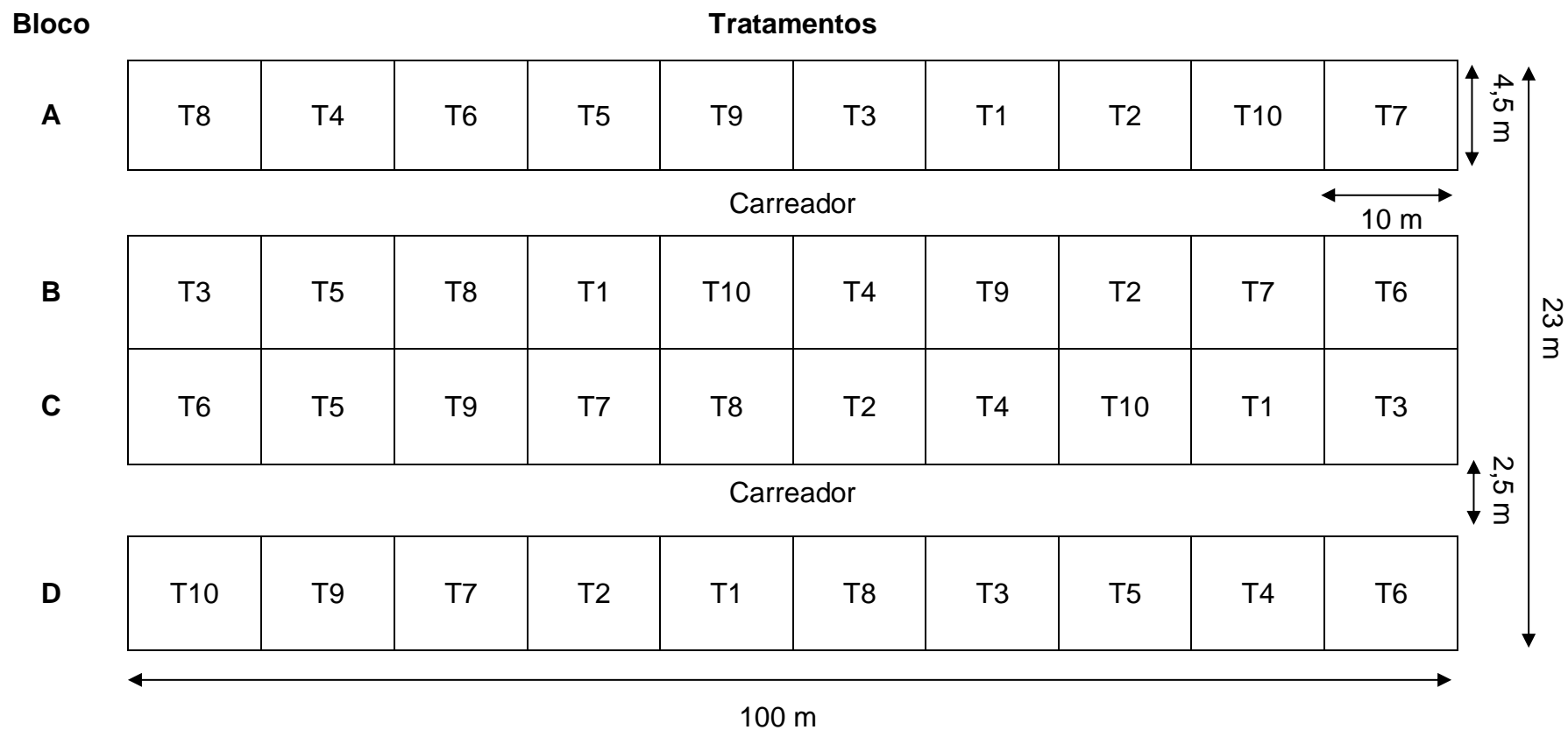


Figura 3. Croqui da área experimental e a distribuição dos tratamentos nas unidades experimentais. Jataí – GO (2019)

3.3. Cultivo das espécies que caracterizaram os tratamentos

Para o manejo de plantas invasoras presentes na área antecedendo a semeadura dos tratamentos, foi realizada a aplicação de 3,5 l ha⁻¹ do produto comercial Glifosato® (Nortox) juntamente à 1,5 l ha⁻¹ de Gramoxone® (Syngenta) no dia 22 de fevereiro de 2019.

A semeadora de grãos graúdos Vence Tudo Panther SM 6.000®, com as rodas compactadoras levantadas, foi utilizada apenas para fazer a sulcagem das linhas de semeadura no espaçamento de 0,45 m entre linhas, sendo 10 sulcos de plantio por parcela.

As quantidades de sementes dos tratamentos, em kg ha⁻¹, foram convertidas para a área da unidade experimental, de 45 m². As sementes utilizadas em cada parcela foram armazenadas em bandejas e devidamente identificadas conforme sua respectiva parcela e tratamento. Para facilitar a distribuição das sementes, junto à bandeja contendo a quantidade de sementes de cada parcela foi adicionado 400 g do adubo superfosfato simples. O adubo foi utilizado apenas para dar corpo às sementes. Pesou-se em balança de precisão a mistura das sementes com o adubo, dividiu-se em dez partes iguais que foram acondicionadas em saquinhos de papel, de forma que, cada sulco de semeadura recebeu o conteúdo de um saquinho.

A distribuição das sementes e o fechamento dos sulcos de todos os tratamentos foram realizados manualmente no dia 8 de março de 2019 (Figura 4). A semeadura foi realizada em linhas com a finalidade de facilitar o controle de plantas invasoras através da capina manual já que não há um herbicida que pudesse ser utilizado em todas as espécies. Duas semanas após a semeadura foi realizado o controle de plantas espontâneas de forma manual e com o auxílio de enxada até que as plantas de cobertura proporcionassem uma maior cobertura do solo.

Após o pleno florescimento da crotalária e do nabo, no dia 30 de maio de 2019 (83 dias após a semeadura) foi realizado o manejo de corte dos tratamentos, com exceção para o milho, com o auxílio de uma roçadora tratorizada, deixando os resíduos vegetais sobre a superfície do solo (Figura 4).

O milho foi colhido no dia 5 de julho de 2019 e determinada sua produtividade de grãos a partir da colheita de 10 espigas aleatórias na área útil da parcela e extrapolado para kg ha⁻¹ a partir da contagem da população final de plantas em 3 linhas em 3 metros, corrigindo-se o peso para 13% de umidade.



Figura 4. Após a abertura dos sulcos da semeadura (a). Aos 20 (b) e 39 (c) dias após a semeadura. Momento antes do manejo de corte (d). Jataí – GO (2019).

3.4. Análises na palhada

Após o manejo de corte das plantas de cobertura, foi utilizado um molde de formato quadrangular, com área de 0,25 m², para retirar uma amostra da biomassa da parte aérea de cada parcela, que foram armazenadas em sacos de papel e encaminhadas ao núcleo de práticas agronômicas (NPA) da Universidade Federal de Jataí (Figura 5). As amostras foram levadas à estufa de ventilação de ar forçada à temperatura de 65 °C por um período aproximado de 72 horas, até atingir massa constante.

3.4.1. Massa seca remanescente

Para analisar a decomposição da palhada e a liberação de macronutrientes, foi utilizando o método das bolsas de decomposição (*litter bag*) adaptado de Thomas e Asakawa (1993). As bolsas de decomposição são feitas de nylon com malha de 2 mm de abertura, com 20 cm de comprimento e 30 cm de circunferência. A amostra de biomassa de parte aérea retirada após o manejo de corte foi dividida em quatro partes iguais e três delas foram acondicionadas nas bolsas de decomposição de forma que cada bolsa recebesse a quantidade de resíduos culturais proporcional à fitomassa seca produzida por hectare pela respectiva espécie. Após isso, as bolsas de decomposição foram levadas às parcelas de origem (Figura 5).

As amostragens foram realizadas em intervalos de 30 dias, partindo do dia em que houve o manejo de corte, ou seja, aos 30, 60 e 90 dias após o manejo de corte, foi retirado um *litter bag* de cada parcela. As amostras foram encaminhadas ao NPA, onde foram retiradas dos *litter bags* e com o auxílio de uma peneira removeu-se os possíveis resíduos de solo. Em seguida, as amostras foram levadas à estufa de ventilação de ar forçada à 65 °C por um período aproximado de 72 horas até atingir massa constante. Posteriormente foram pesadas em balança de precisão e extrapolada a massa seca remanescente em Mg ha⁻¹.

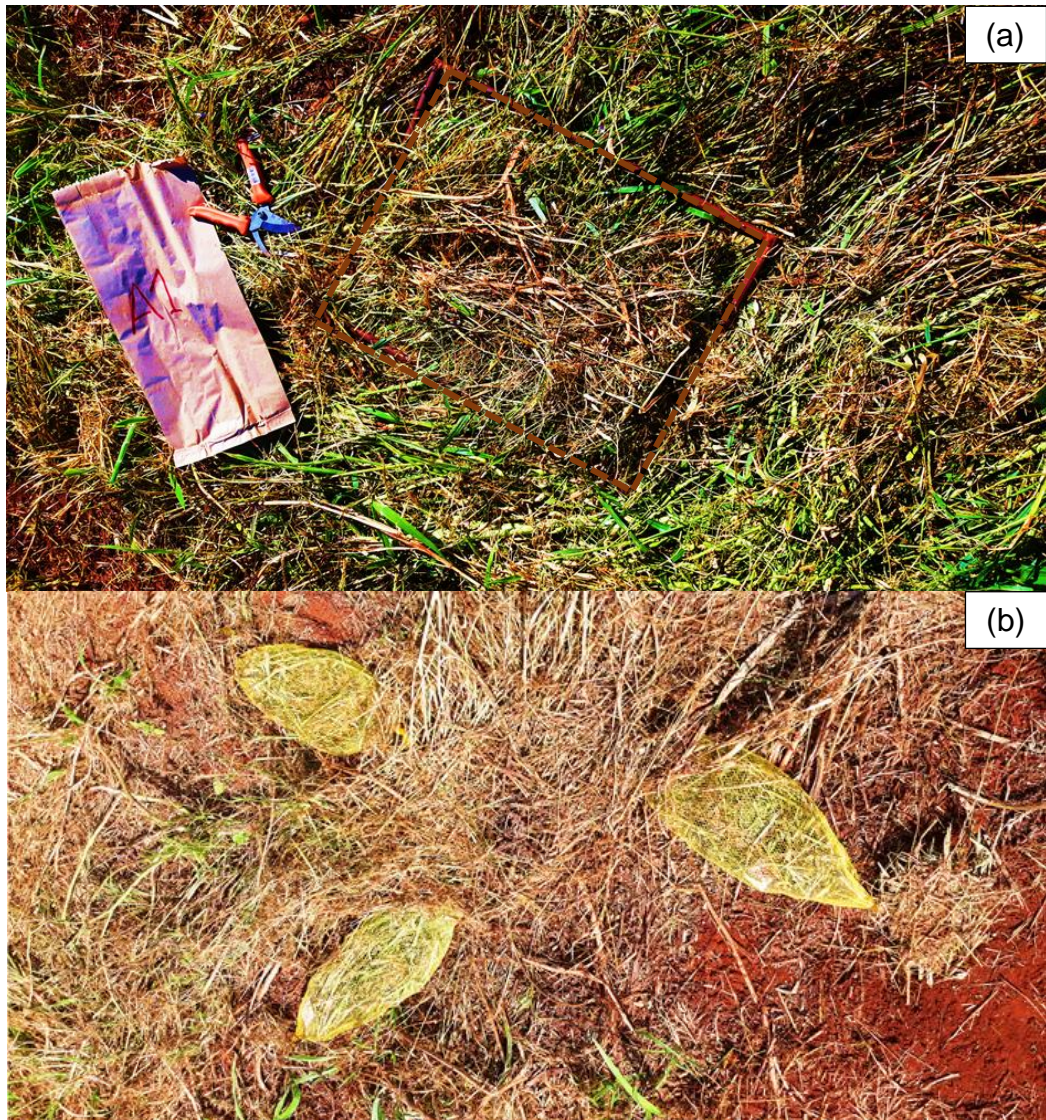


Figura 5. Retirada da biomassa com molde quadrangular de área 0,25 m² após o manejo de corte (a); Bolsas de decomposição na parcela de origem contendo a biomassa proporcional produzida pela cobertura de solo (b). Jataí – GO (2019).

3.4.2. Macronutrientes remanescentes

Após avaliar a massa seca remanescente, as amostras foram trituradas em moinho tipo Willey® e encaminhadas ao laboratório comercial Labominas® para determinar os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre seguindo as metodologias descritas por Malavolta et al. (1997). O conteúdo dos macronutrientes remanescentes foi obtido pelo produto da massa seca (Mg ha⁻¹) com o teor dos nutrientes nos resíduos vegetais (g kg⁻¹) e os valores foram dados em kg ha⁻¹.

3.4.3. Tempo de meia vida

A massa seca e o teor dos macronutrientes remanescentes foram ajustados a um modelo de regressão não linear, de acordo com Wieder & Lang (1982). Foi aplicado o modelo matemático exponencial simples, descrito por Thomas e Asakawa (1993), do tipo $X = X_0 \cdot e^{(-kt)}$, em que X é a quantidade de massa seca ou de nutriente remanescente após um período de tempo t em dias, X_0 é a quantidade inicial de massa seca ou de nutriente e k é a constante de decomposição do resíduo.

Com o valor de k, foi calculado o $T_{1/2}$ através da equação $T_{1/2} = 0,693/k$, que expressa o período de tempo necessário para que metade dos resíduos vegetais se decomponha ou para que metade dos nutrientes contidos nos resíduos seja liberada (PAUL & CLARK, 1996).

3.5. Análises no solo

Aos 120 dias após o manejo de corte dos tratamentos T1 ao T9 e 84 dias após a colheita de grãos do milho (T10), realizou-se a amostragem de solo na camada de 0,0 – 0,10 m para avaliar o efeito dos tratamentos sobre os atributos químicos do solo. Foram retiradas 20 amostras simples de solo com o auxílio de um trado holandês, para formar uma amostra composta de 500 g de cada parcela. As amostras compostas foram encaminhadas ao Laboratório de Solos da Universidade Federal de Jataí, para realizar as análises químicas, conforme Embrapa (2017).

3.6. Cultivo da soja

No dia 22 de outubro de 2019 foi realizada a semeadura da cultura da soja com a cultivar comercial DM 68i69 IPRO® com a semeadora de grãos graúdos Vence Tudo Panther SM 6.000®. Foram utilizadas aproximadamente 350.000 sementes ha^{-1} , seguindo a recomendação da detentora (DONMARIO, 2019), no espaçamento de 0,45 m entre sulcos de plantio, totalizando 10 linhas de plantio com 10 m de comprimento por parcela. Foi realizado o tratamento das sementes com Standak® Top (BASF) e as sementes não foram submetidas à inoculação.

Utilizando a recomendação de Souza e Lobato (2004), foi realizada a adubação manual e à lanço com 400 kg ha⁻¹ do formulado 02-20-18 de N-P₂O₅-K₂O no dia 24 de outubro de 2019.

Com o pulverizador Advance 2000 AM18 Vortex[®] (Jacto) foram realizadas aplicações com produtos fitossanitários para o manejo e controle de plantas invasoras, fitopatógenos e insetos pragas (Tabela 3).

Tabela 3. Data, produto comercial e dosagem utilizada nas aplicações realizadas durante a condução da safra de soja. Jataí – GO (2019/20)

| Produto comercial | Dose |
|--------------------------------------|-------------------------|
| 31 de outubro de 2019 | |
| Glifosato [®] (Nortox) | 3,5 l ha ⁻¹ |
| Cletodim [®] (Nortox) | 500 mL ha ⁻¹ |
| 05 de novembro de 2019 | |
| Cyptrin 250 CE [®] (Nufarm) | 100 mL ha ⁻¹ |
| Game [®] (UPL) | 150 mL ha ⁻¹ |
| 11 de novembro de 2019 | |
| Glifosato [®] (Nortox) | 3,5 l ha ⁻¹ |
| Cletodim [®] (Nortox) | 500 mL ha ⁻¹ |
| Mustang [®] 350 EC (FMC) | 200 mL ha ⁻¹ |
| 22 de novembro de 2019 | |
| Glifosato [®] (Nortox) | 3,5 l ha ⁻¹ |
| Cletodim [®] (Nortox) | 500 mL ha ⁻¹ |
| Mustang [®] 350 EC (FMC) | 200 mL ha ⁻¹ |
| 03 de dezembro de 2019 | |
| Mustang [®] 350 EC (FMC) | 200 mL ha ⁻¹ |
| 12 de dezembro de 2019 | |
| Aproach prima [®] (Du pont) | 300 mL ha ⁻¹ |
| Galil [®] SC (Adama) | 400 mL ha ⁻¹ |
| 03 de janeiro de 2020 | |
| Aproach prima [®] (Du pont) | 300 mL ha ⁻¹ |
| Galil [®] SC (Adama) | 400 ha ⁻¹ |

A colheita da cultura da soja foi realizada manualmente no dia 10 de fevereiro de 2020, aos 111 dias após a semeadura. Durante a colheita, foram consideradas como bordadura as quatro extremidades das parcelas com o comprimento de 1 m, ou seja, foi considerada como área útil a porção central de 20 m² para avaliar os componentes morfológicos, produtivos e produtividade de grãos de soja. Não houve necessidade de dessecar a cultura, ocorrendo a senescência natural.

Após a colheita, as plantas foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas ao Núcleo de Práticas Agrônômicas para proceder com as avaliações.

3.7. Análises na soja

Os componentes fisiológicos avaliados foram o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e o teor de clorofila. Os componentes morfológicos analisados foram altura de plantas, altura de inserção de primeira vagem e diâmetro de haste. Os componentes produtivos quantificados foram número de legumes por planta, número de grãos por planta, número de grãos por vagem, população final de plantas e massa de mil grãos. Por fim, obteve-se a produtividade de grãos.

3.7.1. Componentes fisiológicos

Os componentes fisiológicos, índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e teor de clorofila, foram avaliados no estágio reprodutivo R1 da cultura da soja, no dia 05 de dezembro de 2019.

Para a análise de NDVI foi utilizado o aparelho portátil de sensor ótico ativo GreenSeeker® handheld crop sensor, da marca Trimble®, em dois comprimentos de onda centralizados no vermelho (660 nm) e no infravermelho próximo (770 nm) (POVH et al., 2008; REZNICK, 2017). Durante a leitura, o aparelho foi posicionado a uma altura média de 1 m acima da vegetação, foi realizada uma leitura por parcela e anotado o valor de NDVI obtido pelo sensor.

Com o aparelho portátil ClorofiLog®, modelo CFL 1030, da marca Falker®, foi mensurado o teor de clorofila das plantas de soja. Foram tomadas medidas de 10 pontos por parcela, no primeiro trifólio totalmente expandido de cada planta avaliada, para em seguida obter a média de cada parcela, expressas em Índice de Clorofila Falker® (ICF) que é uma medida adimensional.

3.7.2. Componentes morfológicos

Após a colheita da área útil de cada parcela, foram separadas 10 plantas aleatoriamente e com o auxílio de uma fita métrica e um paquímetro digital, foram avaliados os componentes morfológicos: altura de plantas, altura de inserção de primeira haste e diâmetro de colmo.

Altura é o comprimento entre o colo da planta até o ápice da haste principal. Altura de inserção de primeira vagem trata-se do comprimento entre o colo da planta e a primeira vagem. Diâmetro de colmo trata-se da largura da haste da planta, medida a 3 cm da superfície do solo.

3.7.3. Componentes produtivos

A população final de plantas foi obtida antes da colheita da cultura da soja e para isso, foi utilizada uma fita métrica para delimitar o comprimento de 3 m no centro da parcela, onde foi realizada a contagem de plantas em 3 linhas e posteriormente foi obtida a média.

Após a colheita da cultura foram utilizadas 10 plantas de cada parcela, escolhidas de forma aleatória, para analisar o número de legumes por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP) e número de grãos por vagem (NGV). Para obter o NVP, NGP e NGV foi realizada a contagem de grãos e legumes de cada planta e em seguida obtida a média.

Para aferir a massa de mil grãos foi utilizada a metodologia descrita em Brasil (2009), na qual foi obtida a média da massa de 8 subamostras de 100 grãos aferidas em balança de precisão, corrigida para 13% de umidade e o valor expresso em gramas (g).

3.7.4. Produtividade de grãos

Após proceder com todas as análises, aferiu-se a produtividade de grãos de soja. Para isso, as plantas referentes à área útil de cada parcela (20 m²) foram debulhadas, e em seguida efetuada a limpeza das impurezas. Na sequência os grãos foram pesados em balança analítica, com posterior correção da umidade para 13%, sendo o valor extrapolado para quilogramas por hectare (kg ha⁻¹).

3.8. Análises estatísticas

3.8.1. Palhada

Os dados de produção de biomassa e do acúmulo de macronutrientes após o manejo de corte foram submetidos à análise de variância pelo teste F, a 5% de probabilidade de erro e quando constatadas diferenças, as médias foram comparadas pelo método de agrupamento Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

Os dados de massa seca remanescente ao longo dos 90 dias após o manejo de corte foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F a 5% de probabilidade de erro. As médias das épocas avaliadas foram submetidas a análise de regressão polinomial, a 5% de probabilidade. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo método de agrupamento de médias Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. Utilizou-se o programa estatístico AgroEstat (BARBOSA & MALDONADO JUNIOR, 2015).

Para analisar a dinâmica de decomposição da palhada (1), liberação de nutrientes (2) ajustou-se modelo matemático exponencial, descrito por Wieder & Lang (1982) e utilizado por Thomas & Asakawa (1993) e Torres et al. (2005). Para calcular o tempo de meia-vida para a decomposição da massa seca e da liberação de nutrientes (3), procedeu-se com a equação conforme Paul & Clark (1989):

$$(1) \quad P = P_0 \exp(-kt)$$

Em que: P = quantidade de biomassa seca existente no tempo t, em dias; P_0 = fração da biomassa seca potencialmente decomponível; k = constante de decomposição da biomassa seca; t = tempo, em dias.

$$(2) \quad Q = Q_0 \exp(-kt)$$

Em que: Q = quantidade de macronutriente existente no tempo t, em dias; Q_0 = fração de macronutrientes potencialmente liberados; k = constante de liberação de nutrientes; t = tempo, em dias.

$$(3) \quad T_{1/2} = 0,693/k$$

Em que: $T_{1/2}$ = tempo de meia-vida para decomposição da biomassa ou liberação de nutrientes; k = constante de decomposição ou liberação de nutrientes da biomassa.

3.8.2. Solo e soja

Os dados referentes às análises químicas do solo e aos componentes avaliados na soja foram submetidos à análise de variância pelo teste F, a 5% de probabilidade de erro. As médias referentes aos tratamentos foram comparadas pelo método de agrupamento de médias Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. Utilizou-se o programa estatístico AgroEstat (BARBOSA & MALDONADO JUNIOR, 2015).

Procedeu-se com o teste Dunnett para comparar as médias dos atributos químicos do solo e da soja onde houve o cultivo do milho segunda safra com os demais tratamentos, a 5% de probabilidade de erro. Utilizou-se o programa estatístico Genes (CRUZ, 2013).

4. Resultados e discussão

4.1. Análises na palhada

4.1.1. Produção de biomassa e acúmulo de macronutrientes

Durante o cultivo dos tratamentos, a precipitação pluviométrica total foi de 462,70 mm que se concentraram nos 60 dias após a semeadura. O nabo forrageiro foi a espécie que apresentou crescimento inicial acelerado, demonstrando rapidez em cobrir o solo, devido a sua arquitetura, com folhas largas e decumbentes. Já as demais espécies apresentaram crescimento inicial lento até os 30 dias após a semeadura, com posterior desenvolvimento acelerado.

Observou-se que não houve diferença significativa na produção de massa seca de parte aérea entre os tratamentos aos 83 dias após o manejo de corte das plantas de cobertura que ficou entre 4,85 e 6,95 Mg ha⁻¹ (Tabela 4). Os mixes de vegetais formados pelo cultivo consorciado da crotalária, do nabo forrageiro e da braquiária, produziram massa seca semelhantes ao cultivo isolado das mesmas, apesar das diferentes proporções de semeadura.

Os valores de massa seca produzidos são próximos aos considerados ideais por Alvarenga et al. (2001) e Nunes et al. (2006), de 6 Mg ha⁻¹, Kluthcousky (1998), de 5 a 6 Mg ha⁻¹ e Teodoro et al. (2011), de 6 a 12 Mg ha⁻¹, para uma eficiente cobertura de solo em sistema de rotação de culturas. Com isso, é possível restituir o que é perdido na decomposição dos resíduos orgânicos, visto que são valores dificilmente obtidos por culturas anuais quando não há a prática de rotação de culturas com plantas de cobertura.

Quanto ao acúmulo de macronutrientes na biomassa, houve diferença significativa entre os tratamentos. Cada tratamento foi eficiente em acumular determinados nutrientes. O nitrogênio (N) e o potássio (K) foram os nutrientes acumulados em maiores quantidades, corroborando com Pacheco et al. (2013).

O consórcio crotalária + nabo acumulou altos teores de todos os macronutrientes. Dentre os mixes de vegetais contendo braquiária, nabo e a crotalária, quanto maior a proporção de sementes do consórcio crotalária/nabo, maior o acúmulo de nutrientes.

Tabela 4. Produção de massa seca e acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na biomassa após o manejo de corte das plantas de cobertura cultivadas de forma isolada ou consorciadas durante a entressafra. Jataí – GO (2019).

| Tratamento | Biomassa seca | N | P | K | Ca | Mg | S |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | Mg ha ⁻¹ | kg ha ⁻¹ | | | | | |
| Pousio | 6,65 a ⁽²⁾ | 73,14 b ⁽³⁾ | 10,90 b | 84,64 b | 26,72 c | 15,67 c | 15,08 c |
| Crotalária | 5,40 a | 99,02 a | 10,22 b | 129,33 a | 22,88 c | 13,24 c | 12,66 d |
| Nabo forrageiro | 6,95 a | 116,77 a | 14,98 a | 125,18 a | 45,18 b | 17,39 c | 15,61 c |
| Braquiária (UR) | 5,99 a | 76,36 b | 11,20 b | 110,15 b | 26,46 c | 16,33 c | 13,90 c |
| Crotalária + Nabo (CN) ⁽¹⁾ | 5,06 a | 123,37 a | 19,62 a | 149,44 a | 60,36 a | 26,16 a | 20,12 a |
| UR (dobro de sementes) | 4,85 a | 69,41 b | 9,00 b | 117,09 b | 21,15 c | 15,06 c | 12,00 d |
| 25% de UR + 75% de CN | 5,97 a | 138,40 a | 19,82 a | 135,39 a | 46,60 b | 27,12 a | 19,13 a |
| 50% de UR + 50% de CN | 5,76 a | 114,10 a | 15,87 a | 136,16 a | 41,48 b | 21,36 b | 17,00 b |
| 75% de UR + 25% de CN | 5,08 a | 74,78 b | 11,77 b | 99,59 b | 28,86 c | 15,70 c | 12,66 d |
| P (valor) | 0,81 ^{ns} (3) | 1,0x10 ^{-4**} | 7,0x10 ^{-4**} | 1,0x10 ^{-2*} | 1,0x10 ^{-4**} | 1,0x10 ^{-4**} | 1,0x10 ^{-4**} |
| Coeficiente de variação (%) | 34,57 | 27,15 | 18,69 | 24,70 | 15,70 | 12,54 | 17,70 |

⁽¹⁾ O símbolo “+” significa consórcio. ⁽²⁾ Médias seguidas de mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo, de acordo com o método Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. ⁽³⁾ **, *, ns: significativo a 1 e 5% de probabilidade de erro pelo teste F e, não significativo, respectivamente.

Dentre os mixes, o que recebeu a maior proporção de sementes do consórcio crotalária/nabo, de 75%, foi o que apresentou o maior acúmulo de macronutrientes, apenas teor do Ca que ficou em um grupo inferior, mas que ainda assim houve um bom acúmulo do elemento. O nabo forrageiro cultivado de forma isolada e o mix com 50% de sementes de braquiária + 50% de sementes do consórcio crotalária/nabo acumularam altos teores de N, P e K. Já crotalária acumulou altos teores de N e K.

A crotalária e o nabo forrageiro são consideradas adubos verdes (LIMA et al., 2007; FARIA et al., 2004), por apresentar sistema radicular profundo, alta produção de fitomassa e acúmulo nutricional, baixa relação C/N, liberando rapidamente os nutrientes acumulados e, a crotalária possui, ainda, capacidade de fixar biologicamente o nitrogênio atmosférico (SABADIN, 1984).

Diante disso, quando se objetiva a diversificação de espécies com a finalidade de recuperar a qualidade química, física e biológica do solo e, ao mesmo tempo propiciar uma maior sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola em ambientes tropicais, o cultivo consorciado de plantas de cobertura tem sido apontado como uma alternativa eficiente em produção de resíduos culturais e ciclagem de nutrientes (GARCIA et al, 2008; CALONEGO et al., 2011; BORGHI et al., 2013).

A produção de massa seca e o acúmulo de nutrientes nas plantas de cobertura é variável, dependendo da espécie, da composição química do meio, da idade do tecido, de fatores intrínsecos ao manejo, de condições climáticas, edáficas, fitossanitárias e do desenvolvimento do sistema radicular em profundidade (AMADO et al., 2002; DECHEN & NACHTIGALL, 2018).

Proceder com a semeadura no período com precipitação pluviométrica, entre os meses de abril e maio, como ocorreu no presente estudo, colabora com o crescimento e estabelecimento das plantas durante a entressafra (PACHECO et al., 2011a). A ciclagem de nutrientes pelas coberturas vegetais tem como objetivo a redução no uso de fertilizantes minerais, que é um dos principais objetivos da nutrição mineral de plantas.

Usando como exemplo o mix contendo 25% de braquiária + 75% de crotalária/nabo, os teores acumulados de N, P e K se traduzem em 314,54 kg ha⁻¹ de ureia, 271,81 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio e 110,70 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo.

Com relação ao cultivo isolado, tratando-se do nabo forrageiro, a produção de massa seca e o acúmulo nutricional corroborou com o observado por Castro et al. (2017), trabalhando com diferentes plantas de cobertura em Inhaúma-MG, que aos 90

dias após a semeadura verificaram 5,60 Mg ha⁻¹ de biomassa, 90,00 kg ha⁻¹ de N, 10,50 kg ha⁻¹ de P, 84,20 kg ha⁻¹ de K, 47,70 kg ha⁻¹ de Ca, 10,00 kg ha⁻¹ de Mg e 21,30 kg ha⁻¹ de S.

Já Marcelo et al. (2012), que realizaram o manejo de corte do nabo forrageiro aos 60 dias após a semeadura e que a precipitação pluviométrica foi menor do que do presente trabalho, encontraram valores inferiores tanto de biomassa, de 4,10 Mg ha⁻¹, quanto de macronutrientes, com 57,00 kg ha⁻¹ de N, 7,50 kg ha⁻¹ de P, 51,10 kg ha⁻¹ de K, 59,20 kg ha⁻¹ de Ca, 14,6 kg ha⁻¹ de Mg, 12,2 kg ha⁻¹ de S.

Conforme Wutke et al. (2014) a produção média de biomassa do nabo forrageiro se situa entre 2,00 a 6,00 Mg ha⁻¹. Segundo Ohland et al. (2005) e Alvarenga et al. (2001), o nabo forrageiro apresenta elevada capacidade de ciclagem de nutrientes, principalmente N e P, o que foi possível visualizar no presente estudo.

Fatores como, região, clima, solo, estação e período de cultivo devem ser levados em consideração quando se trata de produção de biomassa e acúmulo de nutrientes pela cultura. De acordo com Abrosano et al. (2013), a quantidade de nutriente acumulada tem relação direta com a quantidade de matéria seca produzida, ou seja, a capacidade de absorção segue a mesma tendência da produção de fitomassa.

O mesmo fato pode ser constatado para a braquiária e a crotalária. Em trabalho realizado por Borges et al. (2018), em que a massa seca da crotalária foi de 7,32 Mg ha⁻¹, maior do que a do presente estudo, os teores de Ca e Mg também foram maiores, com 65,38 e 45,51 kg ha⁻¹, respectivamente, já os teores de N, P e K foram próximos, com 12,54; 81,10 e 88,97 kg ha⁻¹, respectivamente (o S não foi avaliado).

A fitomassa seca produzida pela *Crotalaria ochroleuca* se situa em torno de 3,00 a 6,00 Mg ha⁻¹ (WUTKE et al., 2014). Garcia e Staut (2018), em Dourados – MS, onde a semeadura foi realizada em fevereiro e o manejo de corte se deu após o pleno florescimento, observou-se 5,48 Mg ha⁻¹. Já Pereira (2007), observou massa seca superior, de 6,50 Mg ha⁻¹ em Seropédica – RJ no cultivo outono-inverno, que recebeu maior índice de chuvas.

Comparativamente ao cultivo isolado do nabo e da crotalária, a braquiária cultivada tanto com a recomendação quanto com o dobro da recomendação de sementes acumularam teores de macronutrientes inferiores. O acúmulo de macronutrientes da braquiária foi próximo ao observado por Pacheco et al. (2011b), em que a espécie recebeu manejo de corte aos 90 dias após a semeadura, com 54

kg ha⁻¹ de N, 7,34 kg ha⁻¹ de P, 48 kg ha⁻¹ de K, 21 kg ha⁻¹ de Ca e 4,97 kg ha⁻¹ de Mg (o S não foi avaliado).

A produção de massa seca pelos dois cultivos da braquiária corrobora com o observado por Machado e Assis (2010), Carvalho et al. (2011) e Pacheco et al. (2011a) em São Gabriel do Oeste-MS, Planaltina-DF e Santo Antônio de Goiás-GO, respectivamente, com biomassa de 4,57 Mg ha⁻¹, 4,50 Mg ha⁻¹ e 6,23 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Na cidade de Rio Verde-GO, em que a semeadura foi realizada mais tardiamente, no mês de abril, e consequentemente recebeu um menor volume de chuvas e temperatura inferior, Pacheco et al. (2011a) observaram massa seca de 2,90 Mg ha⁻¹ aos 90 dias após a semeadura.

Com a prática do pousio, onde não ocorreu a semeadura de nem uma das espécies, houve o desenvolvimento de plantas espontâneas a partir de bancos de sementes locais, com predomínio de gramíneas. Esse tratamento apresentou uma boa produção de biomassa devido à rusticidade e fácil adaptabilidade que as espécies apresentam para crescer e se desenvolver.

Araújo et al. (2019) e Barbosa et al. (2011), durante a entressafra em área de pousio com ocorrência de algumas das mesmas espécies encontradas no presente trabalho, aos 70 dias após a emergência, encontraram massa seca de palhada de 5,0 Mg ha⁻¹.

Essa prática pode proporcionar às plantas espontâneas que alcancem a época de pré-plantio da safra verão com altos teores nutricionais e maior resistência à herbicidas (ARAÚJO et al., 2019). Isso pode aumentar o banco de sementes do solo, dificultando o controle das plantas espontâneas durante o cultivo da cultura principal na safra, onerando os custos com aplicação e afetando diretamente a produtividade de grãos (LAMEGO et al., 2004; LAMEGO et al., 2015).

Com relação ao acúmulo de nutrientes, é notório os consideráveis teores de P presentes na biomassa das plantas de cobertura em todas as formas de cultivo, entre 9,00 e 19,82 kg ha⁻¹. Tratam-se de espécies que desenvolveram estratégias fisiológicas para conviver em solos com baixa disponibilidade de P, utilizando as frações não-lábeis, o que favorece a ciclagem do P no sistema.

Dentre essas estratégias, Casali et al. (2016) citam o aumento da relação raiz/parte aérea, da superfície radicular ou da taxa de absorção por unidade de raiz; um maior conteúdo de pêlos radiculares; a exsudação radicular de fosfatases ácidas

ou de compostos orgânicos que complexam metais associados aos fosfatos; a capacidade de associação com fungos micorrízicos, ampliando a área radicular e, com outros microrganismos que proporcionam a quebra de compostos orgânicos e a liberação do ânion fosfato (SCHENK & BARBER, 1979; LAJTHA & HARRISON, 1995; NAHAS, 2002; COSTA & LOVATTO, 2004; BAYON et al., 2006; KUNZE et al., 2011).

4.1.2. Dinâmica de decomposição da biomassa

Observou-se diferença significativa para os fatores isolados “tratamento” e “dias após o manejo de corte”, entretanto, não houve diferença para a interação entre esses dois fatores (Tabela 4). Verifica-se que houve diferença para o fator “blocos”, indicando que o delineamento experimental utilizado foi eficiente em reduzir os efeitos do ambiente, que ficaram restritos aos blocos e não aos tratamentos.

A média geral da massa seca dos tratamentos ao longo dos 90 dias avaliados foi de 4,66 Mg ha⁻¹. De acordo com Bayer et al. (2006), 4,00 Mg ha⁻¹ de biomassa são adequados para a manutenção do sistema de plantio direto no Cerrado. Neste sentido, deve-se destacar ainda que de acordo com Lopes et al. (1987), 4,00 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais são eficazes em evitar a chance de ocorrência de erosão hídrica em até 95%.

Tabela 4. Resumo da análise de variância dos efeitos principais e da regressão polinomial da massa seca remanescente ao longo de 90 dias após o manejo de corte de plantas de cobertura cultivadas isolada ou consorciadas. Jataí – GO (2019).

| Fonte de variação dos efeitos principais | P valor |
|--|----------------------|
| Tratamento (T) | 0,0332* |
| Dias após o corte (DAC) | 0,0002** |
| Interação T x DAC | 1,0000 ^{ns} |
| Blocos | 0,0001** |
| Média geral (Mg ha ⁻¹) | 4,6667 |
| Coeficiente de variação (%) | 35,9000 |
| Regressão polinomial | |
| Regressão linear | 0,0001** |
| Regressão quadrática | 0,1043 ^{ns} |
| Regressão cúbica | 0,3041 ^{ns} |

**, *, ns: significativo a 1 e 5% de probabilidade de erro e, não significativo, respectivamente.

O pousio, o nabo forrageiro e a braquiária apresentaram a maior massa seca ao longo dos 90 dias avaliados (Tabela 5). Os demais tratamentos compõem um segundo grupo com valores menores para essa variável.

Tabela 5. Massa seca média no período de 90 dias após o manejo de corte das plantas de cobertura cultivadas de forma isolada ou consorciadas. Jataí – GO (2019).

| Tratamentos | Massa seca (Mg ha⁻¹) |
|---|--|
| Pousio | 5,61 a |
| Nabo forrageiro | 5,45 a |
| Braquiária (UR) | 5,21 a |
| 50% de sementes de UR + 50% de sementes de CN | 4,64 b |
| Crotalária | 4,56 b |
| Braquiária com o dobro de sementes | 4,30 b |
| 25% de sementes de UR + 75% de sementes de CN | 4,08 b |
| 75% de sementes de UR + 25% de sementes de CN | 4,04 b |
| Crotalária + Nabo forrageiro (CN) | 4,03 b |

O símbolo “+” significa consórcio. Médias seguidas de mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo, de acordo com o método Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

A média de massa seca do pousio foi alta durante os 90 dias avaliados, pois, essa prática proporcionou alta produção de biomassa devido ao crescimento e desenvolvimento das plantas espontâneas, predominantemente gramíneas, a partir de bancos de sementes locais em decorrência da ausência de competição interespecífica com as plantas de cobertura por recursos limitantes como água, incidência de luz, nutrientes e espaço.

Apesar do crescimento inicial mais lento da braquiária em relação ao nabo forrageiro, sua produção de biomassa é compensada posteriormente. Isto ocorre por as espécies do gênero *Urochloa* possuem um elevado acúmulo de massa seca a partir dos 45 dias após a semeadura (PORTES et al., 2000), e aliada ao hábito perene da espécie a torna uma opção apropriada para a produção de palhada na entressafra no Cerrado (PACHECO et al., 2008).

A massa seca remanescente das plantas de cobertura ao longo dos 90 dias avaliados apresentou uma decomposição inicial mais acentuada, no primeiro mês após o manejo de corte, seguida por uma mais lenta, entretanto, a linha de tendência

obtida com os dados estimados mostra uma decomposição contínua, sem variação expressiva ao longo do tempo (Figura 6).

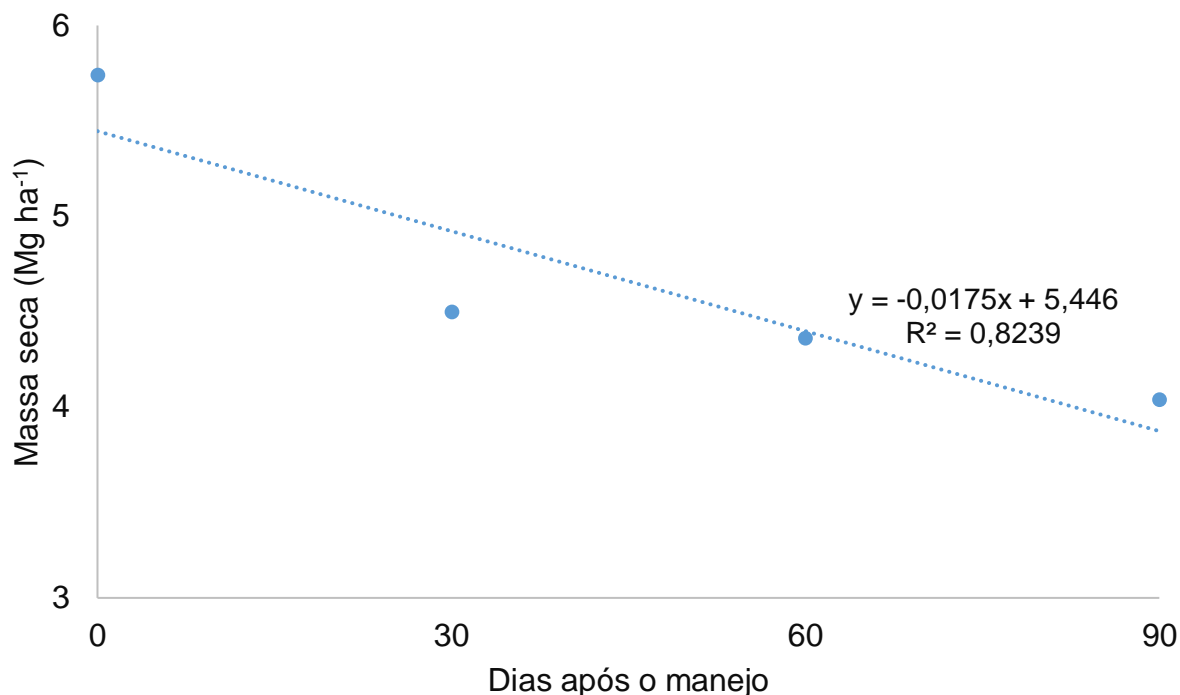


Figura 6. Decomposição da biomassa das plantas de cobertura cultivadas de forma isolada ou consorciadas ao longo dos 90 dias após o manejo de corte. Jataí – GO (2019).

De acordo com Aita et al. (2014), a decomposição mais acentuada no primeiro mês após o manejo de corte, no caso, de 21,61%, é o padrão da decomposição, que é atribuído ao processo de remoção da fração solúvel em água pela chuva e, à decomposição microbiana de compostos rapidamente metabolizados pelos microrganismos, como aminoácidos, açúcares e peptídeos. A mineralização dos compostos orgânicos contendo C, N, P e S em CO_2 , NH_3 , PO_4^{2-} e SO_4^{2-} leva à diminuição gradativa das quantidades remanescentes de matéria seca.

Já os constituintes recalcitrantes, como celulose, ceras, taninos e lignina, levam um maior período de tempo para serem decompostos. Conforme o processo de decomposição estabiliza os resíduos vegetais em húmus, tem-se o aumento desses elementos recalcitrantes, diminuindo assim, a taxa de decomposição (REINERTSEN et al., 1984; CHRISTENSEN, 1985; WIEDER & LANG, 1982; PAUL & CLARK, 1996; PEGADO et al., 2008).

No período entre o manejo de corte das plantas de cobertura e o final das avaliações da massa seca remanescente (90 dias), a precipitação pluviométrica foi de 4,00 mm. Esse fato causou retardo no processo de decomposição devido à falta de umidade, o que reduz a atividade microbiana do solo. Ao final dos 90 dias de avaliação ainda restavam 70,38% dos resíduos culturais dos tratamentos.

A tabela 6 ilustra os coeficientes da equação de regressão exponencial e o tempo de meia vida ($T_{1/2}$) dos tratamentos. Os tratamentos contendo o nabo forrageiro apresentaram os maiores valores de constante de decomposição “K” e consequentemente os menores $T_{1/2}$, visto que são valores inversamente proporcionais.

Tal fato deve-se provavelmente a baixa relação C/N do nabo forrageiro, que pode se situar em torno de 15/1, em relação às demais espécies (ZIECH et al., 2015). De maneira geral, a relação C/N das gramíneas, na época de pleno florescimento está ao redor de 40/1 e, nas leguminosas, na faixa de 20/1 (MONEGAT, 1991).

Geralmente, resíduos vegetais com relação C/N de 25/1 causam equilíbrio entre os processos de imobilização e mineralização. Valores superiores causam imobilização líquida, enquanto que valores inferiores promovem mineralização líquida de N ao solo (AITA, 1997).

Ceretta et al. (2002) e Carvalho et al. (2008), relataram que o tempo necessário para que 50% dos resíduos vegetais de nabo forrageiro sejam decompostos são 60 e 90 dias após o manejo, respectivamente. Entretanto, no presente trabalho, verificou-se $T_{1/2}$ superior para essa espécie, de 166 dias, assim como Medrado et al. (2011), de 205 dias e que aos 161 dias após o manejo ainda restavam 53% da massa seca do nabo forrageiro.

Os resíduos vegetais do cultivo isolado da crotalária e do nabo forrageiro tiveram $T_{1/2}$ de 233 e 166 dias, respectivamente. O consórcio entre as duas espécies teve $T_{1/2}$ intermediário, de 175 dias. Ao adicionar a braquiária, o $T_{1/2}$ reduziu, para 106 dias. A diversificação das espécies presentes nos resíduos vegetais a partir do cultivo consorciado entre as plantas de cobertura, estimula a atividade e aumenta a diversidade microbiana do solo, acentuando a decomposição e estabilização da matéria orgânica em frações húmicas (BALOTA et al., 2014).

Tabela 6. Coeficientes da equação de regressão exponencial, $P = P_0 \exp(-kt)$ e tempo de meia-vida ($T_{1/2}$) para decomposição da massa seca de palhada avaliada ao longo de 90 dias após o manejo de corte das plantas de cobertura cultivadas de forma isolada ou consorciadas. Jataí – GO (2019).

| Tratamento | $P_0^{(2)}$ Mg ha ⁻¹ | K g g ⁻¹ | R ² | $T_{1/2}$ dias |
|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------|----------------|-------------------|
| Pousio | 6,3667 | 0,0029 | 0,8479 | 238 |
| Crotalária | 5,1889 | 0,0029 | 0,8808 | 233 |
| Nabo forrageiro | 6,4910 | 0,0041 | 0,8329 | 166 |
| Braquiária (UR) | 5,9910 | 0,0028 | 0,9785 | 240 |
| Crotalária + Nabo (CN) ⁽¹⁾ | 4,7667 | 0,0039 | 0,8519 | 175 |
| UR (dobro de sementes) | 4,6910 | 0,0020 | 0,8347 | 337 |
| 25% de UR + 75% de CN | 5,0112 | 0,0065 | 0,6534 | 106 |
| 50% de UR + 50% de CN | 5,5445 | 0,0041 | 0,9001 | 166 |
| 75% de UR + 25% de CN | 4,9000 | 0,0045 | 0,9471 | 153 |

⁽¹⁾ O símbolo “+” significa consórcio; ⁽²⁾ P_0 : fração da biomassa seca potencialmente decomponível; k: constante de decomposição da massa seca; R²: coeficientes de correlação.

Com relação à crotalária, observou-se que aos 90 dias após o manejo apenas 25% da massa seca havia sido decomposta. Apesar de relatos na literatura sobre a rápida decomposição dos resíduos de crotalária devido à sua baixa relação C/N, em média 15/1 (AMBROSANO et al., 2009; ABROSANO et al., 2013; GARCIA & STAUT, 2018), no presente estudo a sua decomposição não foi acelerada.

O $T_{1/2}$ da crotalária foi de 233 dias, próximo ao da braquiária, de 240 dias e do pousio, de 238 dias. Torres e Pereira (2008) observaram relação C/N similares entre essas espécies, situando-se entre 18/1 para a crotalária, 19/1 para a braquiária e 19/1 para o pousio, sugerindo a proximidade entre a dinâmica de decomposição dos seus resíduos.

Geralmente, quando se disponibiliza palhada de gramíneas ao solo, a velocidade de decomposição é menor ao se comparar com leguminosas e crucíferas (TORRES et al., 2005). O $T_{1/2}$ do pousio foi próximo ao da braquiária. Por se tratarem de gramíneas, tanto a braquiária quanto a vegetação espontânea, em que havia o predomínio de plantas invasoras dessa Família, os elevados $T_{1/2}$ devem-se a maior relação C/N das mesmas.

Diniz et al. (2019), Costa et al. (2014b), Rossi et al. (2013) e Ferreira (2019), estudando a dinâmica de decomposição da braquiária em SSD durante a safra de soja, observaram $T_{1/2}$ de 172, 155, 119 e 99 dias, respectivamente. Devido ao cultivo da espécie ter ocorrido no período de inverno, com restrições hídricas, a cultura atinge um menor porte, com caule mais fibroso e emite menor número de folhas e flores.

Dentre os fatores que determinam a velocidade de decomposição da fitomassa e da liberação dos nutrientes podem ser levadas em consideração a relação C/N, a porcentagem de lignina, o manejo de corte, a presença ou ausência de incorporação dos resíduos ao solo e o clima, principalmente a temperatura e a precipitação pluviométrica. Esses fatores influenciam diretamente a atividade biológica dos organismos decompositores, podendo aumentar ou diminuir as taxas de decomposição (ESPÍNDOLA et al., 2006; TORRES et al., 2008; TORRES & PEREIRA, 2008).

De modo geral, todas as plantas de cobertura cultivadas tanto de forma isolada como consorciada, apresentaram, em média, tempo de permanência sobre o solo superior ao período médio de 3 meses que corresponde à época de manejo de corte das plantas e de semeadura das culturas de safra, que na região iniciou-se no final de setembro, em decorrência da antecipação do vazio sanitário do estado de Goiás.

Os elevados $T_{1/2}$ no presente trabalho podem ser atribuídos ao fato de que a área é cultivada em sistema de semeadura direta há muitos anos. Conforme Diniz et al. (2019), palhada em sistema de semeadura direta possui maior tempo de meia vida, devido ao reduzido contato do solo, e conseqüentemente, da sua microbiota com os resíduos vegetais.

Mesmo apresentando grande oscilação na temperatura, de 30 a 12 °C, a decomposição também foi desfavorecida pelo regime hídrico, com precipitação de apenas 4 mm ao longo dos 90 dias avaliados, o que reduz a atividade dos microrganismos decompositores (ACOSTA et al., 2014). Todas as opções de espécies/manejo que apresentam $T_{1/2}$ superior a 120 dias, são considerados limite para a boa manutenção do SPD no Cerrado (COSTA et al., 2014b).

4.1.3. Dinâmica de liberação dos macronutrientes

A cinética da liberação dos nutrientes nos resíduos das plantas de cobertura demonstrou uma fase inicial rápida, aos 30 dias após o manejo, e outra lenta, com uma estabilização da liberação (Figura 7).

A baixa precipitação pluviométrica (4 mm) durante o período de avaliação proporcionou baixos valores da constante de decomposição “K” e altos $T_{1/2}$ comparados a outros trabalhos que foram avaliados durante períodos com maior umidade (TORRES & PEREIRA, 2008; ESPÍNDOLA et al., 2006; VIOLA et al., 2013). Conforme Floss (2000), quanto menor a taxa de decomposição da palhada, menor a velocidade de liberação dos nutrientes.

Outro fator que diminui consideravelmente as taxas de decomposição é a ausência da incorporação dos resíduos, mantendo-os sobre a superfície do solo, reduzindo o contato com a umidade e com os microrganismos decompositores (CARVALHO et al., 2008).

Como já mencionado, a crotalária e o nabo forrageiro são espécies eficientes em ciclagem de nutrientes (AMBROSANO et al., 2005; CRUSCIOL et al., 2005; AMBROSANO et al., 2013) e o consórcio entre elas proporcionou os maiores acúmulos para todos os nutrientes em todas as épocas avaliadas. O consórcio de ambas também proporcionou maior $T_{1/2}$ do que o cultivo isolado para o N e o K, elementos que são rapidamente liberados após o manejo.

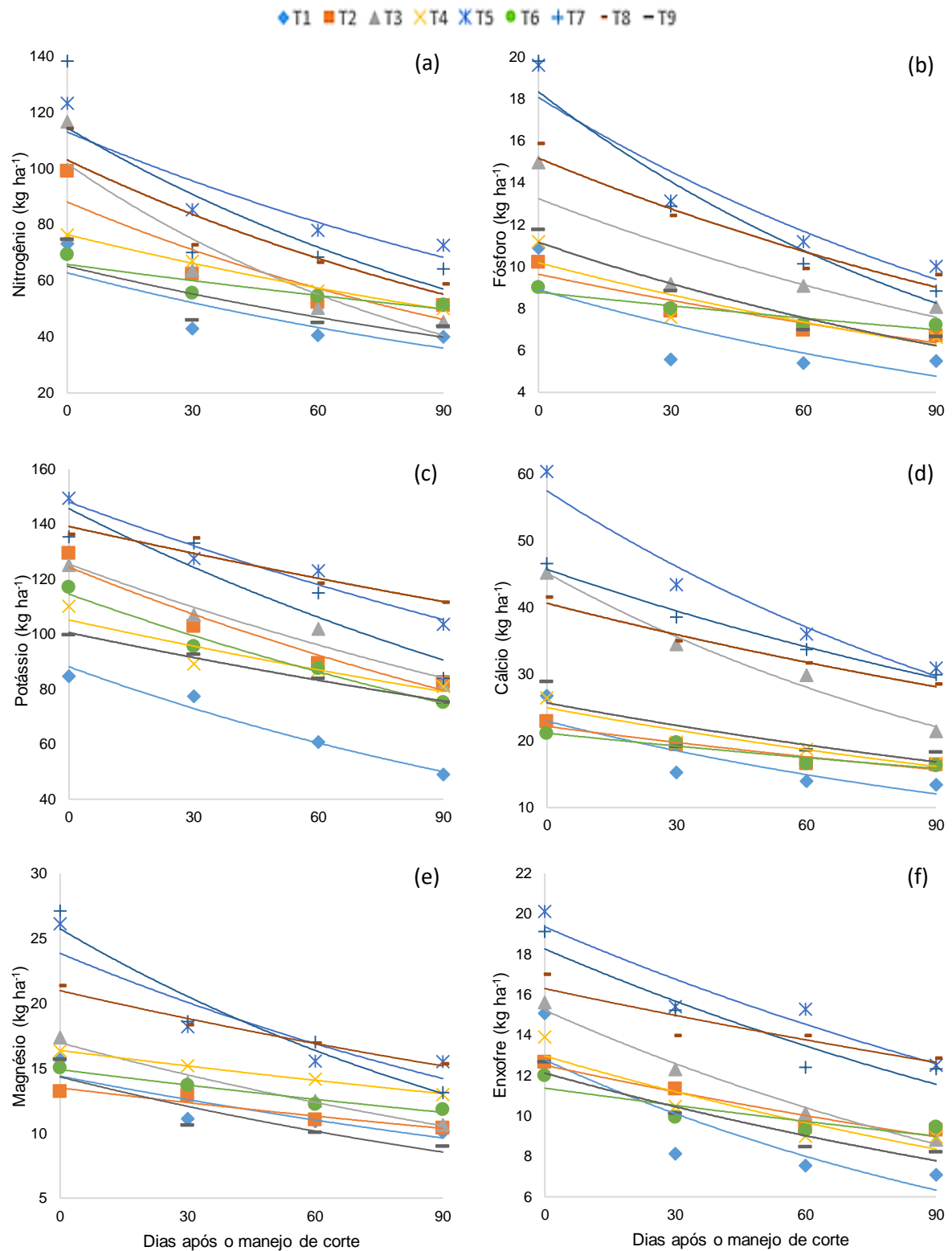


Figura 7. Nitrogênio (a), fósforo (b), potássio (c), cálcio (d), magnésio (e) e enxofre (f) remanescentes em plantas de cobertura ao longo de 90 dias após o manejo de corte (As equações e a significância dos ajustes estão apresentadas nas tabelas 8 e 9). T1: Pousio; T2: Crotalária; T3: Nabo forrageiro; T4: Braquiária (UR); T5: Crotalária + Nabo (CN); T6: UR com o dobro de sementes; T7: 25% de UR + 75% de CN; T8: 50% de UR + 50% de CN; T9: 75% de UR + 25% de CN. O símbolo “+” significa consórcio. Jataí – GO (2019).

Tabela 8. Coeficientes da equação de regressão exponencial, $Q = Q_0 \exp(-kt)$ e tempo de meia-vida ($T_{1/2}$) da dinâmica de liberação de nitrogênio, fósforo e potássio na palhada de plantas de cobertura ao longo de 90 dias após o manejo de corte. Jataí-GO (2019).

| Coeficiente ⁽¹⁾ | T1 ⁽²⁾ | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 |
|------------------------------|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Nitrogênio | | | | | | | | | |
| Q_0 (kg ha ⁻¹) | 62,850 | 88,120 | 101,750 | 76,440 | 113,060 | 65,850 | 114,520 | 103,050 | 65,160 |
| K (kg kg ⁻¹) | 0,006 | 0,007 | 0,010 | 0,005 | 0,006 | 0,003 | 0,008 | 0,007 | 0,005 |
| R ² | 0,693 | 0,825 | 0,877 | 0,995 | 0,847 | 0,817 | 0,693 | 0,862 | 0,680 |
| $T_{1/2}$ (DAM) | 112 | 97 | 68 | 145 | 124 | 226 | 89 | 100 | 126 |
| Fósforo | | | | | | | | | |
| Q_0 (kg ha ⁻¹) | 8,900 | 9,630 | 13,240 | 10,190 | 18,070 | 8,770 | 18,340 | 15,170 | 11,160 |
| K (kg kg ⁻¹) | 0,007 | 0,005 | 0,006 | 0,005 | 0,007 | 0,003 | 0,009 | 0,006 | 0,006 |
| R ² | 0,612 | 0,884 | 0,768 | 0,815 | 0,913 | 0,884 | 0,942 | 0,918 | 0,926 |
| $T_{1/2}$ (DAM) | 100 | 151 | 112 | 128 | 95 | 274 | 78 | 120 | 106 |
| Potássio | | | | | | | | | |
| Q_0 (kg ha ⁻¹) | 88,130 | 124,380 | 125,460 | 105,160 | 148,030 | 114,530 | 145,590 | 139,160 | 100,540 |
| K (kg kg ⁻¹) | 0,006 | 0,005 | 0,004 | 0,003 | 0,004 | 0,005 | 0,005 | 0,002 | 0,003 |
| R ² | 0,970 | 0,951 | 0,945 | 0,857 | 0,949 | 0,977 | 0,848 | 0,917 | 0,993 |
| $T_{1/2}$ (DAM) | 110 | 140 | 156 | 219 | 183 | 147 | 131 | 285 | 220 |

⁽¹⁾ Q_0 : fração do elemento potencialmente liberada; K: constante de liberação do elemento; R²: coeficiente de correlação; $T_{1/2}$: tempo de meia vida do elemento; DAM: dias após o manejo de corte das plantas. ⁽²⁾ T1: Pousio; T2: Crotalária; T3: Nabo forrageiro; T4: Braquiária (UR); T5: Crotalária + Nabo (CN); T6: UR com o dobro de sementes; T7: 25% de sementes de UR + 75% de sementes de CN; T8: 50% de sementes de UR + 50% de sementes de CN; T9: 75% de sementes de UR + 25% de sementes de CN. O símbolo "+" significa consórcio.

Tabela 9. Coeficientes da equação de regressão exponencial, $Q = Q_0 \exp(-kt)$ e tempo de meia-vida ($T_{1/2}$) da dinâmica de liberação de nitrogênio, fósforo e potássio na palhada de plantas de cobertura ao longo de 90 dias após o manejo de corte. Jataí-GO (2019).

| Coeficiente ⁽¹⁾ | T1 ⁽²⁾ | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 |
|------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Cálcio | | | | | | | | | |
| Q_0 (kg ha ⁻¹) | 22,960 | 22,180 | 45,150 | 24,970 | 57,450 | 21,150 | 45,700 | 40,610 | 25,690 |
| K (kg kg ⁻¹) | 0,007 | 0,004 | 0,008 | 0,005 | 0,007 | 0,003 | 0,005 | 0,004 | 0,005 |
| R ² | 0,751 | 0,905 | 0,980 | 0,900 | 0,967 | 0,918 | 0,988 | 0,981 | 0,686 |
| $T_{1/2}$ (DAM) | 97 | 180 | 87 | 143 | 95 | 218 | 142 | 170 | 148 |
| Magnésio | | | | | | | | | |
| Q_0 (kg ha ⁻¹) | 14,390 | 13,490 | 16,970 | 16,370 | 23,860 | 14,900 | 25,750 | 20,980 | 14,330 |
| K (kg kg ⁻¹) | 0,004 | 0,003 | 0,005 | 0,003 | 0,006 | 0,003 | 0,008 | 0,004 | 0,006 |
| R ² | 0,784 | 0,932 | 0,981 | 0,997 | 0,822 | 0,958 | 0,949 | 0,981 | 0,842 |
| $T_{1/2}$ (DAM) | 155 | 237 | 131 | 274 | 120 | 249 | 91 | 192 | 121 |
| Enxofre | | | | | | | | | |
| Q_0 (kg ha ⁻¹) | 12,770 | 12,510 | 15,230 | 12,960 | 19,350 | 11,370 | 18,260 | 16,290 | 12,110 |
| K (kg kg ⁻¹) | 0,008 | 0,004 | 0,006 | 0,005 | 0,005 | 0,003 | 0,005 | 0,003 | 0,005 |
| R ² | 0,751 | 0,919 | 0,986 | 0,842 | 0,902 | 0,737 | 0,894 | 0,833 | 0,916 |
| $T_{1/2}$ (DAM) | 89 | 187 | 109 | 142 | 145 | 266 | 136 | 246 | 141 |

⁽¹⁾ Q_0 : fração do elemento potencialmente liberada; K: constante de liberação do elemento; R²: coeficiente de correlação; $T_{1/2}$: tempo de meia vida do elemento; DAM: dias após o manejo de corte das plantas. ⁽²⁾ T1: Pousio; T2: Crotalária; T3: Nabo forrageiro; T4: Braquiária (UR); T5: Crotalária + Nabo (CN); T6: UR com o dobro de sementes; T7: 25% de sementes de UR + 75% de sementes de CN; T8: 50% de sementes de UR + 50% de sementes de CN; T9: 75% de sementes de UR + 25% de sementes de CN. O símbolo "+" significa consórcio.

Analisando os coquetéis vegetais que receberam as três espécies, constatou-se que quanto maior a proporção de sementes de braquiária, maior o $T_{1/2}$ do N. Já para os demais nutrientes, P, K, Ca, Mg e S, o mix contendo 50% de sementes de braquiária + 50% de sementes de crotalária/nabo foi o que propiciou os maiores $T_{1/2}$, de 120, 285 170, 192, 246 dias, respectivamente.

Conforme Espíndola et al. (2005) e Carvalho e Amabile (2006), o uso de mixes de vegetais evitam a perda de nutrientes. A participação da gramínea no consórcio com uma leguminosa e uma crucífera proporcionou uma melhor relação C/N concomitantemente a um bom incremento de N no sistema.

Os tratamentos que acumularam as maiores quantidades de N são o cultivo isolado da crotalária e do nabo, consórcio crotalária + nabo e os mixes com 25% de braquiária + 75% de crotalária/nabo e 50% de braquiária + 50% de crotalária/nabo. Tratam-se de cultivos com leguminosas, crucíferas e coquetéis vegetais que receberam espécies dessas Famílias em uma considerável proporção.

Os mesmos tratamentos foram responsáveis pelos maiores valores de constante de liberação “K” e os menores $T_{1/2}$. Tal fato deve-se ao elevado acúmulo de N verificado nesses tratamentos.

A alta disponibilidade de N favorece a atividade microbiana, o que acarreta em maior velocidade de decomposição da palhada (GAMA-RODRIGUES et al., 2007). A relação C/N é um dos principais fatores determinantes das taxas de decomposição dos resíduos vegetais e de liberação do N contido nesses resíduos (PARTON et al., 2007).

A degradação dos resíduos de gramíneas é consideravelmente mais lenta do que de leguminosas (SOUZA et al., 2015) e crucíferas (DONEDA et al., 2012). Ceretta et al. (2002), constaram que aos 30 dias após a dessecação do nabo forrageiro, 50% do N acumulado foi liberado pela palhada.

Conforme Doneda et al. (2012), a mistura de espécies de cobertura de solo de diferentes Famílias, gramíneas leguminosas e crucíferas, por exemplo, é uma eficiente alternativa para mitigar os fatores indesejáveis do cultivo isolado. Com uma relação C/N intermediária, tanto a velocidade da decomposição e da liberação dos nutrientes ocorrem de forma harmônica.

Tratando-se da braquiária, ao dobrar o número de sementes utilizadas no seu cultivo isolado, as constantes de decomposição “K”, os $T_{1/2}$ da fitomassa e dos

elementos N, P, Ca e S aumentaram (em duas vezes para os nutrientes) em comparação ao cultivo que recebeu a recomendação de sementes.

De acordo com Borghi e Crusciol (2007), em espécies forrageiras sob competição intraespecífica ocorre o alongamento de colmos na procura por radiação solar. Concomitantemente, ocorre a intensificação na produção hormonal que inibi o crescimento, impedindo o desenvolvimento das gemas meristemáticas, bem como a formação de novos perfilhos (MARCELINO et al., 2003).

Dessa forma, o mecanismo utilizado pelas plantas para não cessar o crescimento, trata-se da produção de esclerênquima e colênquima, que são tecidos mais lignificados que atuam na sustentação do vegetal e que possuem maior resistência à decomposição (PARIZ et al., 2010).

Para o K e o Mg não foram observados esses altos valores da constante de decomposição “K” e do $T_{1/2}$ devido ao fato do K ser um elemento que não é constituinte estrutural, encontrado como cátion livre, favorecendo sua rápida liberação nos resíduos vegetais, independente da espécie (TAIZ et al., 2017) e, semelhantemente, mais de 70% do Mg é encontrado de forma livre em suspensão celular (DECHEN & NACHTIGALL, 2007).

4.2. Análises no solo

Conforme o resumo da análise de variância (valor de F) para as características químicas do solo aos 120 dias após o manejo de corte das plantas de cobertura, observa-se que houve diferença significativa para o pH na camada de 0 – 10 cm do solo (Tabela 10).

O pH no solo das parcelas que receberam o milho e o consórcio crotalária/nabo ficaram no mesmo grupo e foram significativamente menores, ou seja, mais ácidos do que os demais tratamentos pertencentes a um segundo grupo (Tabela 11).

O pH mais ácido no solo que recebeu o consórcio crotalária/nabo pode ter ocorrido devido a maior absorção de cátions básicos e amônio do que os demais tratamentos, já que o consórcio crotalária/nabo se mostrou eficiente em acúmulo de N, K, Ca e Mg, o que contrabalanceia a liberação de H^+ pelas raízes (BAYER, 2009), acidificando o solo (ANDRADE et al., 2012).

Tabela 10. Resumo da análise de variância (valor de F) para os atributos químicos do solo após o manejo dos tratamentos. Jataí – GO (2019).

| FV | MOS | H+Al | Al | Ca | Mg | Ca+Mg | SB | CTC |
|--------|---------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | g kg ⁻¹ | cmol _c dm ⁻³ | | | | | | |
| Trat. | 0,203 ^{ns} | 0,631 ^{ns} | 0,651 ^{ns} | 0,289 ^{ns} | 0,234 ^{ns} | 0,247 ^{ns} | 0,121 ^{ns} | 0,137 ^{ns} |
| Blocos | 0,42 ^{ns} | 0,715 ^{ns} | 0,132 ^{ns} | 0,270 ^{ns} | 0,026* | 0,124 ^{ns} | 0,166 ^{ns} | 0,029* |
| Média | 39,270 | 7,481 | 0,102 | 2,017 | 0,726 | 2,740 | 2,960 | 10,440 |
| CV (%) | 9,250 | 4,630 | 32,280 | 12,460 | 14,680 | 12,410 | 12,240 | 3,700 |

| FV | pH | K | P | Cu | Fe | Mn | Zn |
|--------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | H ₂ O | mg dm ⁻³ | | | | | |
| Trat. | 0,004** | 0,423 ^{ns} | 0,219 ^{ns} | 0,888 ^{ns} | 0,721 ^{ns} | 0,596 ^{ns} | 0,453 ^{ns} |
| Blocos | 0,303 ^{ns} | 0,529 ^{ns} | 0,179 ^{ns} | 0,0004** | 0,001** | 0,008* | 0,057 ^{ns} |
| Média | 5,400 | 84,573 | 7,189 | 6,258 | 26,270 | 22,660 | 3,220 |
| CV (%) | 1,370 | 71,290 | 49,960 | 10,740 | 3,660 | 13,860 | 29,530 |

**, *, ns: significativo a 1 e 5% de probabilidade de erro e não significativo, respectivamente. FV: fonte de variação; Trat.: tratamentos; CV: Coeficiente de variação; MOS: Matéria orgânica do solo; Al: alumínio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; pH H₂O: potencial hidrogeniônico em água; K: potássio; P: fósforo; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Zn: zinco.

Tabela 11. Valores de pH do solo após o manejo dos tratamentos. Jataí – GO (2019).

| Tratamentos | pH (H ₂ O) |
|--|-----------------------|
| Pousio | 5,52 a* |
| <i>Crotalaria ochroleuca</i> | 5,44 a |
| <i>Raphanus sativus</i> L. | 5,40 a |
| <i>Urochloa ruziziensis</i> (UR) | 5,46 a* |
| <i>C. ochroleuca</i> + <i>R. sativus</i> L. (CN) | 5,27 b |
| <i>U. ruziziensis</i> (dobro de sementes) | 5,45 a* |
| 25% de sementes de UR + 75% de sementes de CN | 5,39 a |
| 50% de sementes de UR + 50% de sementes de CN | 5,38 a |
| 75% de sementes de UR + 25% de sementes de CN | 5,46 a* |
| <i>Zea mays</i> | 5,29 b |

O símbolo "+" significa consórcio. As médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo método Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. pH (H₂O): potencial hidrogeniônico em água. Médias seguidas por "*" na coluna se diferem da testemunha (*Zea mays*) a 5% de probabilidade de erro pelo teste Dunnett.

A acidificação do pH no solo em que houve o cultivo do milho segunda safra, como constatado por Almeida et al. (2008) e Rosa (2013), deve-se à prática de colheita do milho, promovendo a retirada de bases do sistema, o que favoreceu a redução no valor do pH. A produtividade de grãos foi de 10.178 kg ha⁻¹.

A partir do teste Dunnett ($p < 0,05$), o qual compara a testemunha (milho segunda safra) com os demais tratamentos um a um, observou-se que nos tratamentos com predomínio de gramíneas, sendo eles, pousio, braquiária com a recomendação de sementes e com o dobro e, o mix contendo maior proporção de braquiária, com 75% de sementes de braquiária + 25% de sementes do consórcio crotalária/nabo, o pH foi maior do que no solo que recebeu a testemunha.

Já nos tratamentos contendo o cultivo isolado da crotalária e do nabo, o consórcio crotalária/nabo, os mix com 25% de sementes de braquiária + 75% de sementes de crotalária/nabo e com 50% de sementes de braquiária + 50% de sementes de crotalária/nabo o pH do solo foi estatisticamente igual ao da testemunha.

A crotalária e o nabo são consideradas adubos verdes (LIMA et al., 2007; FARIA et al., 2004), ou seja, possuem capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico, apresentam sistema radicular profundo, alta produção de fitomassa e baixa relação C/N, liberando rapidamente os nutrientes acumulados.

De acordo com Aguilar e Diest (1981), as espécies usam o nitrogênio fixado simbioticamente, revelam um padrão de absorção alcalina, com consequente acidificação do meio. Em trabalho realizado por Faria et al. (2004) utilizando adubos verdes (crotalária e feijão de porco) e um tratamento testemunha (pousio), observou-se redução no pH do solo cultivado com os adubos verdes.

A microbiota do solo realiza constantemente o processo de decomposição dos resíduos vegetais das plantas de cobertura. Com isso, tem-se a liberação de ácidos orgânicos, dióxido de carbono e água, formando carbonato, que reage com os carbonatos de Ca e Mg no solo, produzindo bicarbonatos solúveis. Estes, são lixiviados, acidificando a camada superficial (LOPES, 1995).

As transformações de acidificação ou alcalinização do solo variam em função do equilíbrio entre os processos de mineralização com posterior nitrificação do nitrogênio orgânico que foi inserido no ambiente e sua associação e, especialmente, da oxidação dos ânions orgânicos incorporados (SILVEIRA et al., 2010).

O uso de plantas de cobertura tem grande contribuição em aumentar o teor da MOS, entretanto, apenas uma rotação de culturas não foi o suficiente para expressar

essa influência. De acordo com Rosa et al. (2017), o aumento no teor de MOS é muitas vezes lento, podendo levar anos e ocorre de maneira gradual.

Ainda que não tenha ocorrido diferenças no teor de MOS, a rotação de culturas com as plantas de cobertura melhora a sua composição, pois o solo não fica exposto durante a entressafra ou ausente de cobertura vegetal (CUNHA et al., 2005). Rosa (2013), observou melhorias na relação ácido húmico/ácido fúlvico após o manejo com plantas de cobertura o que refletiu em um aumento na CTC.

Conforme Meurer (2010), o aumento na CTC pela melhoria da MOS se deve à dissociação dos grupamentos funcionais existentes na fração húmica, principalmente carboxílicos (-COOH) e fenólicos (-OH), que possuem carga exposta negativa nas quais são balanceadas pelos cátions liberados na solução advindos dos resíduos vegetais, a partir de ligação eletrostática. Trata-se de uma ligação não específica (reversível), em que o cátion pode ser trocado por outro. Dessa forma, o solo possui um reservatório de elementos que são prontamente disponibilizados conforme a necessidade nutricional da cultura.

Apesar de não ter ocorrido diferença significativa ($p < 0,05$) nos teores de P, de acordo com Carneiro et al. (2004), os adubos verdes estimulam a disponibilidade de P nos solos por explorarem um maior volume de solo do que as culturas anuais e por estimular a ocorrência de microrganismos (bactérias, fungos e actinomicetos) envolvidos na liberação de enzimas que promovem a solubilização de fosfatos e a liberação de enzimas em exsudatos radiculares e durante a decomposição dos resíduos.

4.3. Análises na soja

Dentre os componentes fisiológicos, morfológicos, produtivos e produtividade de grãos avaliados, observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) apenas no índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI) (Tabela 13).

Os menores valores de NDVI ocorreram na soja semeada em sucessão ao cultivo isolado da braquiária tanto com a recomendação de sementes (0,83), quanto com o dobro (0,84) e ao mix de vegetais contendo a maior porcentagem de sementes de braquiária, com 75% da espécie e 25% do consórcio crotalária/nabo (0,85).

Os valores dos demais tratamentos se situaram entre 0,87 e 0,88, corroborando com os obtidos por Silva et al. (2015) na soja avaliada no mesmo estágio fenológico

(R1) em sucessão a plantas de cobertura. Conforme a cobertura vegetal e a cor verde se acentuam, o valor de NDVI também aumenta (LIRA et al., 2009). O NDVI demonstrou menor qualidade de palhada da braquiária para o crescimento inicial da cultura da soja, indicando que os demais tratamentos utilizando nabo forrageiro ou crotalária podem ser mais eficientes para o bom desempenho em ambientes que não são adequados para as exigências da cultura. Entretanto, as diferenças para essa variável não afetaram a produtividade de grãos.

No estudo de Brandt et al. (2006), também não foi constatada influência na soja pelo cultivo das coberturas de solo durante a entressafra, dentre elas, nabo forrageiro, ervilhaca, aveia preta, sorgo e pousio. Os autores observaram valores entre 73,50 e 83,50 cm para ALP e entre 16,25 e 19,5 para AIPV, corroborando com os do presente trabalho.

Conforme Mendonça et al. (2014), as características ALP e AIPV são avaliações relevantes no sistema que se utiliza colheita de grãos mecanizada. Pereira Júnior et al. (2010), sugerem que padrões ideais para a colheita devem ser próximos a 15 cm para AIPV e entre 0,80 a 0,96 m para a ALP. Os resultados do presente estudo são satisfatórios para evitar perdas em termos de produtividade de grãos por problemas durante a colheita das vagens (CHIODEROLI et al., 2012).

Os dados de AIPV, POPF e MMG foram semelhantes aos observados na cultivar DM 68i69 IPRO® por Borges et al. (2019), em estudo avaliando diferentes cultivares de soja em Andradina-SP, com valores de 14 cm, 290.738 plantas m⁻² e 14,31 g, respectivamente. Já a ALP e a PDG observada pelos autores foram inferiores, de 14,31 g e 2.539 kg ha⁻¹, respectivamente. Conforme Brandt et al. (2006), a altura da planta é fator determinante da biomassa seca acumulada pela soja e essas são características que dependem do genótipo e do ambiente e, interferem diretamente na produtividade de grãos.

A semeadura direta conciliada com a adição de resíduos vegetais provavelmente foram fatores responsáveis pela satisfatória POPF, o que levou à uma boa produtividade final. De acordo com Carvalho et al. (2004), o sistema de plantio direto proporciona um bom estande final de plantas devido a proteção do solo pela palhada durante o período entre a semeadura e emergência das plantas, impedindo o impacto das gotas de chuva sobre o solo, o que pode tanto levar ao processo de erosão quanto à formação de uma crosta superficial no solo, que são fatores que podem acarretar na morte das sementes.

Tabela 13. Índice de clorofila Falker (ICF), índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI); população final de plantas (POPF); altura de plantas (ALP); altura de inserção de primeira vagem (AIPV); diâmetro de haste (DH); número de grãos por planta (NGP); número de grãos por vagem (NGV); número de vagens por planta (NVP); massa de mil grãos (MMG); produtividade de grãos (PDG) da soja sob palhada do milho (T10), pousio (T1) e plantas de cobertura (T2 – T9), cultivadas de forma isolada ou consorciadas. Jataí – GO (2020).

| Trat. ⁽¹⁾ | ICF | NDVI | POPF | ALP | AIPV | DH | NGP | NGV | NVP | MMG | PDG |
|----------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | SPAD | | Plantas m ⁻¹ | cm | cm | mm | | | | g | kg ha ⁻¹ |
| T1 | 39,10 | 0,88 a ⁽²⁾ | 276.543,00 | 83,00 | 14,82 | 6,30 | 104,85 | 2,60 | 40,32 | 17,85 | 4.630,80 |
| T2 | 38,98 | 0,88 a | 287.037,00 | 82,00 | 15,10 | 6,47 | 106,47 | 2,64 | 40,10 | 18,19 | 4.503,00 |
| T3 | 38,65 | 0,87 a | 292.592,00 | 81,00 | 14,07 | 6,43 | 109,32 | 2,59 | 42,07 | 17,88 | 4.744,80 |
| T4 | 39,50 | 0,83 b | 296.913,00 | 77,00 | 15,10 | 6,45 | 119,05 | 2,75 | 43,32 | 17,58 | 4.646,40 |
| T5 | 38,61 | 0,87 a | 269.135,00 | 80,00 | 14,22 | 6,50 | 105,67 | 2,58 | 41,05 | 16,30 | 4.300,20 |
| T6 | 39,36 | 0,84 b | 275.925,00 | 75,00 | 16,20 | 6,75 | 128,80 | 2,75 | 47,19 | 17,02 | 4.519,80 |
| T7 | 39,01 | 0,87 a | 248.148,00 | 80,00 | 15,75 | 6,45 | 105,22 | 2,71 | 38,70 | 15,98 | 4.059,60 |
| T8 | 38,61 | 0,88 a | 287.037,00 | 81,00 | 15,22 | 6,39 | 109,30 | 2,69 | 40,60 | 17,97 | 4.168,80 |
| T9 | 38,86 | 0,87 a | 284.567,00 | 81,00 | 14,90 | 6,72 | 117,37 | 2,58 | 45,85 | 17,70 | 4.703,40 |
| T10 | 38,85 | 0,85 b | 277.777,00 | 79,00 | 15,22 | 6,29 | 121,22 | 2,61 | 46,22 | 17,54 | 4.263,00 |
| P (valor) | 0,930 ^{ns(3)} | 0,035* | 0,68 ^{ns} | 0,116 ^{ns} | 0,052 ^{ns} | 0,591 ^{ns} | 0,394 ^{ns} | 0,545 ^{ns} | 0,589 ^{ns} | 0,319 ^{ns} | 0,421 ^{ns} |
| CV% | 2,05 | 2,62 | 11,62 | 4,42 | 5,48 | 5,17 | 14,05 | 5,60 | 15,19 | 7,65 | 10,47 |

⁽¹⁾ Trat.: tratamento; T1: Pousio; T2: Crotalaria; T3: Nabo forrageiro; T4: Braquiária (UR); T5: Crotalaria + Nabo (CN); T6: UR com o dobro de sementes; T7: 25% de sementes de UR + 75% de sementes de CN; T8: 50% de sementes de UR + 50% de sementes de CN; T9: 75% de sementes de UR + 25% de sementes de CN; T10: milho segunda safra O símbolo "+" significa consórcio. ANOVA: análise de variância; CV%: coeficiente de variação. ⁽²⁾ As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si na coluna pelo método Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. ⁽³⁾ *, ns: significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro, respectivamente.

Quanto à produtividade de grãos de soja após o manejo dos tratamentos, foram obtidas médias entre 4.079 e 4.744 kg ha⁻¹, superiores à média de produtividade no município de Jataí na safra 2018/19, de 3.600,00 kg ha⁻¹ (DORIGATTI, 2019) e à média do Estado, de 3.571,00 kg ha⁻¹ (IBGE, 2020). Nos trabalhos de Fabian (2009), Pacheco et al. (2011a) e Valicheski et al. (2012), também houve ausência da influência do manejo com plantas de cobertura na produtividade da soja. O mesmo foi observado por Rosa (2013) na cultura do milho. Já Balbinot Júnior et al. (2017), verificaram que o cultivo de braquiárias aumentou a produtividade de grãos de soja em sucessão, em comparação ao pousio. No trabalho de Torres (2003), maiores produtividades de milho foram obtidas em sucessão à leguminosas, o mesmo foi observado na soja em sucessão a gramíneas.

A ausência de influência das formas de manejo nos componentes avaliados na soja pode ser atribuída à fertilidade construída do solo, que vem sendo cultivado em semeadura direta há muitos anos e que possui um bom teor de MO. Outro fator que também deve ser levado em consideração é o de ter realizado o estudo em apenas um ano agrícola. Provavelmente, adotar o manejo sistemático de rotação de culturas com coberturas vegetais ao longo dos anos poderá ser observado efeito na cultura comercial, como verificado por Debiasi et al. (2013).

A partir do teste Dunnett ($p < 0,05$), constatou-se que os componentes fisiológicos, morfológicos, produtivos e produtividade de grãos da soja cultivada em sucessão às plantas de cobertura e ao pousio não se diferiram do cultivo do milho segunda safra (testemunha) (Tabela 14).

Os teores de P e K na análise de solo anterior às plantas de cobertura são considerados baixos e médios, respectivamente, para o cultivo da soja na região do Cerrado (RIBEIRO et al., 1999), com isso, realizou-se a adubação de base com 400 kg ha⁻¹ do formulado 02-20-18, que contém a quantidade satisfatória de minerais para o bom desempenho da soja, seguindo a recomendação de Souza e Lobato (2004).

Na literatura constam trabalhos utilizando plantas de cobertura antecessoras à cultura da soja que receberam a mesma recomendação de adubação do presente estudo e que não foram observadas diferenças nos componentes morfológicos, produtivos e produtividade de grãos avaliados na soja (PACHECO et al., 2011b; PACHECO et al., 2013; CREMONEZ, 2018). Provavelmente a adubação de base com 400 kg ha⁻¹ do formulado 02-20-18 mitigou os efeitos benéficos das coberturas vegetais.

Tabela 14. Índice de clorofila Falker (ICF), índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI); população final de plantas (POPF); altura de plantas (ALP); altura de inserção de primeira vagem (AIPV); diâmetro de haste (DH); número de grãos por planta (NGP); número de grãos por vagem (NGV); número de vagens por planta (NVP); massa de mil grãos (MMG); produtividade de grãos (PDG) da soja cultivada sob palhada de milho (TS – testemunha), pousio (T1) e plantas de cobertura (T2 ao T9). Jataí – GO (2020).

| Trat. ⁽¹⁾ | ICF | NDVI | POPF | ALP | AIPV | DH | NGP | NGV | NVP | MMG | PDG |
|----------------------|-------|------|-------------------------|-------|-------|------|--------|------|-------|-------|---------------------|
| | SPAD | | Plantas m ⁻¹ | cm | cm | mm | | | | g | kg ha ⁻¹ |
| TS | 38,85 | 0,85 | 277.777,00 | 83,00 | 15,22 | 6,29 | 121,22 | 2,61 | 46,22 | 17,54 | 4.263,00 |
| T1 | 39,10 | 0,88 | 276.543,00 | 82,00 | 14,82 | 6,30 | 104,85 | 2,60 | 40,32 | 17,85 | 4.630,80 |
| T2 | 38,98 | 0,88 | 287.037,00 | 81,00 | 15,10 | 6,47 | 106,47 | 2,64 | 40,10 | 18,19 | 4.503,00 |
| T3 | 38,65 | 0,87 | 292.592,00 | 77,00 | 14,07 | 6,43 | 109,32 | 2,59 | 42,07 | 17,88 | 4.744,80 |
| T4 | 39,50 | 0,83 | 296.913,00 | 80,00 | 15,10 | 6,45 | 119,05 | 2,75 | 43,32 | 17,58 | 4.646,40 |
| T5 | 38,61 | 0,87 | 269.135,00 | 75,00 | 14,22 | 6,50 | 105,67 | 2,58 | 41,05 | 16,30 | 4.300,20 |
| T6 | 39,36 | 0,84 | 275.925,00 | 80,00 | 16,20 | 6,75 | 128,80 | 2,75 | 47,19 | 17,02 | 4.519,80 |
| T7 | 39,01 | 0,87 | 248.148,00 | 81,00 | 15,75 | 6,45 | 105,22 | 2,71 | 38,70 | 15,98 | 4.059,60 |
| T8 | 38,61 | 0,88 | 287.037,00 | 81,00 | 15,22 | 6,39 | 109,30 | 2,69 | 40,60 | 17,97 | 4.168,80 |
| T9 | 38,86 | 0,87 | 284.567,00 | 79,00 | 14,90 | 6,72 | 117,37 | 2,58 | 45,85 | 17,70 | 4.703,40 |
| DMS | 1,94 | 0,04 | 62.546,00 | 0,08 | 1,86 | 0,55 | 28,25 | 0,26 | 10,78 | 1,07 | 777,60 |

⁽¹⁾ Trat.: tratamento; TS: testemunha - milho segunda safra; T1: Pousio; T2: Crotalária; T3: Nabo forrageiro; T4: Braquiária (UR); T5: Crotalária + Nabo (CN); T6: UR com o dobro de sementes; T7: 25% de sementes de UR + 75% de sementes de CN; T8: 50% de sementes de UR + 50% de sementes de CN; T9: 75% de sementes de UR + 25% de sementes de CN. O símbolo “+” significa consórcio. DMS: diferença mínima significativa. ⁽²⁾ Médias seguidas por “*” na coluna se diferem da testemunha a 5% de probabilidade de erro pelo teste Dunnett.

A rotação de culturas em apenas uma entressafra não foi suficiente para influenciar o potencial produtivo da cultura comercial em sucessão. Ainda assim, todas as espécies escolhidas possuem potencial para serem incluídas no sistema de rotação de culturas, pois não afetaram de forma negativa o rendimento produtivo da soja. De acordo com Hungria e Stacey (1997), a rotação de culturas beneficia a associação simbiótica da soja com microrganismos que participam na fixação biológica do N atmosférico a partir dos nódulos no sistema radicular, contribuindo com o aumento no rendimento produtivo dessa cultura.

Na literatura há relatos de que quando o milho que não recebeu adubação foi cultivado em sucessão ao nabo forrageiro e leguminosas que acumularam consideráveis teores de N, a produtividade de grãos foi igual ao milho que recebeu adubação de cobertura de N. Isso mostra que os elementos liberados pelos resíduos culturais a partir da ciclagem podem suprir a demanda nutricional da cultura do milho (LÁZARO et al., 2013; ALBUQUERQUE et al., 2013).

Conforme Suzuki e Alves (2006), as contribuições advindas das plantas de cobertura pela rotação de culturas são atribuídas a) à manutenção de umidade no solo, pela diminuição da evaporação da água devido a cobertura pelos resíduos vegetais; b) aos agentes cimentantes (ácido poliurônico) liberados pelos microrganismos decompositores durante o processo de estabilização da matéria orgânica em frações húmicas, o que está associado a formação dos macroagregados; c) distribuição da porosidade do solo, principalmente pelos macroagregados que formam os macroporos, o que contribui para a infiltração da água no solo; d) redução na resistência mecânica do solo à penetração, a partir da melhoria na porosidade do solo.

Dessa forma, é de grande importância a condução de novos trabalhos à longo prazo que tenham como objetivo avaliar a ausência e a presença de adubação na cultura da soja cultivada em sucessão ao milho segunda safra e às plantas de cobertura cultivadas de forma isolada ou consorciadas de diferentes Famílias, Poaceae, Fabaceae e Brassicaceae, que visem também, caracteres econômicos do sistema.

5. CONCLUSÕES

O cultivo isolado ou consorciado de plantas de cobertura produz biomassa em quantidades adequadas para a boa manutenção da cobertura vegetal e acumula altos teores de N, P, K, Ca, Mg e S, o que se traduz em uma boa ciclagem de nutrientes. Caso o ambiente esteja propício ao bom desempenho agrônomo da cultura em sucessão, no caso, a soja, as plantas de cobertura não influenciam os componentes morfológicos, produtivos e produtividade da soja, apenas o seu NDVI no estágio R1. Isso permite a escolha da cultura antecessora de acordo com a facilidade de manejo, retorno econômico e maior possibilidade de benefícios agrônômicos ao longo do tempo.

A crotalária possui alta capacidade de ciclagem de N e K e, o nabo forrageiro e o consórcio com 50% de Braquiária + 50% de crotalária/nabo, de N, P e K. O consórcio entre crotalária e nabo é o manejo que acumula os maiores teores de N, P, K, Ca, Mg e S e, tempos de meia vida de N e K maiores do que o cultivo isolado de ambas.

Consórcios que incluam o nabo forrageiro são uma boa composição por proporcionar persistência intermediária da cobertura do solo, elevado acúmulo nutricional e liberação gradual dos nutrientes com potencial benefícios à cultura sucessora.

O cultivo consorciado com a proporção de sementes de 25% de braquiária + 75% de crotalária/nabo confere um bom acúmulo de biomassa e de macronutrientes, atua de forma rápida em ciclagem de nutrientes e possui boa persistência da palhada, além de diversificar o número de espécies no ambiente.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de massa seca da vegetação espontânea e das plantas de cobertura (*Crotalaria ochroleuca*, *Raphanus sativus* e *Urochloa ruziziensis*) cultivadas de forma isolada ou consorciadas em diferentes proporções de semeadura durante a entressafra são satisfatórias para a manutenção da cobertura vegetal, bem como suas respectivas taxas de decomposição e tempos de meia vida, que se situam entre 106 e 337 dias, sendo promissoras para a rotação de culturas no sistema de plantio direto no sudoeste goiano.

O N e o K são os nutrientes acumulados em maiores quantidades na massa seca das plantas de cobertura e da vegetação espontânea.

O cultivo da Braquiária com o dobro de sementes proporciona elevado tempo de meia vida, de 337 dias para a palhada e acima de 200 dias para N, P, Ca, Mg e S.

A vegetação espontânea com predomínio de gramíneas e a Braquiária apresentam comportamento semelhante em termos de produção de massa seca, acúmulo nutricional e seus respectivos tempos de meia vida.

O pH do solo em que se cultiva o milho para a colheita de grãos é mais ácido quando comparado com a vegetação espontânea, a braquiária isolada, tanto com a recomendação de sementes, quanto com o seu dobro e o mix em que predomina a braquiária, com 75% de suas sementes e 25% do consórcio crotalária/nabo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, J. A. de A.; AMADO, T. J. C.; SILVA, L. S. da; SANTI, A.; WEBER, M. A. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, 2014. ISSN 0103-8478 versão online. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/2014nahead/a12214cr2012-0827.pdf>>. Acesso em: 19 de abril de 2020.

AGUILAR, S. A.; DIEST, A. VAN. Rock-phosphate mobilization induced by the alkaline pattern of legumes utilizing symbiotically, fixed nitrogen. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 61, p.27-42, 1981.

AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M. R.; DALMILIN, R. S. D. (Coord.). **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria: UFSM, p. 76-111, 1997.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 601-612, 2003.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; CERETTA, C. A. Decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais de adubos verdes. In: LIMA FILHO, O. F. de; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**. Brasília: Embrapa Agropecuária Oeste, v. 1, p. 226-264, 2014.

ALBUQUERQUE, A. W. de; SANTOS, J. R.; MOURA FILHO, G.; REIS, L. S. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 7, p. 721– 726, 2013.

ALMEIDA, V. P. de; ALVES, M. C.; SILVA, E. C. da; OLIVEIRA, S. A. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em Latossolo Vermelho de Cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1227-1237, 2008.

ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G. DE; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Johannesstr, 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 no solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 241- 248, 2002.

AMBROSANO, E. J.; GUIRADO, N.; CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; MENDES, P. C. D.; ROSSI, F.; AMBROSANO, G. M. B.; ARÉVALO, R. A.; SCHAMMAS, E. A.; ARCARO JÚNIOR, I.; FOLTRAN, D. E. **Plantas para cobertura do solo e adubação verde aplicadas ao plantio direto**. Piracicaba: POTAFÓS, 2005, 16 p. (Encarte técnico, n. 112).

AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; GUIRADO, N.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMAS, E. A.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O.; CAMARGO, L. F. de; MOTA, B. Desempenho de adubos verdes consorciados com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 2, p. 413-417, 2009.

AMBROSANO, E. J.; CANTARELLA, H.; ROSSI, F.; SCHAMMAS, E. A.; SILVA, E. C. da; AMBROSANO, G. M. B.; DIAS, F. L. F.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T. Desempenho de adubos verdes e da primeira soqueira de cana-de-açúcar cultivados consorciadamente. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 3, p. 80-90, 2013.

ANDRADE, A. P.; MAFRA, Á. L.; PICOLLA, C. D.; ALBUQUERQUE, J. A.; BERTOL, I. Atributos químicos de um Cambissolo Húmico após 12 anos sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 5, p. 814-821, 2012.

ARAÚJO, F. C.; NASCENTE, A. S.; GUIMARÃES, J. L. N.; SOUSA, V.; SILVA, M. Cultivo de plantas de cobertura na produção de biomassa de plantas daninhas. In: Congresso Brasileiro De Arroz Irrigado, 2019, Balneário Camboriú. **Anais [...]** Balneário Camboriú - SC: Epagri/ Sosbai, 2019.

BALBINOT JÚNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; YOKOYAMA, A. H. Contribuição de raízes e parte aérea de espécies de braquiárias no desempenho da soja em sucessão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 52, n. 8, p. 592-598, 2017.

BALOTA, E.; CALEGARI, A.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Benefits of winter cover crops and no-tillage for microbial parameters in a Brazilian Oxisol: A long-term study. **Agriculture, ecosystems & environment**, Amsterdam, v. 197, p. 31-40, 2014.

BARBOSA, C. E. M.; LAZARINI, E.; PICOLI, P. R. F.; FERRARI, S. Plantas de cobertura em região de inverno seco para semeadura direta de soja. **Científica**, Jaboticabal, v. 39, n. 1/2, p. 52-64, 2011.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda. 2015.

BAYER, C.; LOVATO, T.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. **Soil & Tillage Research**, Kiel, v. 91, n. 1/2, p. 217-226, 2006.

BAYER, C. Química de solos em plantio direto. In: FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C. (Ed.). **Manejo e fertilidade de solo em plantio direto**. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, p. 7-29, 2009.

BAYON, R. C. L.; WEISSKOPF, L.; MARTINOIA, E.; JANSÁ, J.; FROSSARD, E.; KELLER, F.; FÖLLMI, K. B.; GOBAT, J. M. Soil phosphorus uptake by continuously cropped *Lupinus albus*: A new microcosm design. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 283, n. 1/2, p. 309–321, 2006.

BETTIOL, J. V. T.; PEDRINHO, A.; MERLOTI, L. F.; BOSSOLANI, J. W.; DE SÁ, M. E. Plantas de cobertura, utilizando *Urochloa ruziziensis* solteira e em consórcio com leguminosas e seus efeitos sobre a produtividade de sementes do feijoeiro. **Uniciências**, Cuiabá, v. 19, n. 1, p. 3-10, 2015.

BOER, C. A.; ASSIS, R. L. de; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. de L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 2, p. 843-851, 2008.

BORGES, W. L. B.; FREITAS, R. S.; MATEUS, G. P.; SÁ, M. E.; ALVES, M. C. Supressão de plantas daninhas utilizando plantas de cobertura do solo. **Planta daninha**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 755-763, 2014.

BORGES, W.; SOUZA, D. D. J.; RODRIGUES, D. D. S.; RIOS, R. D. M. **Cobertura do solo, acúmulo de biomassa e de nutrientes em leguminosas para uso como adubo verde**. Macapá: Embrapa Amapá, 2018, 22 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 105).

BORGES, W. L. B.; HIPÓLITO, J. L.; TOKUDA, F. S.; MATEUS, G. P.; BÁRBARO-TORNELI, I. M.; FINOTO, E. L.; UNÊDA-TREVISOLI, S. H.; CAZENTINI FILHO, G.; FREITAS, R. S. de; GASPARINO, A. C.; LEÃO, P. C. da L. Avaliação regional de cultivares de soja no estado de São Paulo-safra 2018/19. **Nucleus**, Ituverava, edição especial, p. 41-62, 2019.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Braquiária brizantha* em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 163-171, 2007.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; MATEUS, G. P.; NASCENTE, A. S.; MARTINS, P. O. Intercropping time of corn and palisadegrass or guineagrass affecting grain yield and forage production. **Crop Science**, Madison, v. 53, n. 2, p. 629-636, 2013.

BRANDT, E. A.; SOUZA, L. C. F. de; VITORINO, A. C. T.; MARCHETTI, M. E. Desempenho agrônomo de soja em função da sucessão de culturas em sistema de plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 869-874, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 395 p.

CABRERA, M. L.; KISSEL, D. E.; VIGIL, M. F. Nitrogen mineralization from organic residues: Research opportunities. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 34, n. 1, p. 75-79, 2005.

CALEGARI, A. **Plantas de cobertura e rotação de culturas no sistema de plantio direto**. Piracicaba: POTAFÓS, p. 18-21, 2008. (Encarte técnico, 122).

CALEGARI, A. Perspectivas e estratégias para a sustentabilidade e o aumento da biodiversidade dos sistemas agrícolas com o uso de adubos verdes. In: LIMA FILHO, O. F. de; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F. (Ed.). **Adubação Verde e plantas de cobertura no Brasil**, v. 1, p. 19-36, 2014.

CALONEGO, J. C.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2183-2190, 2011.

CARNEIRO, R. G.; MENDES, I. de C.; LOVATO, P. E.; CARVALHO, A. M. de; VIVALDI, L. J. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 661-669, 2004.

CARPIM, L.; ASSIS, R. L. de; BRAZ, A. J. B. P.; SILVA, G. P.; PIRES, F. R.; PEREIRA, V. C.; GOMES, G. V.; SILVA, A. G. da. Liberação de nutrientes pela palhada de milheto em diferentes estádios fenológicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. especial, p. 2813- 2819, 2008.

CARVALHO, M. A. C. de; ATHAYDE, M. L. F.; SORATTO, R. P.; ALVES, M. C.; ARF, O. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1141-1148, 2004.

CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. Plantas condicionadoras de solo: Interações edafoclimáticas, uso e manejo. In: CARVALHO, A.M.; AMABILE, R.F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde**. Brasília, Embrapa Cerrados, p.143-170, 2006.

CARVALHO, A. M. de. Plantio direto e plantas de cobertura em agroecossistemas do Cerrado. In: PARRON, L. M.; AGUIAR, L. M. de S.; DUBOC, E.; OLIVEIRA-FILHO, E. C.; CAMARGO, A. J. A. de; AQUINO, F. de G. (Ed.). **Cerrado: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável**. Planaltina, Embrapa Cerrados, p. 229- 262, 2008.

CARVALHO, A. M. de; BUSTAMANTE, M. M. da C.; SOUSA JUNIOR, J. G. de A.; VIVALDI, L. J. Decomposição de resíduos vegetais em Latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. especial, p. 2831-2838, 2008.

CARVALHO, A. M. de; SOUZA, L. L. P. de; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; ALVES, P. C. A. C.; VIVALDI, L. J. Cover plants with potential use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1200-1205, 2011.

CASALI, C. A.; TIECHER, T.; KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R. dos; CALEGARI, A.; PICCIN, R. Benefícios do uso de plantas de cobertura de solo na ciclagem de fósforo. In: TIECHER, T. (Ed.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**, Porto Alegre-RS, UFRGS, p. 23-33, 2016.

CASTRO, G. F.; SILVA, C. G. M.; MOREIRA, S. G.; RESENDE, Á. V. de. Cover crops in succession to corn for silage in cerrado conditions. **Journal of bioenergy and food science**, Macapá, v. 4, n. 1, p. 37-49, 2017.

CECCON, G.; RIBEIRO, L. M.; PRATA, J. J. T. M.; SOUZA, D. F.; VERONEZI, S. D. F. Massa de *Braquiária ruziziensis* para cobertura do solo com e sem aplicação de *Azospirillum brasiliense* nas sementes. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 2014, Bonito, MS. **Anais [...]** Embrapa Agropecuária Oeste, 2014.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; HERBES, M. G.; POLETO, N.; SILVEIRA, M. J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 49-54, 2002.

CESAR, M. N. Z. **Desempenho de Leguminosas para Adubação Verde e sua Utilização no Cultivo Orgânico de Milho e Repolho no Cerrado de Mato Grosso do Sul**. 2009, 114 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro, Seropédica, 2009.

CESAR, M. N. Z.; GUERRA, J. G. M.; RIBEIRO, R. D. L. D.; URQUIAGA, S. S. C.; PADOVAN, M. P. Performance de adubos verdes cultivados em duas épocas do ano no Cerrado do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Agroecologia [online]**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2, 2011. Disponível em: <<http://revistas.abagroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/article/view/10410/0>>. Acesso em: 19 de abril de 2020.

CHRISTENSEN, B.T. Wheat and barley straw decomposition under field conditions: effect of soil type and plant cover on weight loss, nitrogen and potassium content. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 17, n. 5, p. 691-697, 1985.

CHIODEROLI, C. A.; SILVA, R. P. da; NORONHA, R. H. de F.; CASSIA, M. T.; SANTOS, E. P. dos. Perdas de grãos e distribuição de palha na colheita mecanizada de soja. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 1, p. 112-121, 2012.

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2019/20 - Décimo levantamento**, Brasília, v. 7, n. 10 p. 1-32, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 04 de agosto de 2020.

COSTA, M. B. B. (Coord). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: ASPTA, 346 p., 1993.

COSTA, M. D.; LOVATO, P. E. Fosfatases na dinâmica do fósforo do solo sob culturas de cobertura com espécies micorrízicas e não micorrízicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 603–605, 2004.

COSTA, M. S. S. de M.; STEINER, F.; COSTA, L. A. de M.; CASTOLDI, G.; PIVETTA, L. A. Nutrição e produtividade da cultura do milho em sistemas de culturas e fontes de adubação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 2, p. 249-255, 2011.

COSTA, M. J. N. Nematoides: consorciação e rotação de culturas. In: PATERNIANI, M. E. A. G.; DUARTE, A. P.; TSUNECIRO, A. (Ed.). **Diversidade e inovações na cadeia produtiva de milho e sorgo na era dos transgênicos**. Campinas: Instituto Agrônomo, Associação Brasileira de Milho e Sorgo, p. 367-378. 2012.

COSTA, C. H. M. da; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; FERRARI NETO, J. Persistência e liberação de macronutrientes e silício da fitomassa de crotalária em função da fragmentação. **Bioscience journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 384-394, 2012.

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

CREMONEZ, F. E. **Uso de plantas de cobertura na entressafra de milho e soja**. 74 p., 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2018.

CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. do V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 161-168, 2005.

CRUSCIOL, C. A. C.; ARTIGIANI, A. C. C. A.; ARF, O.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; SORATTO, R. P.; NASCENTE, A. S.; ALVAREZ, R. C. F. Soil fertility, plant nutrition, and grain yield of upland rice affected by surface application of lime, silicate, and phosphogypsum in a tropical no-till system. **Catena**, Amsterdam, v. 137, p. 87–99, 2016.

CRUZ, C. D. **Programa genes: aplicativo computacional em genética e estatística, Versão Windows**, 2013. Viçosa, MG, UFV, 2013.

CUNHA, T. J. F.; CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. de A.; RIBEIRO, L. P. Fracionamento da matéria orgânica humificada de solos brasileiros. In: CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. (Ed.). **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. UENF, p. 54-80, 2005. Disponível em: <<http://www.uenf.br/Uenf/Pages/CCTA/Lsol/>>. Acesso em: 20 de abril de 2020.

DAMASCENO, L. A. **Crescimento e períodos de decomposição de plantas de cobertura e seus efeitos sobre a supressão de plantas infestantes no Amazonas**.

55 p., 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Do Amazonas, Manaus, 2013.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; CONTE, O.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; OLIVEIRA, M. C. N. **Sistemas de preparo do solo: trinta anos de pesquisas na Embrapa Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2013, 72 p. (Documentos, n. 342).

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; DIAS, W. P.; RAMOS JUNIOR, E. U.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Práticas culturais na entressafra da soja para o controle de *Pratylenchus brachyurus*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 10, p. 1720-1728, 2016.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, SBCS, p. 91-132, 2007.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos essenciais e benéficos às plantas superiores. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. de; SANTOS, L. A. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, SBCS, p. 3-7, 2018.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; DENARDIN, N.; WIETHOLTER, S. **Diretrizes do Sistema Plantio Direto no contexto da agricultura conservacionista**. Passo Fundo, Embrapa Trigo, 2012, 15 p. (Documentos online, n. 141).

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. 2º Ed. Londrina, IAPAR, 72 p., 1992.

DINIZ, J. F.; OLIVEIRA, J. T. de; BORGES, M. C. R. Z.; NOGUEIRA, K. B.; ROQUE, C. G. Decomposição da palhada de *Urochloa ruziziensis* em diferentes sistemas de semeadura e correção do solo. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 370-380, 2019.

DOMIT, L. A.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. C.; HIGASHIBARA, L. R.; DALBOSCO, M.; MARIANO, D. de C.; ZORZENONI, T. O.; GUIMARÃES, M. de F. Tempo de adoção do sistema plantio direto e a relação com atributos do solo. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 7, n. 26, p. 560-569, 2014.

DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; MIOLA, E. C. C.; GIACOMINI, D. A.; SCHIRMANN, J.; GONZATTO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1714-1723, 2012.

DONMARIO Sementes. **DM 68i69 IPRO**. 2019. Disponível em: <<https://www.donmario.com/pt-br/cultivares-cerrado/>>. Acesso em 01 de outubro de 2019.

DORIGATTI, G. **Jataí encerra colheita da soja com 60 sacas de média; expectativa é boa para milho safrinha.** 2019.

Disponível em: <<https://www.noticiasagricolas.com.br/videos/soja/231582-jatai-encerra-colheita-da-soja-com-60-sacas-de-media-expectativa-e-bona-para-milho-safrinha.html#.XpHjjvhKjIU>>. Acesso em 11 de abril de 2020.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solo.** 3º Ed. Brasília, Embrapa, 574 p., 2017.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 5º Ed. Brasília, DF: Embrapa, 356 p., 2018.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L. de; ABOUD, A. D. de S. **Adubação verde com leguminosas.** Seropédica, Embrapa Agrobiologia, 2005, 40 p. (Coleção saber, n. 5).

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de; TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 321-328, 2006.

FABIAN, A. J. **Plantas de cobertura: efeito nos atributos do solo e na produtividade de milho e soja em rotação.** 2009, 99 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2009.

FARIA, C. M. B.; SOARES, J. M.; LEÃO, P. C. S. Adubação verde com leguminosas em videira no submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n. 4, p. 641- 648, 2004.

FERREIRA, A. D. B.; BOGIANI, J. C.; SOFIATTI, V.; LAMAS, F. M. **Sistemas de cultivo de plantas de cobertura para a semeadura direta do algodoeiro.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2016, 15 p. (Comunicado Técnico, n. 377).

FERREIRA, J. B. G. F. **Rendimento de culturas agrícolas e decomposição de palhada em sistemas integrados de produção.** 2019, 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia, Rio Verde-GO, 2019.

FLOSS, E. Benefícios da biomassa de aveia ao sistema de semeadura direta. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 57, n. 1, p. 25-29, 2000.

FREITAS, D. A. F. de; SILVA, M. L. N.; CASTRO, N. E. A. de; CARDOSO, D. P.; DIAS, A. C.; CARVALHO, G. J. de. Modelagem da proteção do solo por plantas de cobertura no sul de Minas Gerais. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 6, n. 2, p. 117-123, 2012.

GAMA-RODRIGUES, A. C. da; GAMA-RODRIGUES, E. F. da; BRITO, E. C. de. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura

em Argissolo Vermelho-Amarelo na região Noroeste Fluminense (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1421-1428, 2007.

GARCIA, R. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Potassium cycling in a corn-Braquiária cropping system. **European Journal of Agronomy**, Cidade, v. 28, n. 4, p. 579-585, 2008.

GARCIA, R. A.; STAUT, L. A. **Como inserir crotalária em sistemas de produção de grãos**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2018, 12 p. (Circular técnica, n. 44).

GAZZONI, D. L. Como alimentar 10 bilhões de cidadãos na década de 2050?. **Ciência cultural**, São Paulo, v. 69, n. 4, p. 33-38, 2017.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VEDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 325-334, 2003a.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; HÜBNER, A. P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E.; AMARAL, E. B. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1097-1104, 2003b.

GONÇALVES, S. L.; SARAIVA, O. F.; FRANCHINI, J. C.; TORRES, E. **Decomposição de resíduos de aveia e trigo em função do tempo e do manejo do solo**. Londrina: Embrapa Soja, 2010, 22 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 4).

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G. **Cerrado: O que vem sendo realmente praticado**. A Granja, n. 795, p. 71-73, 2015.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 145-154, 1999.

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C. Conceitos. In: SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. (Ed.). **Sistema Plantio Direto. O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 1998, 248 p. (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas).

HUNGRIA, M. da C.; STACEY, G. Molecular signals exchanged between host plants and rhizobia: basic aspects and potential application in agriculture. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 29, n. 5-6, p. 819-830, 1997.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **IBGE prevê safra recorde de grãos em 2020**. 2020. Disponível em: <http://fazenda.gov.br/centrais-de-conteudos/publicacoes/conjuntura-economica/agricola/2020-02-19_relatorio-lspa.pdf/@@download/file/2020.02.19_Relat%C3%B3rio%20LSPA.pdf>. Acesso em 16 de abril de 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Dados Históricos**, 2019. Disponível em:<<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 20 de setembro de 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Dados Históricos**, 2020. Disponível em:<<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 03 de abril de 2020.

KLUTHCOUSKI, J. **Efeito de manejo em alguns atributos de um Latossolo roxo sob cerrado e nas características produtivas de milho, soja. Arroz e feijão, após oito anos de plantio direto**. 1998, 179 f. Tese (Doutorado em Solos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

KUNZE, A.; COSTA, M. D.; EPPING, J.; LOFFAGUEN, J. C.; SCHUH, R.; LOVATO, P. E. Phosphatase activity in sandy soil influenced by mycorrhizal and non-mycorrhizal cover crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 705–711, 2011.

LAJTHA, K.; HARRISON, A. F. Strategies of phosphorus acquisition and conservation by plant species and communities. In: TIESSEN, H. (Ed.). **Phosphorus in the global environmental: transfers, cycles and management**. 1º Ed. Chichester, UK: Wiley, p. 139–147, 1995.

LAMEGO, F. P.; FLECK, N. G.; BIANCHI, M. A.; SCHAEDELER, C. E. Tolerância à interferência de plantas competidoras e habilidade de supressão por genótipos de soja - II. Resposta de variáveis de produtividade. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 491-498, 2004.

LAMEGO, F. P.; CARATTI, F. C.; REINEHR, M.; GALLON, M.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J. Potencial de supressão de plantas daninhas por plantas de cobertura de verão. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 6, n. 1, p. 97-105, 2015.

LÁZARO, R. L.; COSTA, A. C. T. da; SILVA, K. F. da; SARTO, M. V. M.; DUARTE JUNIOR, J. B. Produtividade de milho cultivado em sucessão a adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 1, p. 10-17, 2013.

LIMA, J. D.; ALDRIGHI, M.; SAKAI, R. K.; SOLIMAN, E. P.; MORAES, W. da S. Comportamento do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e da nabiça (*Raphanus raphanistrum* L.) como adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 60-63, 2007.

LIRA, V. M.; SILVA, B. B.; DANTAS, N. J.; FARIAS, M. S. S.; BEZERRA, M. V. C.; FRANCO, E. S.; CENTERO, C. R. M. Análise espectral de índice de vegetação em área irrigada com cana. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 1, p. 113-120, 2009.

LOPES, P. R. C.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 1, n. 11, p. 71-75, 1987.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Piracicaba: POTAFÓS. 117 p., 1995.

MACHADO, L. A. Z.; ASSIS, P. G. G. Produção de palha e forragem por espécies anuais e perenes em sucessão à soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 45, n. 4, p. 415-422, 2010.

MACHADO, L. A. Z.; CECATO, U.; JANK, E.; VERZIGNASSI, J. R.; VALLE, C. B. Identificação e Características de Forrageiras Perenes para Consórcio com Milho. In: CECCON, G. **Consórcio Milho-Braquiária**. Brasília, Embrapa Agropecuária Oeste, p. 47-68, 2013.

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

MALUF, H. J. G. M.; SOARES, E. M. B.; SILVA, I. R. da; NEVES, J. C. L.; SILVA, L. D. O. G. Decomposição de resíduos de culturas e mineralização de nutrientes em solo com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1681-1689, 2015.

MARCELINO, K. R. A.; LEITE, G. G.; VILELA, J. M.; DIOGO, A. F. Produtividade e índice de área foliar de *Braquiária brizantha* cv. Marandu sob diferentes doses de nitrogênio e tensões hídricas. **Pasturas Tropicais**, Cali, v. 25, n. 2, p. 12-19, 2003.

MARCELO, A. V.; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C. Sequências de culturas em sistema de semeadura direta: II-decomposição e liberação de nutrientes na entressafra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1568-1582, 2012.

MAROCHI, A. I. **Manejo de plantas de cobertura no sistema plantio direto**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2006, p. 4-5. (Informações Agrônômicas, n. 116).

MEDRADO, R. D.; CARVALHO, P. C. de F.; MORAES, A. de; Ester de Moura, R. I. O. S.; LANG, C. R.; LOPES, É. C. P. Decomposição de resíduos culturais e liberação de nitrogênio para a cultura do milho. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 12, n. 2, p. 97-107, 2011.

MENDONÇA, V. Z. de; MELLO, L. M. M. de; PEREIRA, F. C. B. L.; CESARIN, A. L.; YANO, É. H. Desempenho agrônômico da soja em sucessão ao consórcio de milho com forrageiras no cerrado. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 7, n. 23, p. 26-33, 2014.

MEURER, E. J.; RHEINHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômeno de Sorção em Solos. In: MEURER, E. J. (Ed.). **Fundamentos de Química do Solo**. Porto Alegre: Evangraf. p. 131-181, 2010.

MITTMANN, L. M. O solo responde ao tratamento recebido. **A Granja**, Porto Alegre, n. 795, p. 26-28, 2015.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades**. Chapecó, 336 p., 1991.

NAHAS, E. Microrganismos do solo produtores de fosfatases em diferentes sistemas agrícolas. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 3, p. 267–275, 2002.

NUNES, U. R.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; SILVA, E. DE B.; SANTOS, N. F.; COSTA, H. A. O.; FERREIRA, C. A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 943-948, 2006.

OH LAND, R. A. A.; SOUZA, L. C. F. de; HERNANI, L. C.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 538-544, 2005.

OLIVEIRA, P. de; FREITAS, R. J.; KLUTHCOUSKI, J.; RIBEIRO, A. A.; ADRIANO, L.; CORDEIRO, M.; TEIXEIRA, L. P.; AUGUSTO, R.; CASTRO, D.; VILELA, L.; BALBINO, L. C. **Evolução de Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF): Estudo de caso da Fazenda Santa Brígida, Ipameri, GO**. Planaltina: Embrapa Arroz e Feijão, 2013, 51 p. (Documento nº 38).

PACHECO, L. P.; PIRES, F. R.; MONTEIRO, F. P.; PROCOPIO, S. O.; ASSIS, R. L.; CARMO, M. L.; PETTER, F. A. Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 815-823, 2008.

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. D. A.; ASSIS, R. L. D.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1787-1800, 2011a.

PACHECO, L. P.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. de A.; ASSIS, R. L. de; COBUCCI, T.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 17-25, 2011b.

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. de A.; ASSIS, R. L. de; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 9, p. 1228-1236, 2013.

PACHECO, L. P.; SÃO MIGUEL, A. S. D. C.; BOMFIM-SILVA, E. M.; DE SOUZA, E. D.; SILVA, F. D. Influência da densidade do solo em atributos da parte aérea e sistema radicular de crotalária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 4, p. 464-472, 2015.

PAL, D.; BROADBENT, F. E. Kinetics of rice straw decomposition in soils. **Journal of Environmental Quality**, Cidade, v. 4, n.2, p. 256-260, 1975.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; AZENHA, M. V.; BERGAMASCHINE, A. F.; DE MELLO, L. M. M.; LIMA, R. C. Massa seca e composição bromatológica de quatro espécies de braquiárias semeadas na linha ou a lanço, em consórcio com milho

no sistema plantio direto na palha. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 147-154, 2010.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; AZENHA, M. V.; BERGAMASCHINE, A. F.; MELLO, L. M. M. D.; LIMA, R. C. Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 5, p. 875-882, 2011.

PARTON, W.; SILVER, W. L.; BURKE, I. C.; GRASSENS, L.; HARMON, M. E.; CURRIE, W. S.; KING, J. Y.; ADAIR, E. C.; BRANDT, L. A.; HART, S. C.; FASTH, B. Global-scale similarities in nitrogen release patterns during long-term decomposition. **Science**, Washington, v. 315, n. 5810, p. 361- 364, 2007.

PAUL, E. A., CLARK, F. E. Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover. In: PAUL, E.A. & CLARK, F.E., (Ed.). **Soil microbiology and biochemistry**. 2º ed. San Diego, Academic, p. 158-179. 1996.

PAULETTI, V. A importância da palhada e da atividade biológica na fertilidade do solo. In: Curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo em plantio direto, Cruz Alta, v. 3, p. 56-66, 1999. **Palestras**, Passo Fundo: Aldeia Norte, 1999.

PEGADO, C. M. A.; BARBOSA, L. J. N.; MENDES, J. E. M. F.; SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S. Decomposição superficial e subsuperficial de folhas de fava (*Phaseolus lunatus* L.) na região do Brejo da Paraíba, Brasil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 1, p. 218-223, 2008.

PEREIRA, A. J. **Caracterização agronômica de espécies de *Crotalaria* L. em diferentes condições edafoclimáticas e contribuição da adubação verde com *C. juncea* no cultivo orgânico de brássicas em sistema plantio direto**. 2007, 83 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

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

PORTES, T. A.; CARVALHO, S. I. C.; OLIVEIRA, I. P.; KLUTHCOUSKI, J. Análise do crescimento de uma cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1349-1358, 2000.

POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R.; SALVI, J. V. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 1075-1083, 2008.

REINERTSEN, S. A.; ELLIOTT, L. F.; COCHRAN, V. L.; CAMPBELL, G. S. Role of available carbon and nitrogen in determining the rate of wheat straw decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 16, n. 5, p. 459-464, 1984.

REZNICK, J. P. K. **Produtividade, qualidade industrial e nutricional na cultura do trigo**. 2017, 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V.; V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5º aprox. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 359 p., 1999.

ROSA, D. M. **Propriedades químicas, físicas e biológicas de um sistema agrícola sob rotação de culturas**. 2013, 151 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; MAULI, M. M.; LIMA, G. P.; PACHECO, F. P. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 2, p. 221-230, 2017.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 355-362, 2003.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de braquiária, sorgo e soja em áreas de plantio direto no cerrado goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1523-1534, 2013.

SCHENK, M. K.; BARBER, S. A. Root characteristics of corn genotypes as related to P uptake. **Agronomy Journal**, Madison, v. 71, n. 6, p. 921-924, 1979.

SILVA, L. A. G. C. O homem, a agricultura e o meio ambiente. In: GANEM, R. S. (Ed.). **Políticas setoriais e meio ambiente**. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, p. 316-370, 2015.

SILVA, D.; SANTI, A. L.; DAL BELLO, R. A. M.; FIORESI, D.; BARON, F. Perfil de NDVI em estádios de desenvolvimento de soja em função de diferentes plantas de coberturas do solo no Rio Grande do Sul. **Enciclopédia Biosfera**, Jandaia, v. 11, n. 22, p. 2340-2348, 2015.

SILVEIRA, P. M. D.; CUNHA, P. C. R. D.; STONE, L. F.; SANTOS, G. G. D. Atributos químicos de solo cultivado com diferentes culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 3, p. 283-290, 2010.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2. Ed, p. 283-315. 2004.

SOUZA, R. J. C. de; FERREIRA NETO, R. A.; Silva, A. A. da; BARROS, B. D. F., GIONGO, V.; FREITAS, A. D. S. de. Produção de biomassa e relação C/N em plantas utilizadas como adubos verdes no município de Juazeiro-BA. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35, 2015, Natal. **Anais [...]**. Natal: Embrapa Semiárido, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

SPERA, S. T.; CORREIA, J. R.; REATTO, A. Solos do Bioma Cerrado: Propriedades Químicas e Físico-Hídricas sob uso e manejo de adubos verdes. In: CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. (Ed.). **Cerrado: Adubação Verde**. Embrapa Cerrados, p. 41-65, 2006.

SUZUKI, L. E. A. S.; ALVES, M. C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 121-127, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6° Ed. Porto Alegre, Artmed Editora, 888 p., 2017.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milho e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 867-876, 2011.

TEODORO, R. B.; OLIVEIRA, F. L. de; SILVA, D. M. N. da; FÁVERO, C.; QUARESMA, M. A. L. Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no Cerrado do Alto Vale do Jequitinhonha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 635-640, 2011.

TORRES, J. L. R. **Estudo das plantas de cobertura na rotação milho-soja em sistema de plantio direto no Cerrado, na região de Uberaba-MG**. 2003, 125 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 421-428, 2008.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1609-1618, 2008.

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

VALICHESKI, R. R.; GROSSKLAUS, F.; STÜRMER, S. L.; TRAMONTIN, A. L.; BAADE, E. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 969-977, 2012.

VIOLA, R.; BENIN, G.; CASSOL, L. C.; PINNOW, C.; FLORES, M. F.; BORNHOFEN, E. Adubação verde e nitrogenada na cultura do trigo em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 1, p. 90-100, 2013.

WIEDER, R. K.; LANG, G. E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, Washington, v. 63, n. 6, p. 1636-1642, 1982.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. D. do P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In: LIMA FILHO, O. F. de; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**. Brasília: Embrapa Agropecuária Oeste, v. 1, p. 59-168, 2014.

ZIECH, A. R. D.; CONCEIÇÃO, P. C.; LUCHESE, A. V.; BALIN, N. M.; CANDIOTTO, G.; GARMUS, T. G. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hiberna na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 5, p. 374-382, 2015.