UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ÍCARO CAMARGO DE CARVALHO

SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM CULTURAS GRANÍFERAS E DE COBERTURA EM SAFRINHA

RONDONÓPOLIS - MT
2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ÍCARO CAMARGO DE CARVALHO

SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM CULTURAS GRANÍFERAS E DE COBERTURA EM SAFRINHA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus de Rondonópolis, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Pereira Pacheco
Coorientador: Prof. Dr. Edicarlos Damacena de Souza

RONDONÓPOLIS - MT
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

C172s Camargo de Carvalho, Ícaro.
Sistemas de produção com culturas graníferas e de cobertura em safrinha / Ícaro Camargo de Carvalho. -- 2018
63 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Leandro Pereira Pacheco.
Co-orientador: Edicarlos Damacena de Souza.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis, 2018.
Inclui bibliografia.

1. Sistema Plantio Direto. 2. Sistemas consorciados. 3. *Helianthus annuus*. 4. *Urochloa ruziziensis*. 5. Radiação. I.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM CULTURAS GRANÍFERAS E DE COBERTURA EM SAFRINHA.

AUTOR: Ícaro Camargo de Carvalho

Dissertação defendida e aprovada em 13 de julho de 2018.

Presidente da Banca / Orientador: Doutor Leandro Pereira Pacheco.
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Examinador Interno / Coorientador: Doutor Edicarlos Damacena de Souza.
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Examinador Externo: Doutor Claudinei Kappes.
Instituição: Fundação Mato Grosso

Examinador Externo: Doutor Carlos Eduardo Avelino Cabral.
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

RONDONÓPOLIS - MT, 13 de julho de 2018.

Aos meus pais, Wilson e Angélica, pelo apoio incondicional durante toda essa caminhada.

A minha irmã Iara, por todo o apoio, momentos de descontração e companheirismo, mesmo que distante.

E a toda minha família, pelo acolhimento e conforto em todos os momentos.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e aos orixás por me proporcionarem a oportunidade de trilhar toda essa caminhada com saúde, paz e sempre amparado nos momentos mais difíceis.

À Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola por todo o suporte e ensinamentos durante o mestrado, em especial à coordenação e a todos os docentes do programa que sempre se dedicaram e ajudaram da melhor forma possível.

Ao meu orientador Prof. Dr. Leandro Pereira Pacheco pela oportunidade, confiança, orientação e paciência. Que sempre esteve disposto a ajudar e ensinar, extremamente profissional e conselheiro, realmente um orientador, não só profissional, mas com ensinamentos que serão de grande valia para toda minha vida.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Edicarlos Damacena de Souza por todo conhecimento transmitido, confiança e conselhos que confortavam em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. Carlos Eduardo Avelino Cabral por sempre estar de prontidão para ajudar e ensinar com toda paciência do mundo.

A Andressa Selestina Dalla Côrt São Miguel (Brow), por tudo que sempre fez e faz por mim, sacrifíos e conselhos, realmente uma irmã mais velha que ganhei em toda essa trajetória.

A todos os atuais e antigos integrantes do GPISI, Grupo de Pesquisa e Inovação em Sistemas Puros e Integrados de Produção Agropecuária, onde proporcionou grande desenvolvimento pessoal, profissional, técnico e acima de tudo, grandes amizades.

A Juliana Mendes de Souza Andrade (Samba) e Jackeline Vieira dos Santos Laroca (Jacke), pelo companheirismo em todos os momentos, conversar e todos os conselhos para não sair dos trilhos, sempre com glamour e sambando geral.

Aos mestres da zoeira, Adriano Bicioni Pacheco (Drico), Camila Menezes Rodrigues da Silva (Camilão), William Lima Crisostomo (Cabrito),

Eder Rodrigues Batista (Índio), José Roberto Souza Oliveira (Zé), Alessana Schlichting, Maria Débora Loiola Bezerra, Thiago Castañon (Castanheira), Vinícius Melo e William Fenner (Gaúchão) pelos momentos de descontração, diversão e companheirismo na salinha de estudo, uma amizade que sempre carregarei comigo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de Mestrado e às agências de fomento Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho, direta ou indiretamente, meus sinceros agradecimentos.

“Quem nasceu para brilhar, brilha até na escuridão.”

MC Boy do Charmes.

SUMÁRIO

RESUMO..... 13
ABSTRACT..... 14
1. INTRODUÇÃO GERAL.....15
2. CAPÍTULO I - PRODUÇÃO DE FITOMASSA E CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO SOB PLANTIO DIRETO NO SUL DE MATO GROSSO..... 16
2.1 INTRODUÇÃO 18
2.2 MATERIAL E MÉTODOS 20
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....24
2.4 CONCLUSÕES 37
REFERÊNCIAS.....38
3. CAPÍTULO II. CONVERSÃO DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA EM FITOMASSA E ACÚMULO DE NUTRIENTES POR CULTURAS ANUAIS E DE COBERTURA NA SAFRINHA..... 41
3.1 INTRODUÇÃO 43
3.2 MATERIAL E MÉTODOS 45
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....50
3.4 CONCLUSÕES 58
REFERÊNCIAS.....59
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS 63

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Precipitação mensal acumulada e temperaturas médias mínima e máxima do ar durante a condução do experimento, em Rondonópolis, MT.....20

FIGURA 2 - Acúmulo de fitomassa, decomposição e tempo de meia-vida de culturas anuais e de cobertura nas safras 2016/17 (a) e 2017/18 (b) em Rondonópolis – MT.....25

FIGURA 3 - Acúmulo e liberação de nitrogênio por culturas anuais e de cobertura safra 2016/17 (a) e 2017/18 (b) em Rondonópolis – MT.....28

FIGURA 4 - Acúmulo e liberação de fósforo por culturas anuais e de cobertura safra 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Rondonópolis – MT.....30

FIGURA 5 - Acúmulo e liberação de potássio por culturas anuais e de cobertura nas safras 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Rondonópolis – MT.....31

FIGURA 6 - Acúmulo e liberação de cálcio por culturas anuais e de cobertura nas safras 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Rondonópolis – MT.....32

FIGURA 7 - Acúmulo e liberação de magnésio por culturas anuais e de cobertura nas safras 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Rondonópolis – MT.....32

FIGURA 8 - Acúmulo e liberação de enxofre por culturas anuais e de cobertura nas safras 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Rondonópolis – MT.....33

FIGURA 9 - Acúmulo e liberação de boro por culturas anuais e de cobertura nas safras 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Rondonópolis – MT.....33

FIGURA 10 - Acúmulo e liberação de cobre por culturas anuais e de cobertura nas safras 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Rondonópolis – MT.....34

FIGURA 11 - Acúmulo e liberação de manganês por culturas anuais e de cobertura nas safras 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Rondonópolis – MT.....34

FIGURA 12 - Acúmulo e liberação de zinco por culturas anuais e de cobertura nas safras 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Rondonópolis – MT.....35

FIGURA 13 - Precipitação mensal acumulada e temperaturas médias mínima e máxima do ar durante a condução do experimento, em Rondonópolis, MT.....45

FIGURA 14 - Análise dos componentes principais (PCA) para variáveis relacionadas à eficiência no uso da radiação para produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes. EUR_FIT_CA_flo = eficiência no uso da radiação na produção de

fitomassa pela cultura anual no florescimento; EUR_FIT_CA_sen = eficiência no uso da radiação na produção de fitomassa pela cultura anual na senescência; EUR_N;P;K:Ca e Mg_flo = eficiência no uso da radiação para o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio no florescimento; EUR_N;P;K:Ca e Mg_sen = eficiência no uso da radiação para o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na senescência.....57

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Caracterização química e textural do Latossolo Vermelho antes da instalação do experimento.....21

TABELA 2 - Caracterização dos sistemas de produção com a semeadura das safrinhas 2016 e 2017 antes da semeadura da soja safra 2016/17 e 2017/18.....22

TABELA 3 - Produção de fitomassa e teores de macro e micronutrientes por culturas anuais e de cobertura no momento da dessecação para a semeadura da soja em sucessão nas safras 2016/17 e 2017/18.....27

TABELA 4 - Produtividade de grãos de soja em sucessão a culturas anuais e de cobertura nas safras 2016/17 e 2017/18.....37

TABELA 5 - Atributos físico-químicos do Latossolo Vermelho distrófico nos sistemas de produção com culturas anuais e de cobertura nas safras 2015/16 e 2016/17.....46

TABELA 6 - Médias das safrinhas de 2015 e 2016 da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) interceptada e eficiência na interceptação(ε_{int}) no florescimento de culturas de cobertura em cultivo solteiro e consorciado.....50

TABELA 7 - Médias das safrinhas de 2015 e 2016 da produção de fitomassa seca e eficiência no uso da radiação (EUR) no florescimento de culturas de cobertura sob plantio direto.....52

TABELA 8 - Médias das safrinhas de 2015 e 2016 do coeficiente de extinção e índice de área foliar (IAF) de culturas de cobertura sob plantio direto.....53

TABELA 9 - Eficiência no uso da radiação (EUR) para os nutrientes no florescimento por culturas de cobertura sob plantio direto.....54

TABELA 10 - Eficiência no uso da radiação (EUR) para os nutrientes na senescência por culturas de cobertura sob plantio direto.....56

RESUMO

SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM CULTURAS GRANÍFERAS E DE COBERTURA EM SAFRINHA

O objetivo do presente estudo foi avaliar culturas anuais e de cobertura semeadas na safrinha na conversão da radiação fotossinteticamente ativa, produção de fitomassa e ciclagem de nutrientes em sistemas de produção no Sul de Mato Grosso. O experimento foi conduzido durante as safras de 2015/16, 2016/17 e 2017/18, na Estação Experimental do Câmpus de Rondonópolis da Universidade Federal de Mato Grosso, em um Latossolo Vermelho distrófico em delineamento de blocos ao acaso com nove sistemas e quatro repetições na safrinha: pousio (plantio direto) e pousio (preparo convencional), culturas anuais (milho, girassol e *Vigna unguiculata*) e culturas de cobertura (*Pennisetum glaucum*, *Crotalaria spectabilis*, *Urochloa ruziziensis* e *Cajanus cajan*), com tratamentos solteiros e consorciados. Foram quantificadas a fitomassa seca, taxa de cobertura do solo e liberação de nutrientes promovida pelas culturas de cobertura. Ambas as avaliações foram realizadas imediatamente antes da dessecação e repetidas aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a dessecação de manejo para semeadura da soja. Quanto à eficiência no uso da radiação fotossinteticamente ativa, as avaliações de fitomassa foram realizadas em duas épocas, no pleno florescimento e após a colheita de grãos das culturas de cobertura. Nos sistemas em consórcio, as culturas de cobertura foram coletadas separadamente das culturas principais. Posteriormente foram determinadas as concentrações de N, P, K, Ca e Mg e realizado o cálculo da eficiência no uso da radiação para cada nutriente. A *C. spectabilis*, na safra 2016/17, e a *U. ruziziensis*, na safra 2017/18, promoveram os maiores acúmulos de fitomassa entre os sistemas de produção no momento da dessecação de manejo em SPD no Cerrado. A *C. spectabilis* e *U. ruziziensis* destacaram-se no acúmulo de nutrientes na safra 2016/17, com exceção do K, Mg e Cu, em que o girassol + *U. ruziziensis* se destacou para K e Mg e o milho + *C. spectabilis* para o Cu. Os sistemas *C. spectabilis*, milho + *C. spectabilis*, girassol + *U. ruziziensis, P. glaucum* e *U. ruziziensis* incrementam a produtividade da soja em sucessão. A *U. ruziziensis* foi eficiente quanto a interceptação de RFA, com ε_{int} de 95%. O manejo do sistema girassol +*U. ruziziensis* é significativo para que não ocorra supressão da cultura principal. Os sistemas *C. spectabilis*, *U. ruziziensis* e *V. unguiculata* foram eficientes no uso da radiação para o acúmulo de nitrogênio, potássio e magnésio no florescimento. Os sistemas milho + *C. spectabilis*, *P. glaucum*, girassol + *U. ruziziensis* e milho + *U. ruziziensis* foram eficientes no uso da radiação para a produção de fitomassa nas duas épocas de avaliação, acúmulo de fósforo e cálcio no florescimento e de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na senescência.

Palavras-chave: Sistema Plantio Direto, sistemas consorciados, *Helianthus annuus*, *Urochloa ruziziensis*, eficiência no uso da radiação.

ABSTRACT

PRODUCTION SYSTEMS WITH GRAIN AND COVER CROPS IN SECOND SEASON

The objective of the present study was to evaluate annual and cover crops sown in the off-season in the conversion of photosynthetically active radiation, phytomass production and nutrient cycling in production systems in the south of Mato Grosso. The experiment was conducted during the agricultural years of 2015/2016, 2016/2017 and 2017/2018 at the Experimental Station of Campus of Rondonópolis of the Federal University of Mato Grosso, in a dystrophic Oxysol in a randomized block design with nine systems and four replications in the second crop: fallow (*Pennisetum glaucum*, *Crotalaria spectabilis*, *Urochloa ruziziensis*, *Cajanus cajan*), with single treatments and intercropping. The dry matter, soil cover rate and nutrient release promoted by cover crops were quantified. The evaluations were carried out immediately before of desiccation and repeated at 15, 30, 60, 90 and 120 days after desiccation (DAD) for soybean sowing. As for the efficiency in the use of photosynthetically active radiation, phytomass evaluations were carried out in two seasons, at full flowering and after harvesting of cover crops. In intercropping systems, cover crops were collected separately from main crops. Afterwards, the concentrations of N, P, K, Ca, and Mg were determined and the efficiency of radiation use was calculated for each nutrient. *C. spectabilis* in the 2016/17 harvest and *U. ruziziensis* in the 2017/18 harvest promoted the greatest accumulation of phytomass among the production systems at the time of desiccation of SPD management in the Cerrado. *C. spectabilis* and *U. ruziziensis* stand out in the accumulation of nutrients in the 2016/17 crop, with the exception of K, Mg and Cu, in which the sunflower + *U. ruziziensis* stood out for K and Mg and maize + *C. spectabilis* for Cu. The systems *C. spectabilis*, maize + *C. spectabilis*, sunflower + *U. ruziziensis*, *P. glaucum* and *U. ruziziensis* increase soybean yield in succession. *U. ruziziensis* was efficient in the interception of RFA, with ε_{int} of 95%. The systems *C. spectabilis*, *U. ruziziensis* and *V. unguiculata* were efficient in the use of radiation for the accumulation of nitrogen, potassium and magnesium in flowering. The maize + *C. spectabilis*, *P. glaucum*, sunflower + *U. ruziziensis* and maize + *U. ruziziensis* systems were efficient in the use of radiation for phytomass production in the two evaluation periods, accumulation of phosphorus and calcium in flowering and nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium in senescence.

Key words: No-tillage system, consortium systems, *Helianthus annuus*, *Urochloa ruziziensis*, efficiency in the radiation use.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os sistemas de produção de soja no Cerrado mato-grossense têm sido tecnificados ao longo dos anos e isto permitiu a abertura para novos manejos das áreas cultivadas para incremento nas produtividades. De encontro a isso, o sistema plantio direto (SPD) desponta como um sistema conservacionista de manejo por meio da inserção de culturas de cobertura com elevada produção de fitomassa para a ciclagem de nutrientes, a fim de melhorar a qualidade do solo. Para que se tenha benefício no sistema com a produção de fitomassa é necessário que as culturas de cobertura sejam eficientes na conversão de energia luminosa em matéria seca.

As culturas a serem implantadas sob SPD precisam ser adaptadas às condições do Cerrado com o intuito de elevar os índices fotossintéticos para obtenção de maiores acúmulos de fitomassa e nutrientes. A eficiência fotossintética das culturas influi em melhorias no sistema, uma vez que quanto maior a quantidade de carboidratos sintetizados, maior será a produção de fitomassa, cobertura do solo e matéria orgânica aportada ao solo. Ao ser decomposta, essa matéria orgânica libera os nutrientes retidos por sua elevada área superficial específica às culturas sucessoras, o que as faz precisar de menor adubação mineral.

Esta eficiência no uso da adubação traz maior lucratividade aos produtores, uma vez que reduz os custos no uso de fertilizantes na semeadura e em cobertura, pois a mineralização ocorre de forma gradual e permite a absorção ao longo do desenvolvimento da cultura em sucessão. As culturas de cobertura que apresentam maior eficiência no uso da radiação e a convertem em produção de fitomassa e eficiência no uso dos nutrientes, maximizam a produtividade da soja nos sistemas de produção sob plantio direto.

O objetivo deste trabalho foi avaliar sistemas de produção com culturas anuais e de cobertura em safrinha na produção de fitomassa, conversão da radiação fotossinteticamente ativa e ciclagem de nutrientes sob plantio direto no sul de Mato Grosso.

2. CAPÍTULO I. PRODUÇÃO DE FITOMASSA E CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO SOB PLANTIO DIRETO NO SUL DE MATO GROSSO

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar a produção de fitomassa, acúmulo e liberação de nutrientes e produtividade da soja em sistemas de produção com culturas de cobertura em sucessão a cultura da soja em Latossolo Vermelho distrófico em Rondonópolis – MT. O experimento foi conduzido durante as safras 2016/17 e 2017/18, na UFMT, Câmpus de Rondonópolis em delineamento de blocos casualizados, com nove sistemas de produção de culturas de cobertura, com quatro repetições. As avaliações foram realizadas imediatamente antes da dessecação de manejo em outubro de 2016 e 2017, e repetidas aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a dessecação de manejo. A *Crotalaria spectabilis* e a *Urochloa ruziziensis* se destacaram no acúmulo de fitomassa. A *C. spectabilis* e *U. ruziziensis* destacaram-se no acúmulo de nutrientes, com exceção do K, Mg e Cu, em que o sistema girassol + *U. ruziziensis* se destacou para os dois primeiros e o milho + *C. spectabilis* para o Cu, na safra 2016/17. A *U. ruziziensis* obteve destaque no acúmulo de macronutrientes na safra 2017/18. Os sistemas de produção em safrinha compostos por *C. spectabilis*, milho + *C. spectabilis*, girassol + *U. ruziziensis, P. glaucum* e *U. ruziziensis* foram eficientes para incrementar a produtividade da soja em sucessão a culturas de cobertura no sul mato-grossense.

Palavras-chave: *Crotalaria spectabilis*; *Urochloa ruziziensis*; Plantio direto.

ABSTRACT

PHYTOMASS PRODUCTION AND NUTRIENT CYCLING IN PRODUCTION SYSTEMS UNDER NO-TILLAGE SYSTEM IN THE SOUTH OF MATO GROSSO

The objective of this work was to evaluate the phytomass production, accumulation and nutrient release and soybean yield in production systems with cover crops in succession to soybean cultivation in dystrophic Oxysol in Rondonópolis - MT. The experiment was conducted during the 2016/17 and 2017/18 harvests at the UFMT, Campus of Rondonópolis, in a randomized complete block design with nine cover cropping systems with four replications. The evaluations were performed immediately before desiccation of management in October of 2016 and 2017, and repeated at 15, 30, 60, 90 and 120 days after desiccation. *Crotalaria spectabilis* and *Urochloa ruziziensis* were prominent in the phytomass accumulation. *C. spectabilis* and *U. ruziziensis* were prominent in the accumulation of nutrients, with the exception of K, Mg and Cu, in which the sunflower + *U. ruziziensis* system was highlighted for the first two and maize + *C. spectabilis* for Cu, in the 2016/17 season. *U. ruziziensis* was highlighted in the accumulation of macronutrients in the 2017/18 crop. The off season production systems composed of *C. spectabilis*, maize + *C. spectabilis*, sunflower + *U. ruziziensis*, *P. glaucum* and *U. ruziziensis* were efficient to increase soybean yield in succession to cover crops in southern of Mato Grosso.

Key-words: *Crotalaria spectabilis*; *Urochloa ruziziensis*; No-tillage.

2.1 INTRODUÇÃO

A região do Cerrado é notória no desenvolvimento do agronegócio, com destaque para a produção de grãos. O estado de Mato Grosso assumi grande importância no cenário nacional, com uma área plantada de 15 milhões de hectares e produção de 61 milhões de toneladas (CONAB, 2018). O principal cultivo é o da soja, com 9,5 milhões de hectares e produção de 32 milhões de toneladas na safra 17/18 segundo a CONAB (2018).

Mesmo com a exploração de novas áreas de cultivo, emprego de tecnologias e investimentos financeiros, o atual sistema de produção de soja apresenta dificuldades para um incremento de produção e produtividade. O principal entrave é a adoção de práticas que mitiguem as adversidades climáticas, recorrentes de fatores bióticos que afetam o desenvolvimento da cultura e exploração sistêmica dos nutrientes do solo.

Como alternativa surge o sistema plantio direto (SPD), que consiste em uma prática conservacionista que se fundamenta na adoção de rotação de culturas, cobertura permanente do solo e revolvimento exclusivamente na linha de semeadura (EMBRAPA, 2011). Sua eficácia depende de alguns fatores como a quantidade e qualidade dos resíduos culturais (ACOSTA et al., 2014). O clima caracterizado por inverno seco, altas temperaturas e estações secas prolongadas, como na safrinha na região do Cerrado, dificulta a implantação de culturas de cobertura (PACHECO et al., 2008). A permanência de sua fitomassa sobre a superfície do solo também é dificultada, já que essa região é caracterizada por altas temperaturas nos meses subsequentes a senescência das culturas cultivadas em safrinha (PACHECO et al., 2011), a presença de umidade nessa época também eleva as taxas de decomposição dos resíduos culturais, se comparada a outras regiões.

A adoção de culturas de cobertura que apresentem rápido estabelecimento, que sejam capazes de aproveitar as chuvas finais de verão e produzir significativa quantidade de fitomassa, favorece a conservação do solo e a ciclagem de nutrientes. Estudos demonstram que a braquiária, milheto e crotalária são coberturas vegetais com boa adaptação ao Cerrado, com produção de resíduos vegetais em quantidade e qualidade adequadas para

suprir a necessidade de cobertura do solo (TORRES et al., 2008). Para as condições edafoclimáticas do Cerrado, é necessário produzir aproximadamente 12 t ha^{-1} de fitomassa para compensar as elevadas taxas de decomposição (RODRIGUES TORRES et al., 2014).

Além da capacidade de elevada produção de fitomassa, as culturas de cobertura devem ser capazes de acumular consideráveis quantidades de nutrientes em seus tecidos vegetais e, com sua decomposição, liberar para o cultivo em sucessão. A sincronia entre a liberação dos nutrientes e a demanda da cultura conseguinte é um fator importante para o sucesso do sistema. Segundo Torres et al. (2008), a semeadura de culturas de cobertura na entressafra apresenta capacidade de absorver nutrientes em camadas subsuperficiais e posteriormente liberar em camadas superficiais via decomposição e mineralização de resíduos. A utilização de sistemas de produção com culturas de cobertura sob plantio direto na entressafra incrementa a produtividade da soja em sucessão pela eficiência no uso de insumos.

Desta forma, o objetivo do trabalho foi avaliar a produção de fitomassa, acúmulo e liberação de nutrientes e produtividade da soja em sistemas de produção com culturas de cobertura na safrinha em Latossolo Vermelho distrófico no Sul de Mato Grosso.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento teve início no ano de 2013, sendo um experimento de longa duração, no qual foi analisado o quarto e quinto ano, que corresponde as safras 2016/17 e 2017/18, na Estação Experimental do Câmpus Universitário de Rondonópolis da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT (16º27'75"S 54º34'55"O e altitude de 292 m). O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2013) e relevo plano. O clima da região é tropical quente úmido, conforme a classificação de Köppen, é do tipo Aw (SOUZA et al., 2013), com duas estações bem definidas, inverno seco e verão chuvoso. As precipitações e temperaturas máximas e mínima do ar ocorridas durante o período do experimento se encontram na Figura 1.

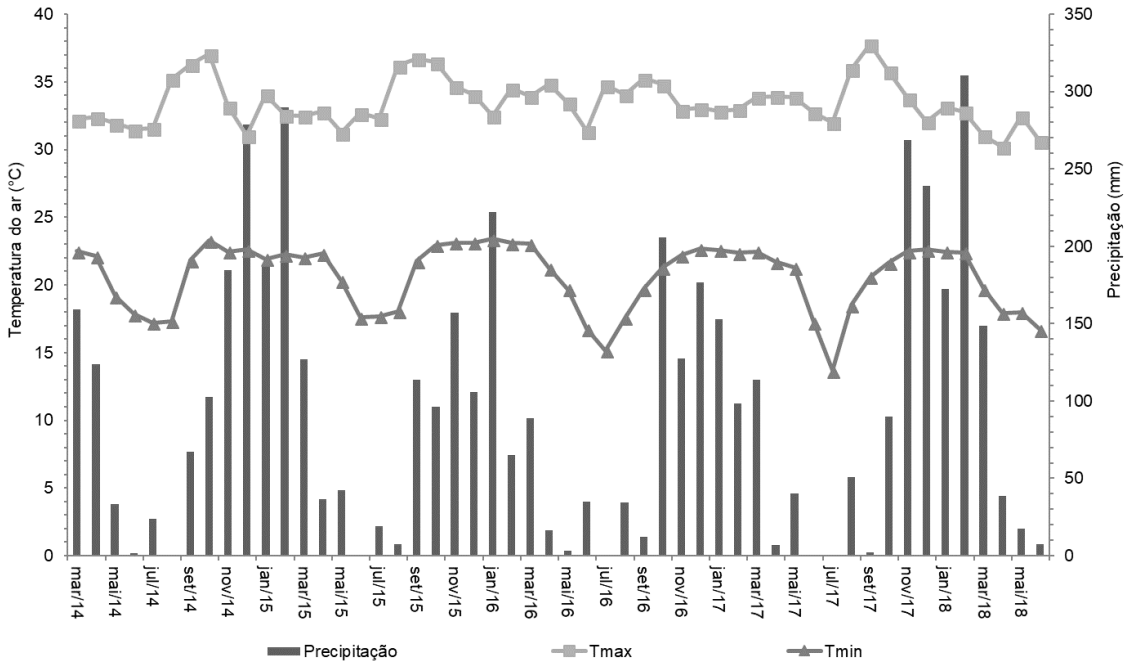

Figura 1. Precipitação mensal acumulada e temperaturas médias mínima e máxima do ar durante a condução do experimento, em Rondonópolis, MT.

Antes da instalação do experimento foi realizada a limpeza da área, seguida de aração e gradagem, com retirada de raízes de forma manual. Em seguida, realizou-se amostragem de solo para caracterização química e

textural (Tabela 1). Em 08/10/2013 foi realizada a calagem (4.000 kg ha^{-1}) e incorporado com grade aradora e grade niveladora.

Tabela 1. Caracterização química e textural do Latossolo Vermelho antes da instalação do experimento.

Profundidade	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	T	V	MO	Areia	Silte	Argila
(m)	$CaCl_2$	-mg dm^{-3}-		---------$cmol_c$ dm^{-3}-------				%	----------g kg^{-1}----------			
0,00-0,10	4,1	5,4	55	0,5	0,2	6,8	7,6	11	17,6	450	125	425
0,10-0,20	4,0	1,4	49	0,2	0,2	7,2	7,6	5,6	19,9	500	100	400
0,20-0,30	4,1	0,2	31	0,3	0,1	6,2	6,7	7,2	13,7	500	100	400

P, fósforo disponível (Mehlich 1); K^+, Ca_2^+ e Mg_2^+ trocáveis; T, capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V, saturação por bases.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com nove sistemas de produção de culturas semeadas na safrinha, com quatro repetições. Cada unidade experimental apresentou dimensões de 7 m de largura x 9 m de comprimento, com um total de 63 m^2 por parcela e área útil de 25 m^2.

Em 02/10/2016 e 07/10/2017, nas safras 2016/17 e 2017/18, respectivamente, todos os sistemas de produção foram dessecados com uso de glyphosate (1920 g i.a.ha^{-1}). No dia 16/10/2016 foi semeada a cultura da soja safra (2016/17), cultivar ANTA 82 RR, com estande de 29 sementes por metro e espaçamento entrelinhas de 0,45 m em todos os sistemas de produção. Na safra 2017/18, a semeadura da soja foi realizada no dia 24/11/2017, cultivar TMG 7062 IPRO, com 20 sementes por metro. A colheita da soja na safra 2016/17 foi realizada em 06/02/2017 e na safra 2017/18 no dia 28/02/2018, e em seguida, implantadas as culturas em safrinha (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização dos sistemas de produção com a semeadura das safrinhas 2016 e 2017 antes da semeadura da soja safra 2016/17 e 2017/18.

Sistema de produção	Safrinha 2016	Safrinha 2017
S_1	Pousio em PD[(1)]	Pousio em PD[(1)]
S_2	Pousio em PC[(1)]	Pousio em PC[(1)]
S_3	*Crotalaria spectabilis*	*Crotalaria spectabilis*
S_4	Milho + *C. spectabilis*	Milho + *C. spectabilis*
S_5	*Pennisetum glaucum*	*Pennisetum glaucum*
S_6	*Urochloa ruziziensis*	*Urochloa ruziziensis*
S_7	Girassol + *U. ruziziensis*	Girassol + *U. ruziziensis*
S_8	*Vigna unguiculata*	*Cajanus cajan*
S_9	Milho + *U. ruziziensis*	Milho + *U. ruziziensis*

[(1)]PD- plantio direto; PC- preparo convencional com uso de grade aradora + grade niveladora.

A adubação utilizada na soja foi de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 22 kg ha^{-1} de N via monoamônio fosfato no sulco de semeadura, e 100 kg ha^{-1} de K_2O via cloreto de potássio, aplicado metade a lanço em pré semeadura e o restante quando a soja estava em estádio fenológico V_4. Nas culturas anuais semeadas na safrinha 2016 (milho, *V. unguiculata* e girassol) e na safrinha 2017 (milho e girassol), as adubações seguiram recomendações de Souza e Lobato (2004), enquanto que, nos outros sistemas de produção não foram utilizados fertilizantes.

Foram quantificadas a fitomassa seca da parte aérea e liberação de nutrientes promovida pelas culturas de cobertura. Ambas avaliações foram realizadas imediatamente antes da dessecação de manejo em outubro de ambas safras, e repetidas aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a dessecação de manejo (DAD) para semeadura da soja.

Em seguida, a fitomassa foi obtida a partir da coleta da parte aérea e resíduos das culturas de cobertura, através de dois pontos de amostragem por parcela. Em seguida, os resíduos vegetais foram submetidos à secagem em estufa com temperatura de 60 ºC, até massa constante, e posteriormente, realizada a limpeza manual dos resíduos sem uso de água, para obtenção da fitomassa seca. Esses resíduos foram triturados em moinho tipo Willey (malha de 2 mm), para determinação das concentrações de macro e micronutrientes seguindo metodologias propostas por Nogueira et al. (2005).

Para descrever a liberação de fitomassa e nutrientes ocorrida nas culturas de cobertura, após sua dessecação, os dados coletados aos 0, 15, 30, 60, 90 e 120 DAD foram ajustados a um modelo matemático exponencial decrescente, descrito por Wieder & Lang (1982): $Q = Q_o \exp(-kt)$, em que: Q = quantidade de nutriente existente no tempo t, em dias (kg ha^{-1}); Q_o = fração de nutrientes potencialmente liberados (kg ha^{-1}), e k = constante de liberação de nutrientes (g g^{-1}). Com o valor de k, calculou-se o tempo de meia-vida (T½ vida) da fitomassa e dos nutrientes remanescentes, que expressa o tempo que levará para metade da massa seca se decompor e metade dos nutrientes serem liberados, com uso da fórmula T½ vida = 0,693/k, proposta por Paul & Clark (1989). A produtividade de grãos da soja foi avaliada por meio de coletas em 2 m^2 da parcela e expressos em kg ha^{-1} (padronizadas em 13% umidade).

A análise dos dados qualitativos foi realizada através do teste Scott-Knott a 5% de probabilidade, com auxílio do software SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2011). Já os dados quantitativos foram ajustados em equações, com auxílio do software SIGMA PLOT 10.0.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença significativa no acúmulo e decomposição de fitomassa pelos sistemas de produção de culturas de cobertura em ambos os anos agrícolas (Figuras 2A e 2B). Os sistemas *C. spectabilis,* milho + *C. spectabilis, P. glaucum, U. ruziziensis,* girassol + *U. ruziziensis e* milho + *U. ruziziensis* destacaram como culturas de cobertura na produção de fitomassa, na safra 2016/17, no dia do manejo da dessecação. Na safra 2017/18, a *U. ruziziensis* apresentou a maior produção de fitomassa no momento da dessecação, com aproximadamente 7.800 kg ha^{-1}. Os diferentes resultados encontrados nas safras são provenientes das condições edafoclimáticas, com diferença nos dados pluviométricos, distribuição de chuvas, umidade e temperatura do ar, como observado na Figura 1.

As condições climáticas também afetam diretamente as taxas de decomposição dos resíduos culturais, o que explica os diferentes tempos de meia-vida encontrados para a decomposição de fitomassa (Figuras 2A e 2B). Apesar das diferenças nos tempos de meia-vida entre as safras, em ambas a *C. spectabilis* apresentou maiores índices de decomposição, por apresentar tempo de meia-vida de 34 e 66 dias, sendo os menores valores quando comparado com os demais tratamentos, o que demonstra menor persistência da fitomassa na superfície do solo.

A decomposição acentuada dos tecidos vegetais da *C. spectabilis*, se comparado aos demais tratamentos, são reflexos de sua própria constituição celular, que são tecidos compostos por menor relação C/N e moléculas lignocelulósicas. Já o comportamento do pousio PD, com tempos de meia-vida de 94 e 88 dias, o mais elevado entre os sistemas, está relacionado à sua composição estritamente por plantas espontâneas (*Digitaria horizontalis*, *Digitaria insularis*, *Porophyllum ruderale* e *Tridax procumbens*), que possuem reduzida área foliar e consequentemente elevada relação caule-folha, o que dificulta sua decomposição por apresentar maior concentração de materiais lignificados.

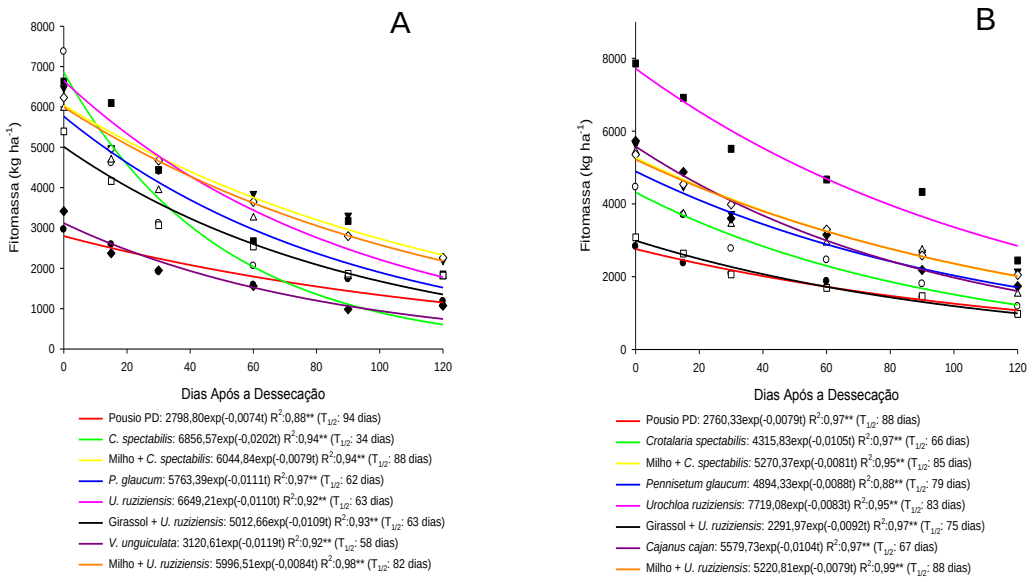

Figura 2. Acúmulo de fitomassa, decomposição e tempo de meia-vida de culturas anuais e de cobertura nas safras 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Rondonópolis – MT.

Os estudos realizados por Rodrigues Torres et al. (2014) e Fabian (2009) no município de Uberaba – MG, também apresentaram menores tempo de meia-vida para crotalária e feijão de porco. Tal comportamento é justificado, além de menor relação C/N quando comparado com gramíneas, pela capacidade das leguminosas em fixarem nitrogênio e favorecerem a atividade microbiológica do solo, a qual proporciona maiores velocidades na decomposição dos resíduos culturais.

Os sistemas de produção apresentaram diferença significativa no acúmulo de nutrientes no momento da dessecação em ambas às safras (Tabela 3). Na safra 2016/17 a *C. spectabilis* e *U. ruziziensis* destacaram-se para o acúmulo de nutrientes no momento da dessecação, com exceção do K, Mg e Cu, em que o consórcio entre girassol + *U. ruziziensis* se destacou para os dois primeiros e o milho + *C. spectabilis* para o Cu. Na safra 2017/18, a *U. ruziziensis* destacou-se quanto ao acúmulo de nutrientes no momento da dessecação, com exceção do B, Cu e Mn (Tabela 3), no qual, respectivamente, os maiores índices foram obtidos pelos sistemas *C. spectabilis*, Milho + *C. spectabilis* e Milho + *U. ruziziensis*.

A *C. spectabilis* acumulou maiores níveis de N, K, S, B e Zn entre os sistemas na safra 2016/17 e de B na safra 2017/18 (Tabela 2). O expressivo acúmulo de N frente aos demais sistemas é justificado pela capacidade da cultura em efetuar fixação biológica, o que a torna uma fonte significativa para inseri-la no solo. Quanto ao acúmulo de S e B pela *C. spectabilis*, estes apresentam correlação com a síntese de bases nitrogenadas pelo fato de a cultura ter apresentado maior acúmulo de N, logo seria provável maior necessidade desses nutrientes para o equilíbrio nas atividades metabólicas da planta. O B estimula a absorção radicular de Zn, principalmente pela sua atividade no desenvolvimento meristemático, dessa forma houve incremento na absorção desse micronutriente. Perin et al. (2004), em estudos com adubação verde na zona da mata mineira, destacaram a importância da crotalária para inserção de N ao solo através de sua capacidade de fixar o N_2 atmosférico.

Quanto a *U. ruziziensis*, os nutrientes mais acumulados por esse sistema na safra 2016/17 foram o P, Ca e Mg. Já na safra2017/18, no momento da dessecação, obteve os maiores valores de acúmulo para todos os macronutrientes e de Zn. Isso foi possível pela elevada produção de fitomassa da cultura e seu sistema radicular vigoroso, que promove a absorção sistêmica desse material ao longo do perfil do solo. Segundo Taiz e Zeiger (2013), o P compõe moléculas energéticas como o ATP e NAPH, além de ser constituinte celular. O Ca compõe a estrutura das paredes celulares como um agente cimentante das pectinas e o Mg está centralizado na composição da molécula de clorofila. Como a *U. ruziziensis* é uma cultura que renova constantemente os tecidos vegetais a partir de sua rebrota, há incremento no acúmulo desses nutrientes em sua fitomassa, fato esse observado pelo comportamento desse sistema de produção.

Estudo realizado por Pacheco et al. (2011) no acúmulo e liberação de nutrientes por culturas de cobertura no Cerrado goiano, destacou a *U. ruziziensis* como uma cultura capaz de acumular significativa quantidade de nutrientes em sua fitomassa, principalmente após o reinício das chuvas em setembro e outubro, e assim, disponibilizá-los após sua decomposição.

Tabela 3. Produção de fitomassa e teores de macro e micronutrientes por culturas anuais e de cobertura no momento da dessecação para a semeadura da soja em sucessão nas safras 2016/17 e 2017/18[(2)].

Sistemas de produção	Safra 2016/17										
	Fitomassa	**Nitrogênio**	**Fósforo**	**Potássio**	**Cálcio**	**Magnésio**	**Enxofre**	**Boro**	**Cobre**	**Manganês**	**Zinco**
	----------(kg ha^{-1})----------							----------(g ha^{-1})----------			
S1: Pousio PD	2.962 B	29,02 D	2,75 B	5,00 D	17,12 B	10,45 C	11,58 B	2,20 C	2,18 D	55,06 E	3,99 D
S3: *C. spectabilis*	7.370 A	165,17 A	7,89 A	70,53 A	42,82 A	22,33 B	26,39 A	23,72A	5,56 B	98,82 C	13,95 A
S4: Milho + *C. spectabilis*	6.466 A	72,48 C	6,27 A	44,94 B	38,92 A	19,91 B	23,02 A	4,78 B	8,94 A	83,40 D	9,79 B
S5: *P. glaucum*	5.972 A	75,31 C	7,34 A	35,71 C	42,82 A	29,26 A	19,59 A	3,39 C	3,45 C	65,20 D	8,66 B
S6: *U. ruziziensis*	6.630 A	111,45 B	7,82 A	34,34 C	68,75 A	20,15 B	22,54 A	3,14 C	3,30 C	74,36 D	9,54 B
S7: Girassol + *U. ruziziensis*	5.394 A	105,77 B	5,88 A	74,81 A	30,69 A	19,15 B	20,55 A	4,16 B	3,22 C	148,59 A	6,91 C
S8: *V. unguiculata*	3.415 B	33,46 D	1,84 B	5,74 D	16,19 B	7,89 C	12,09 B	2,62 C	3,29 C	47,43 E	4,80 D
S9: Milho + *U. ruziziensis*	6.231 A	78,57 C	6,98 A	49,28 B	39,13 A	22,37 B	7,97 B	5,84 B	4,01 C	121,24 B	7,56 C
CV (%)	19,21	22,67	21,43	20,47	22,30	22,69	20,86	25,69	17,50	18,69	20,11
Sistemas de produção	**Safra 2017/18**										
	Fitomassa	**Nitrogênio**	**Fósforo**	**Potássio**	**Cálcio**	**Magnésio**	**Enxofre**	**Boro**	**Cobre**	**Manganês**	**Zinco**
	----------(kg ha^{-1})----------							----------(g ha^{-1})----------			
S1: Pousio PD	2.828,5 C	27,71 D	2,63 D	4,78 B	16,34 D	9,98 C	11,05 C	2,10 C	2,07 D	52,58 C	3,81 C
S3: *C. spectabilis*	4.459,2 B	99,93 B	4,77 C	42,67 A	25,90 C	13,51 C	15,96 B	14,34A	3,36 C	59,78 C	8,44 B
S4: Milho + *C. spectabilis*	5.640,6 B	63,23 C	5,47 C	39,20 A	33,95 B	17,37 B	20,08 B	4,16 B	7,80 A	72,75 C	8,53 B
S5: *P. glaucum*	5.440,6 B	68,60 C	6,69 B	32,53 A	39,00 B	26,65 A	17,84 B	3,09 B	3,14 C	59,40 C	7,88 B
S6: *U. ruziziensis*	7.858,1 A	132,09 A	9,27 A	40,70 A	81,48 A	23,88 A	26,71 A	3,72 B	3,91 C	88,12 B	11,30 A
S7: Girassol + *U. ruziziensis*	3.080,7 C	60,41 C	3,35 D	42,72 A	17,52 D	10,93 C	11,73 C	2,37 C	1,83 D	84,87 B	3,94 C
S8: *C. cajan*	5.729,8 B	56,15 C	3,09 D	9,62 B	27,15 C	13,23 C	20,28 B	4,40 B	5,52 B	79,58 B	8,05 B
S9: Milho + *U. ruziziensis*	5.353,2 B	67,50 C	5,99 B	42,34 A	33,61 B	19,21 B	6,85 D	5,02 B	3,44 C	104,16 A	6,49 B
CV (%)	16,99	17,88	17,85	20,07	18,14	16,97	17,06	22,01	20,15	17,71	17,22

(2) Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, à 5% de probabilidade.

Os maiores acúmulos de K foram nos sistemas com *C. spectabilis* e girassol + *U. ruziziensis,* na safra 2016/17 (Tabela 3). No sistema composto pela C. spectabilis, o elevado acúmulo de K foi obtido pela elevada produção de fitomassa. Já no consórcio entre girassol + *U. ruziziensis*, o acúmulo de K reflete a elevada capacidade de extração desse nutriente pelo girassol, com significativo acúmulo em sua parte aérea e reduzida exportação para a produção de grãos, o que incrementa a ciclagem desse nutriente ao sistema de produção. Esta elevada capacidade de exploração e extração do K do solo pelo girassol também foi observada por Castro et al. (1997). Para o Cu (Tabela 3), o maior acúmulo apresentado pelo consórcio entre milho + *C. spectabilis* é reflexo de características morfofisiológicas intrínsecas a cada uma das culturas, que demandam maior necessidade desse micronutriente e consequentemente busca uma exploração sistêmica para suprir a demanda desse sistema de produção.

Para a liberação dos nutrientes nos dois anos agrícolas, houve semelhança entre os tempos de meia-vida do macronutrientes, com exceção do K e S que sofreram rápida liberação pelos sistemas de produção. Quanto ao N (Figura 3A e 3B), o maior tempo de meia-vida foi observado no sistema

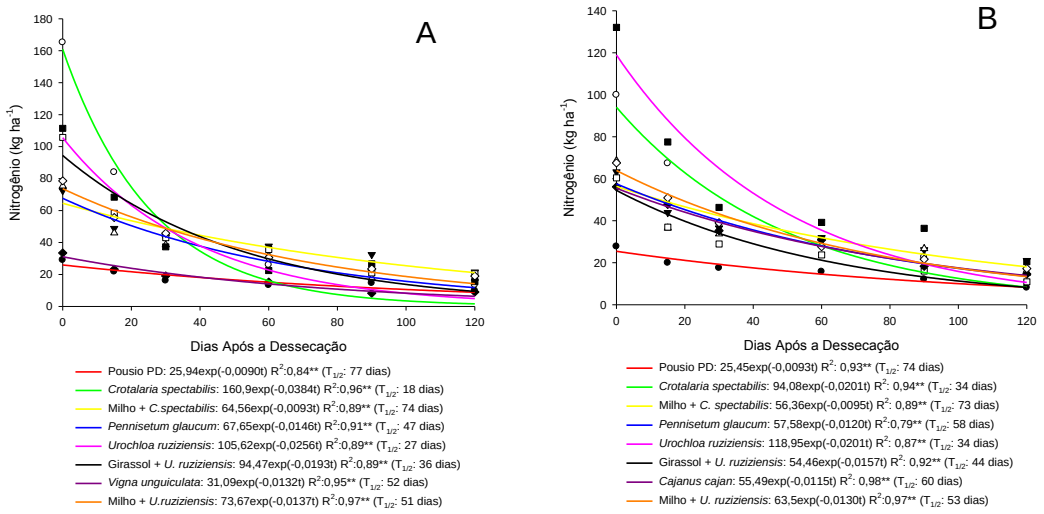

Figura 3. Acúmulo e liberação de nitrogênio por culturas anuais e de cobertura safra 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Rondonópolis – MT.

pousio PD e o menor na *C. spectabilis*, o que demonstra a diferença na dinâmica de liberação desse nutriente. Essa diferença de liberação pelos

sistemas é justificada pela discrepância na concentração de moléculas lignocelulósicas desses materiais, já que sua liberação está estritamente ligada a essa composição. Os materiais que compreendem o pousio (PD) são plantas espontâneas que possuem elevada relação caule/folha, o que incrementa a recalcitrância dos tecidos vegetais e dificulta sua decomposição. A *C. spectabilis*, por ser uma leguminosa, possui menor relação C/N, o que facilita sua decomposição e liberação de N ao sistema de produção.

Silva & Menezes (2007) em um estudo realizado com culturas de cobertura como adubo verde, constataram a significativa importância do uso da crotalária para inserção de N e sua acentuada liberação ao solo a partir de sua decomposição, provavelmente pela sua baixa relação C/N, que favoreceu sua mineralização e incorporou uma biomassa lábil.

Para o P, a *C. spectabilis* e o consórcio milho + *C. spectabilis,* na safra 2016/17, apresentaram maiores tempos de meia-vida (71 dias) e na safra 2017/18, o sistema milho + *C. spectabilis* obteve o maior (69 dias). Em ambos anos agrícolas, a *U. ruziziensis* apresentou menores valores de meia-vida com 34 dias (Figuras 4A e 4B). A presença de P nos tecidos vegetais está presente em moléculas energéticas, composição de paredes celulares e acompanhante de proteínas. Assim, sua dinâmica de liberação dá-se a partir do momento da ruptura das paredes celulares no momento da dessecação e oscila com a intensidade dos índices pluviométricos, que podem acelerar sua liberação com o incremento na intensidade das chuvas. A liberação mais intensa pela *U. ruziziensis*, demonstrada pelo seu tempo de meia-vida, reflete a presença de tecidos mais jovens, provenientes de sua rebrota na entressafra, uma vez que estes apresentam menor relação C/N, o que favorece a liberação de P ao solo.

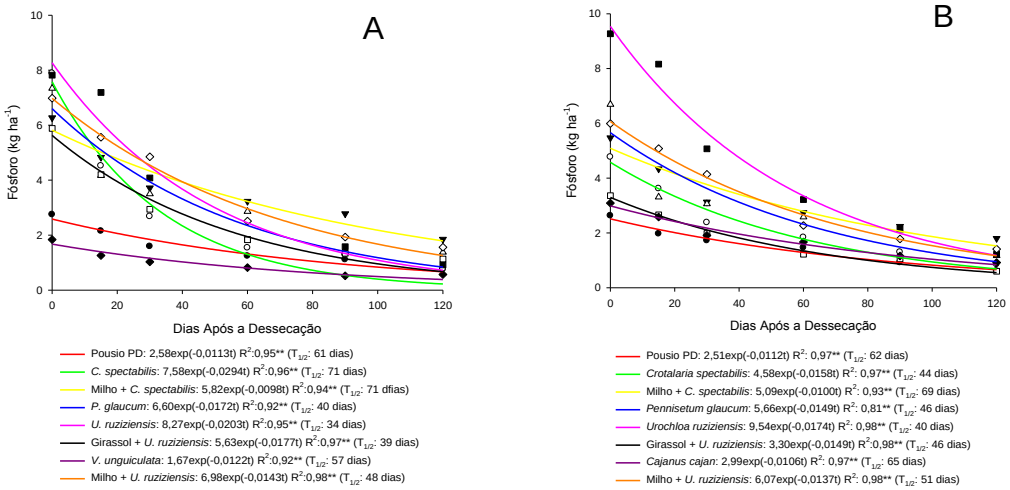

Figura 4. Acúmulo e liberação de fósforo por culturas anuais e de cobertura safra 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Rondonópolis – MT.

O K apresentou menor tempo de meia-vida dentre todos os macronutrientes, com média de 15 dias e 16 dias nas safras 2016/17 e 2017/18, respectivamente (Figuras 5A e 5B). Essa rápida liberação é dada pelo fato de o K não estar ligado a nenhum componente estrutural das células vegetais e sua maior parcela se alocar nos vacúolos celulares, que facilita a lixiviação do material dos tecidos vegetais para o solo (TAIZ & ZEIGER, 2013). Os tratamentos que apresentaram menores tempos de meia-vida foram a *C. spectabilis* e o *P. glaucum*, em ambas as safras. Tal comportamento justificado pela baixa relação C/N apresentada pela *C. spectabilis*, o que acarreta a intensificação de sua liberação. Já para o *P. glaucum*, por ter entrado em estádio de senescência antes das demais culturas, provocou redução no tempo de liberação do K, mesmo com uma maior relação C/N, se comparado com a *C. spectabilis*.

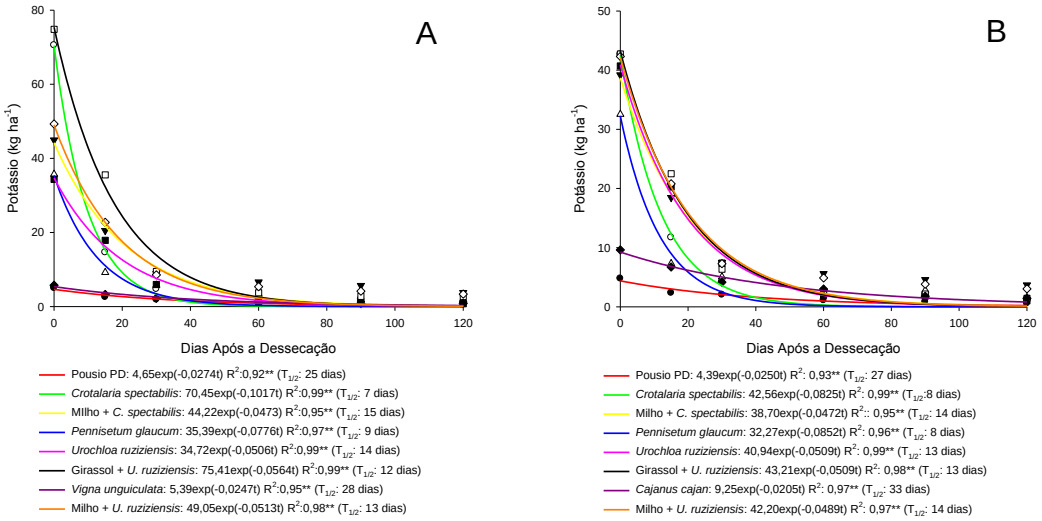

Figura 5. Acúmulo e liberação de potássio por culturas anuais e de cobertura nas safras 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Rondonópolis – MT.

O Ca e o Mg apresentaram comportamento semelhante em sua liberação, com média de 45 e 49 dias respectivamente em ambas safras (Figuras 6A, 6B, 7A e 7B). A correlação entre as dinâmicas de liberação desses nutrientes ao solo é relacionada à função desempenhada por cada um deles, o Ca por estar principalmente ligado a cimentação das paredes celulares e o Mg como átomo central da molécula de clorofila. Inicialmente, há uma liberação acentuada devido à parte desse material estar presente nos vacúolos celulares. Após essa etapa inicial, a presença desses nutrientes está em moléculas de decomposição mais lenta, assim, auxilia no incremento do tempo de meia-vida do Ca e Mg nos sistemas de produção. Em estudo com leguminosas perenes em consórcio no estado do Rio de Janeiro, Espíndola et al. (2006) encontraram comportamento semelhante para a liberação de Ca e Mg, no qual correlacionaram tal comportamento com a função da composição da fitomassa, relação C/N, teores de compostos fenólicos e lignina.

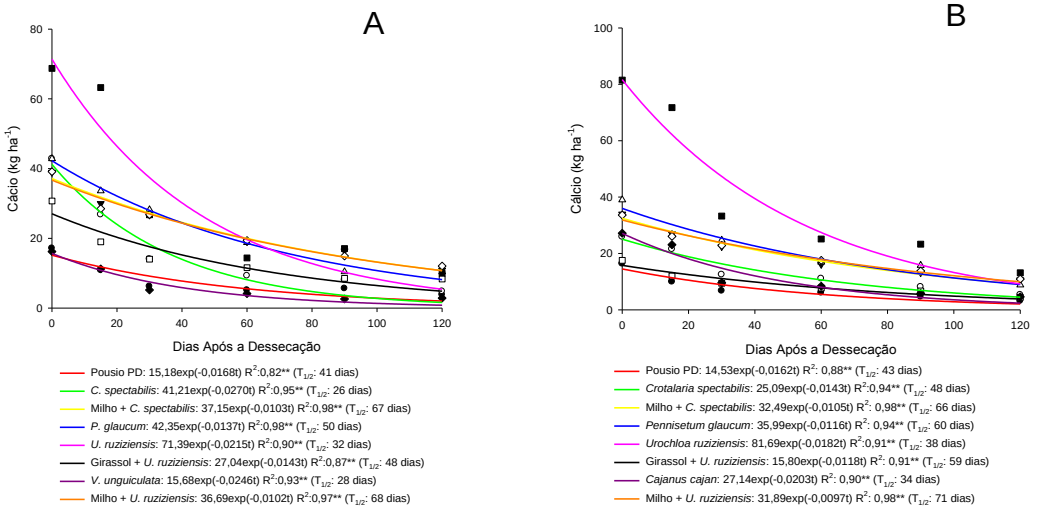

Figura 6. Acúmulo e liberação de cálcio por culturas anuais e de cobertura nas safras 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Rondonópolis – MT.

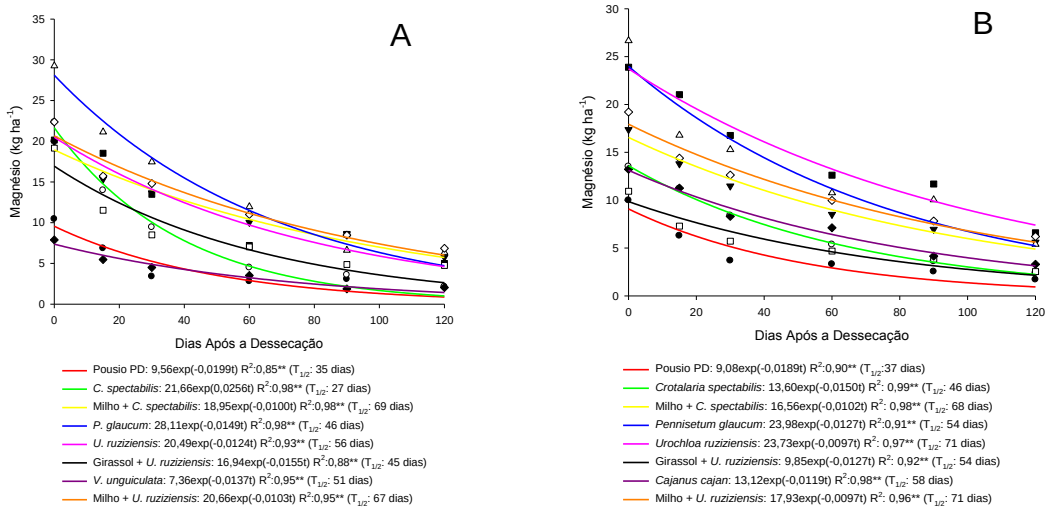

Figura 7. Acúmulo e liberação de magnésio por culturas anuais e de cobertura nas safras 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Rondonópolis – MT.

Quanto ao comportamento apresentado pelo S, pôde-se identificar rápida liberação ao solo, com média de 24 dias entre os tratamentos (Figuras 8A e 8B). O S tem como funções a ativação enzimática, constituinte de aminoácidos e proteínas, materiais que com a senescência da cultura e a lise celular são de fácil liberação, como observado no trabalho.

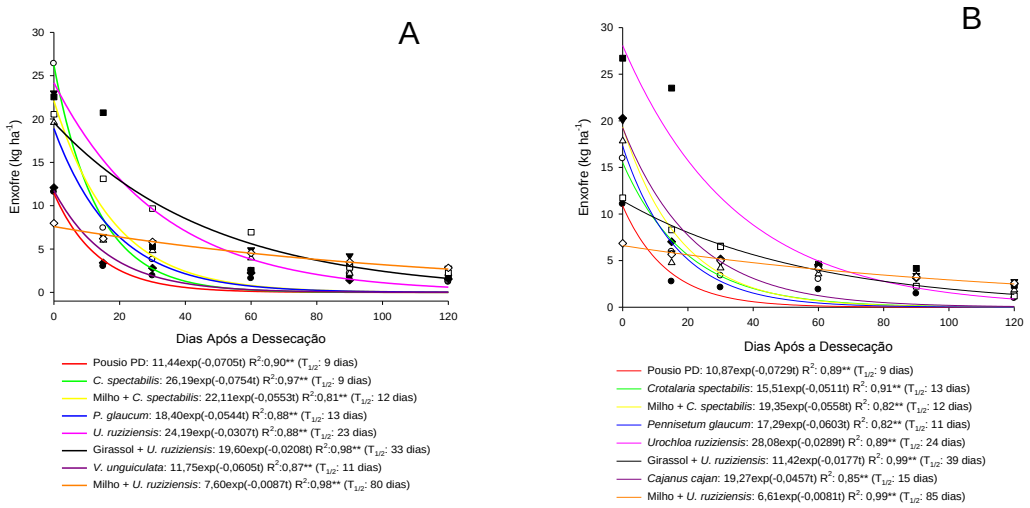

Figura 8. Acúmulo e liberação de enxofre por culturas anuais e de cobertura nas safras 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Rondonópolis – MT.

Para os micronutrientes, a *C. spectabilis* apresentou menores tempo de meia-vida nos dois anos, com exceção do Cu, na qual o menor valor foi no consórcio milho + *C. spectabilis* (Figuras 9A e 9B, 10A e 10B, 11A e 11B, 12A e 12B). Hansel e Oliveira (2016) em análise da importância dos micronutrientes para a cultura da soja, notaram que sua rápida liberação ao solo com a lise celular se dá por serem ativadores enzimáticos e não estarem ligados a alguma estrutura específica.

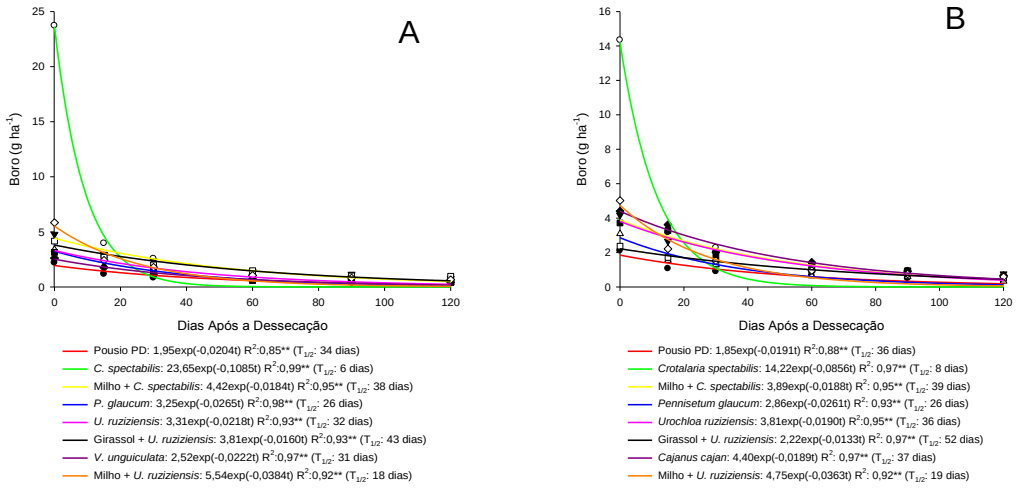

Figura 9. Acúmulo e liberação de boro por culturas anuais e de cobertura nas safras 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Rondonópolis – MT.

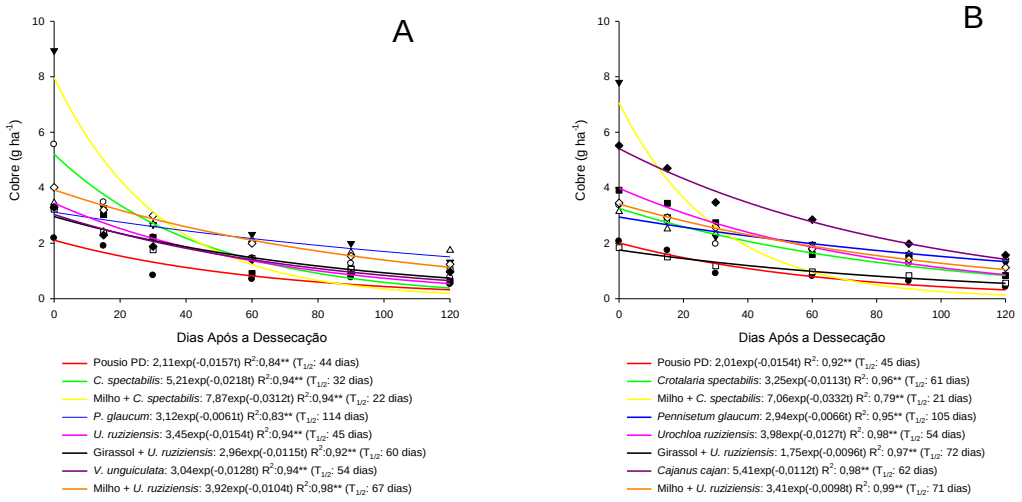

Figura 10. Acúmulo e liberação de cobre por culturas anuais e de cobertura nas safras 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Rondonópolis – MT.

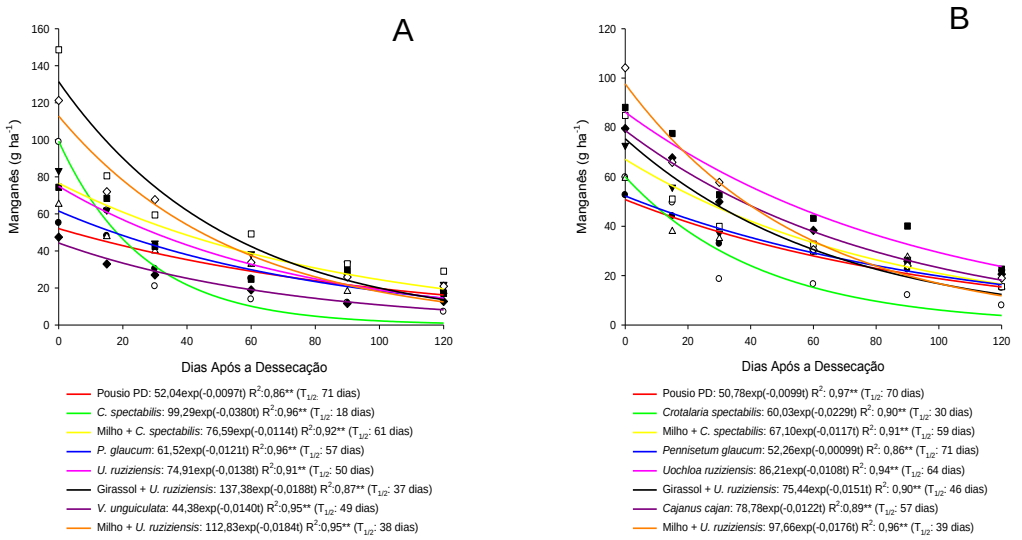

Figura 11. Acúmulo e liberação de manganês por culturas anuais e de cobertura nas safras 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Rondonópolis – MT.

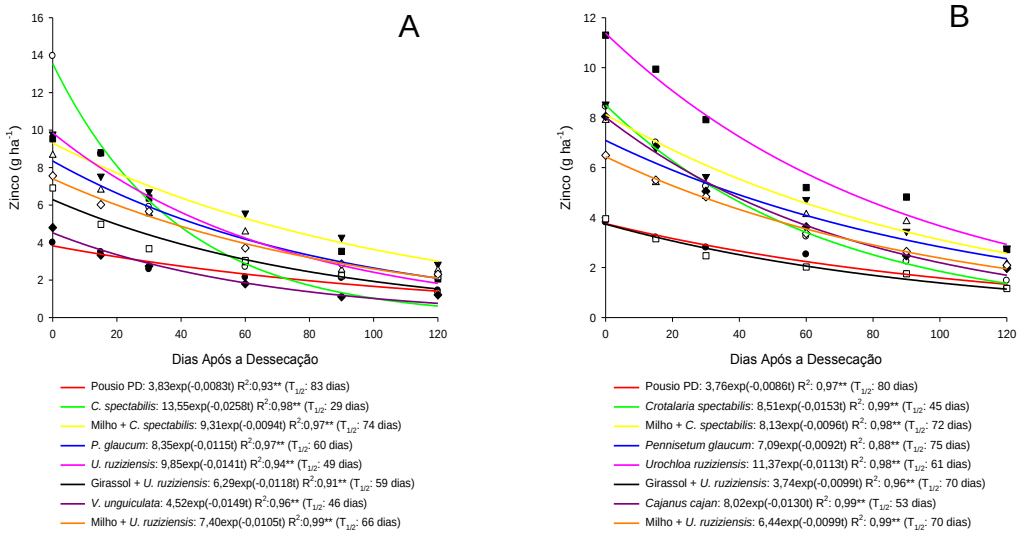

Figura 12. Acúmulo e liberação de zinco por culturas anuais e de cobertura nas safras 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Rondonópolis – MT.

Houve diferença significativa na produtividade da soja na safra 2016/17 e 2017/18 (Tabela 4), o que demonstra a importância das culturas de cobertura na ciclagem de nutrientes. Os tratamentos que proporcionaram maior produtividade à cultura da soja foram a *C. spectabilis*, girassol + *U. ruziziensis*, *V. unguiculata* e milho + *C. spectabilis* na safra 2016/17. Já na safra 2017/18, os sistemas com maior produtividade foram *C. spectabilis*, Milho + *C. spectabilis*, *P. glaucum*, *U. ruziziensis* e milho + *U. ruziziensis.* As médias de tempo de meia-vida para os nutrientes nesses sistemas de produção foram de aproximadamente 60 dias, o que coincide com a maior exigência pela cutura da soja, que é próximo ao seu florescimento e consequentemente incrementaram a sua produtividade.

Tabela 4. Produtividade de grãos de soja em sucessão a culturas anuais e de cobertura nas safras 2016/17 e 2017/18.

Sistemas de produção	**Produtividade de grãos (kg ha^{-1})**
	Safra 2016/17
S_1: Pousio PD	3.741 B
S_2: Pousio PC	3.291 B
S_3: *C. spectabilis*	4.385 A
S_4: Milho + *C. spectabilis*	4.698 A
S_5: *P. glaucum*	3.970 B
S_6: *U. ruziziensis*	3.774 B
S_7: Girassol + *U. ruziziensis*	4.458 A
S_8: *V. unguiculata*	4.603 A
S_9: Milho + *U. ruziziensis*	4.074 B
CV (%)	13,06
Sistemas de produção	**Produtividade de grãos (kg ha^{-1})**
	Safra 2017/18
S_1: Pousio PD	3.817 B
S_2: Pousio PC	3.415 B
S_3: *C. spectabilis*	4.277 A
S_4: Milho + *C. spectabilis*	4.140 A
S_5: *P. glaucum*	4.433 A
S_6: *U. ruziziensis*	4.359 A
S_7: Girassol + *U. ruziziensis*	3.690 B
S_8: *C. cajan*	3.633 B
S_9: Milho + *U. ruziziensis*	4.390 A
CV (%)	5,12

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

2.4 CONCLUSÕES

1. A *C. spectabilis,* milho + *C. spectabilis,* girassol + *U. ruziziensis e V. unguiculata* na safra 2016/17, e a U. ruziziensis na safra 2017/18, promoveram os maiores acúmulos de fitomassa entre os sistemas de produção no momento da dessecação de manejo em plantio direto no Cerrado;
2. A *C. spectabilis* e *U. ruziziensis* destacaram-se no acúmulo de nutrientes na safra 2016/17, com exceção do K, Mg e Cu, em que o girassol + *U. ruziziensis* se destacou para K e Mg e o milho + *C. spectabilis* para o Cu;
3. A *U. ruziziensis* apresentou elevada capacidade de acumular nutrientes em sua parte aérea;
4. Os sistemas com *C. spectabilis*, milho + *C. spectabilis*, girassol + *U. ruziziensis, V. unguiculata, P. glaucum, U. ruziziensis e* milho + *U. ruziziensis* incrementam a produtividade de grãos da soja em sucessão.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, J. D. A. et al. **Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto.** Embrapa Trigo-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2014.

CASTRO, C. de et al. A cultura do girassol. **Embrapa Soja-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 1997.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos.** 9º Levantamento da Produção de Grãos – Safra 2017/18. Brasília, v. 5, 2018. Disponível em: www.conab.gov.br. Acessado em: 12/06/2018.

CRUSCIOL, C.A.C. et al. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.161-168, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA SOJA **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil 2012 e 2013.** Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. 261 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 15).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, p.353, 2013.

ESPINDOLA, J. A. A. et al. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, 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.

FERREIRA, D. F. **Sisvar: a computer statistical analysis system**. Ciência e Agrotecnologia (UFLA), v.35, p.1039-1042, 2011.

HANSEL, F. D. & OLIVEIRA, M. L. **Importância dos micronutrientes na cultura da soja no Brasil**. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Informacões agronômicas, Nº 153, 2016.

NOGUEIRA, A. R. A. et al. **Tecido vegetal**. In: NOGUEIRA, A.R.A. & SOUZA, G.B., eds. Manual de laboratórios: Solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos. São Carlos, Embrapa Pecuária Sudoeste, 2005. p.145-199.

PACHECO, L. P. et al. **Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.43, p.815-823, 2008.

PACHECO, L. P. et al. 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**, v.35, p.1787-1799, 2011.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and chemistry**. 1. ed. San Diego: Academic Press, 1989. 275 p.

PERIN, A. et al. **Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado.** Pesquisa Agropecuária Brasileira. v.39, p.35-40, 2004.

RODRIGUES TORRES, J. L. et al. Produção de fitomassa e decomposição de resíduos culturais de plantas de coberturas no cultivo da soja em sucessão. **Revista Caatinga**, v.27, p.247-253, 2014.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 416p.

SOUZA, A. P. et al. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, v.01, p.34-43, 2013.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Plant phisiology**. 5 ed. Sunderland: Sinauer Associates Inc., 2013. 782 p.

TORRES, J. L. R. et al. Produção de matéria seca por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v43, p.421-428, 2008.

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

3. CAPÍTULO II. CONVERSÃO DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA EM FITOMASSA E ACÚMULO DE NUTRIENTES POR CULTURAS ANUAIS E DE COBERTURA NA SAFRINHA

RESUMO

O objetivo foi avaliar culturas anuais e de cobertura semeadas na safrinha na conversão da radiação fotossinteticamente ativa em produção de fitomassa e ciclagem de nutrientes em sistemas de produção sob plantio direto. O experimento foi conduzido durante as safras 2015/16 e 2016/17, no Câmpus de Rondonópolis da Universidade Federal de Mato Grosso, em um Latossolo Vermelho distrófico em delineamento de blocos ao acaso com nove sistemas em quatro repetições. Os tratamentos foram: S_1: Pousio plantio direto; S_2: Pousio preparo convencional; S_3: *Crotalaria spectabilis*; S_4: Milho+*C. spectabilis*; S_5: *Pennisetum glaucum*; S_6: *Urochloa ruziziensis*; S_7: Girassol+*Urochloa ruziziensis*; S_8: *Vigna unguiculata*; S_9: Milho+*U. ruziziensis*. As avaliações de fitomassa foram realizadas em duas épocas, no pleno florescimento e após a colheita de grãos das culturas de cobertura. Nos sistemas em consórcio, as culturas de cobertura foram coletadas separadamente das culturas principais. Posteriormente, foram determinadas as concentrações de macronutrientes e realizado o cálculo da eficiência no uso da radiação para cada nutriente. A *U. ruziziensis* foi eficiente quanto a interceptação de RFA, com ε_{int} de 95%. Os sistemas *C. spectabilis*, *U. ruziziensis* e *V. unguiculata* foram eficientes no uso da radiação para o acúmulo de nitrogênio, potássio e magnésio no florescimento. Os sistemas milho + *C. spectabilis*, *P. glaucum*, girassol + *U. ruziziensis* e milho + *U. ruziziensis* foram eficientes no uso da radiação para a produção de fitomassa nas duas épocas de avaliação, acúmulo de fósforo e cálcio no florescimento e de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na senescência.

Palavras-chave: Eficiência fotossintética, Sistema Plantio Direto, eficiência nutricional.

ABSTRACT

PHOTOSYNTHETICALLY ACTIVE RADIATION IN CONVERSION OF PHYTOMASS AND NUTRIENT ACCUMULATION BY ANNUAL CULTURES AND COVER CROPS IN SECOND SEASON

The objective was to evaluate annual and cover crops sown in the second season in the conversion of photosynthetically active radiation to phytomass production and nutrient cycling in no-tillage systems. The experiment was conducted during the 2015/16 and 2016/17 harvests, in the Rondonopolis Campus of the Federal University of Mato Grosso, in a Dystrophic Oxysol in a randomized block design with nine treatments in four replications. The treatments was: S_1: Fallow no-tillage; S_2: Fallow conventional preparation; S_3: *Crotalaria spectabilis*; S_4: Maize+*C. spectabilis*; S_5: *Pennisetum glaucum*; S_6: *Urochloa ruziziensis*; S_7: Sunflower+*Urochloa ruziziensis*; S_8: *Vigna unguiculata*; S_9: Maize+*U. ruziziensis*. The phytomass evaluations were carried out in two seasons, at full flowering and after harvesting of the cover crops. In intercropping systems, cover crops were collected separately from main crops. Subsequently, the concentrations of macronutrients were determined and the efficiency of radiation use was calculated for each nutriente. *U. ruziziensis* was efficient in the interception of RFA, with ε_{int} of 95%. The systems *C. spectabilis*, *U. ruziziensis* and *V. unguiculata* were efficient in the use of radiation for the accumulation of nitrogen, potassium and magnesium in flowering. The maize + *C. spectabilis*, *P. glaucum*, sunflower + *U. ruziziensis* and maize + *U. ruziziensis* systems were efficient in the use of radiation for phytomass production in the two evaluation periods, accumulation of phosphorus and calcium in flowering and nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium in senescence.

.

Key words: Photosynthetic efficiency, No-tillage System, nutritional efficiency.

3.1 INTRODUÇÃO

O manejo de culturas anuais e de cobertura no Cerrado mato-grossense é importante para a manutenção e/ou melhorias dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, principalmente em áreas de plantio direto (PD) (CARNEIRO et al., 2008). Uma das premissas para o estabelecimento do PD é a cobertura permanente do solo e esta, por sua vez, está associada à capacidade de produção de fitomassa, em quantidade e qualidade (PIRES et al., 2008). Para que se tenha benefício no sistema com a produção de fitomassa é necessário que as culturas de cobertura sejam eficientes na conversão de energia luminosa em matéria seca. Além disso, que consigam acumular nutrientes em seu tecido vegetal no menor período possível, para maior eficiência no aproveitamento das chuvas de finais de verão e, com sua mineralização, beneficiar a cultura em sucessão.

Para o incremento na eficiência de conversão de radiação em desenvolvimento aéreo da cultura, é necessário associar aspectos morfológicos à sua capacidade de interceptação. As principais características associadas à interceptação luminosa são a densidade de folhas, sua arquitetura, arranjo e índice de área foliar (IAF), por afetarem diretamente a quantidade e a angulação de luz interceptada (COSTA et al., 2016). O IAF é um fator ligado ao melhor aproveitamento da radiação, visto que o incremento no uso está relacionado à unidade fotossintética por área foliar. Quando seu valor ultrapassa o nível crítico, esse provoca sombreamento excessivo da parte de baixo do dossel e torna inativos os tecidos fotossintéticos com redução da eficiência no uso da radiação (MARCHIORI et al., 2014).

O auto sombreamento provoca redução no desenvolvimento da cultura, com decréscimo na taxa de crescimento, assim, a atenuação da radiação sem promover o sombreamento total abaixo do dossel é significativa, e esse é mensurado por meio do coeficiente de extinção (k). Esse coeficiente representa o quanto da luminosidade incidente acima do dossel é atenuado até abaixo do mesmo (FAGUNDES et al., 2001).

Com a associação dos conceitos morfológicos das culturas de cobertura, IAF e coeficiente de extinção é possível estabelecer associações com o seu

desenvolvimento, atenuação e eficiência no uso da radiação (HUANG et al., 2016). Com o incremento na eficiência de interceptação de RFA, há aumento do desenvolvimento de parte aérea, acúmulo de nutrientes e estabelecimento da cultura. As culturas de cobertura sob plantio direto são eficientes na conversão da radiação ao fechar o dossel e promover supressão de daninhas, ao elevar a produção de fitomassa e acumular nutrientes para incrementar a produtividades da soja em sucessão.

Assim, objetivou-se avaliar culturas anuais e de cobertura semeadas em safrinha quanto à eficiência na interceptação e conversão da radiação fotossinteticamente ativa em produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes no Cerrado sul mato-grossense.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado nas safras de 2015/16 e 2016/17, na Estação Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT, Campus Universitário de Rondonópolis, latitude 16º27'41.75" sul e longitude 54º34'52.55" oeste, altitude de 292 metros. O solo da área é um Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2013), com relevo plano, anteriormente ocupado com vegetação de Cerrado. O clima da localidade de estudo, conforme a classificação de Köppen é Aw (SOUZA et al., 2013). A precipitação e temperaturas máximas e mínimas do período de condução do experimento encontram-se na Figura 13.

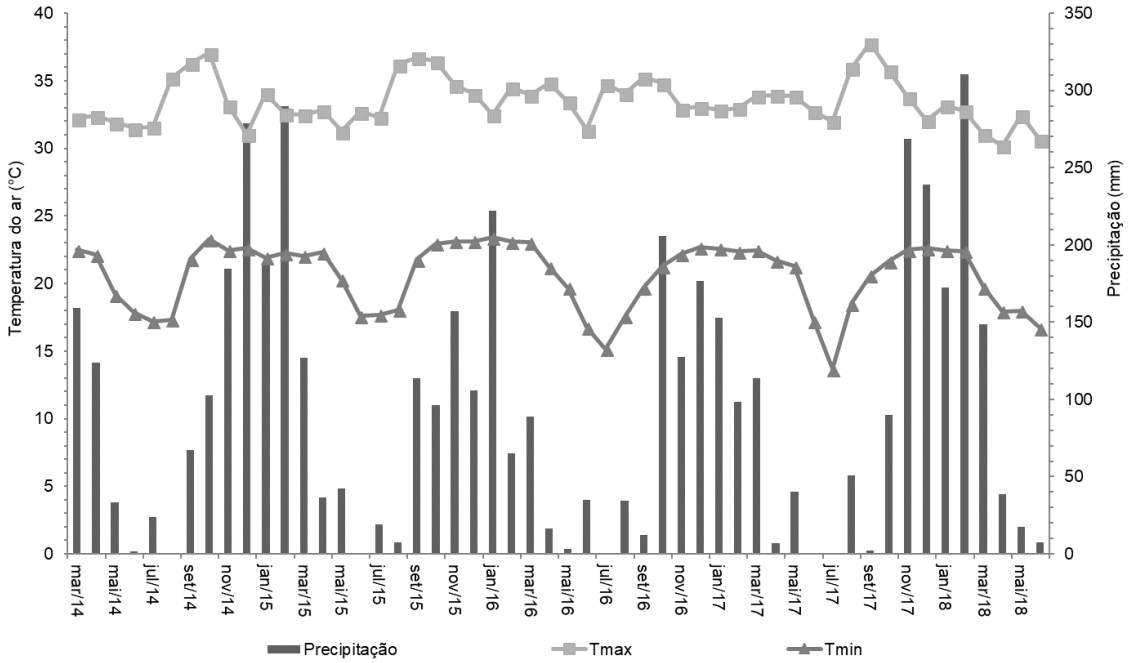

Figura 13. Precipitação mensal acumulada e temperaturas médias mínima e máxima do ar durante a condução do experimento, em Rondonópolis, MT.

Antes da instalação do experimento foi realizada a limpeza da área, seguida de aração e gradagem, com retirada de raízes de forma manual. Em seguida, realizou-se amostragem de solo para caracterização química e textural (Tabela 5). Em 08/10/2013 foi realizada a calagem (4.000 kg ha^{-1}) com filler (PRNT: 99,02%) e incorporado com grade aradora e grade niveladora.

Tabela 5. Atributos físico-químicos do Latossolo Vermelho distrófico nos sistemas de produção com culturas anuais e de cobertura nas safras 2015/16 e 2016/17.

Sistemas de Produção	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	MO
	$CaCl_2$	mg dm^{-3}	----------cmol$_c$ dm^{-3}----------					g kg^{-1}
Pousio PD	5,0	3,4	0,3	1,1	0,5	3,0	1,9	18,2
Pousio PC	5,0	5,0	0,3	1,0	0,5	3,3	1,8	16,8
C. spectabilis	5,0	4,3	0,3	1,0	0,5	3,4	1,8	18,7
Milho + *C. spectabilis*	4,8	4,2	0,3	1,1	0,4	3,8	1,8	18,5
P. glaucum	5,0	5,5	0,2	0,9	0,5	2,9	1,6	16,3
U. ruziziensis	5,3	3,3	0,3	1,2	0,6	3,6	2,1	22,2
Girassol + *U. ruziziensis*	5,2	5,5	0,3	1,2	0,5	3,1	2,0	18,2
V. unguiculata	4,6	3,9	0,3	0,8	0,3	3,8	1,4	16,8
Milho + *U. ruziziensis*	4,9	3,6	0,2	1,4	0,6	3,2	2,2	19,0

P, fósforo disponível (Mehlich 1); K^+, Ca^{2+}e Mg^{2+}trocáveis; H+Al, hidrogênio + alumínio; SB, soma de bases; MO, matéria orgânica.

O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições e nove sistemas de produção de culturas: S_1- Pousio plantio direto; S_2 – Pousio preparo convencional; S_3 - *Crotalaria spectabilis*; S_4 –Milho (*Zea mays*) + *C. spectabilis*; S_5 *Pennisetum glaucum*; S_6 –*Urochloa ruziziensis*; S_7 – Girassol (*Helianthus annuus*) + *Urochloa ruziziensis*; S_8 –Feijão-caupi (*Vigna unguiculata*); S_9 – Milho (*Zea mays*) + *U. ruziziensis*. Cada unidade experimental apresentou dimensões de 7 m de largura x 9 m de comprimento, com área total, por parcela, de 63 m^2 e área útil de 25 m^2.

A colheita da soja na safra 2014/15 foi realizada em 02/03/2015, e em seguida, implantadas as culturas em safrinha. Em 22/09/2015 realizou-se dessecação de manejo da área em todos os sistemas, exceto aqueles que continham a *Urochloa ruziziensis*, em que a dessecação ocorreu 30 dias antes dos demais sistemas, no dia 22/08/2015, apenas para a safra 2015/16. A semeadura da soja safra 2015/16 foi realizada em 29/10/2015 utilizando a cultivar TMG 1179 RR, com espaçamento entrelinhas de 0,45 m e população desejada de 400.000 plantas ha^{-1} e a colheita realizada em 16/02/2016. Nas duas safras, a soja foi semeada em plantio direto em todos os sistemas de produção, exceto no sistema com pousio em PC, em que as parcelas foram

submetidas a duas gradagens (grade aradora + niveladora), 30 dias antes da semeadura.

A adubação utilizada na soja nas duas safras, foi de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 22 kg ha^{-1} de N, via monoamônio fosfato, no sulco de semeadura e 100 kg ha^{-1} de K_2O, via cloreto de potássio, aplicado metade a lanço em pré semeadura e o restante quando a soja estava em estádio fenológico V_4. Nas culturas anuais semeadas em safrinha (milho, *V. unguiculata* e girassol) as adubações seguiram recomendações de Souza e Lobato (2004), enquanto que, nas culturas de cobertura não foram utilizados fertilizantes.

As avaliações de fitomassa foram realizadas em duas épocas, no pleno florescimento e após a colheita de grãos das culturas de cobertura. Foi realizada a contagem do número de plantas por metro em três pontos da área útil e coletadas seis plantas mais representativa na parcela. Nos sistemas em consórcio, as culturas de cobertura foram coletadas separadamente das culturas principais. Após a coleta, as folhas foram separadas dos caules para determinação dos pesos das fitomassas por compartimento e determinação da área foliar por meio do integrador de área foliar (LI-3100 Area Meter, LI-COR Bio-Science).

Com a área foliar e a unidade de área de solo, foi realizado o cálculo de índice de área foliar (IAF), expresso em m^2 m^{-2}, a partir da equação: ($\mathrm{IAF} = \frac{(\text{Área foliar x Estande médio})}{(\text{Estande coletado x } 4500)}$). Em seguida, as folhas e caules foram levados para a estufa de circulação forçada a 60 °C por 72 h e, posteriormente, pesadas para estimar a produção de fitomassa (kg ha^{-1}). Após a pesagem, foram moídas em moinho tipo Willey (malha de 2 mm) para posterior determinação da concentração de nutrientes.

Os valores de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foram obtidos apenas no florescimento por meio da coleta de dois pontos representativos da parcela pelos sensores quantum localizados na barra do aparelho CI-110 (Plant Canopy Imager, CID Bio-Science, Washington, USA) acoplado a um tablet que possui o software CI110 do CID (versão 5.1.0.1110). A RFA interceptada (RFA_{int}) foi calculada pela equação descrita por Kunz et al. (2007): RFA_{int}= $RFA_{incidente}$ – $RFA_{abaixo\ do\ dossel}$. Nos sistemas consorciados, as leituras foram

feitas acima do dossel da cultura principal, acima do dossel da cultura em consórcio e abaixo do dossel de ambas as culturas.

Para estimativa da eficiência na interceptação da radiação (ε_{int}) foi utilizado a equação descrita por Radin et al. (2003), como a razão entre a $RFA_{interceptada}$ e a $RFA_{incidente}$: ε_{int}= $RFA_{interceptada}/RFA_{incidente}$. Com a quantificação da fitomassa seca e a $RFA_{incidente}$ na cultura principal e no consórcio, foi feito o índice de eficiência no uso da radiação (EUR), expresso g MJ^{-1}, pela seguinte equação: ($\mathrm{EUR} = \frac{(\text{Fitomassa seca}/10)}{\text{Radiação interceptada}}$).

Após obter-se os dados de IAF, $RFA_{incidente}$ e $RFA_{abaixo\ do\ dossel}$, foi calculado o coeficiente de extinção k, afim de verificar a atenuação da radiação pelas culturas de cobertura. A metodologia utilizada foi proposta por Sheehy & Cooper (1973), descrita pela equação: k= [$\log_e$ ($RFA_{abaixo\ do\ dossel}/RFA_{incidente}$)]/IAF.

Com os valores do coeficiente k, foi possível realizar o cálculo do índice de área foliar necessário para interceptar 50% da radiação incidente (IAF_{50}). Essa variável tem como objetivo identificar a efetividade das culturas na interceptação de radiação, mesmo com menor área foliar. O cálculo, expresso em m^2 m^{-2}, foi realizado por meio da equação: IAF_{50}= 0,693/k.

Para determinação das concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), utilizaram-se metodologias propostas por Nogueira et al. (2005). Assim que se determinaram suas respectivas concentrações, realizou-se o cálculo da eficiência no uso da radiação para cada nutriente (EUR-N; EUR-P; EUR-K; EUR-Ca e EUR-Mg), pela seguinte equação, expresso em g MJ^{-1}:

$$(\mathrm{EUR_Nutriente} = \frac{(\text{quantidade do nutriente na fitomassa da parte aérea}/10)}{\mathrm{RFAinterceptada}}).$$

Após as avaliações e obtenção dos dados, foi realizada média dos dois anos para todas as variáveis analisadas. Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando significativas, comparadas pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade, com auxílio do software SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2011).

As variáveis também foram submetidas à análise de componentes principais (PCA). Essa avaliação tem como objetivo identificar a relação entre

as variáveis e os tratamentos. Essas análises foram realizadas com o auxílio do software Primer v6 e Permanova + (Anderson, 2005). Como pré-tratamento dos dados se realizou a standartização para padronização de unidade das variáveis analisadas.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação da radiação fotossinteticamente ativa interceptada, realizada no florescimento dos sistemas, demonstrou que a *U. ruziziensis* solteira é uma cultura capaz de interceptar maior quantidade de radiação (Tabela 6). Isto ocorreu principalmente pela *U. ruziziensis* ser uma planta estolonífera, que é caracterizada pelo crescimento rasteiro e enraizamento de seus nós. Além disso, sua arquitetura foliar favoreceu a cobertura do solo, pois possui elevada relação folha/colmo, onde a folha representa o principal órgão capaz de incrementar essa interceptação. Devido suas características morfológicas e a alta relação folha/colmo, a ε_{int} chegou a 95% de toda a radiação incidente no dossel da cultura (Tabela 6), a mais significativa entre os sistemas.

Tabela 6. Médias das safrinhas de 2015 e 2016 da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) interceptada e eficiência na interceptação(ε_{int}) no florescimento de culturas de cobertura em cultivo solteiro e consorciado.

SISTEMAS DE PRODUÇÃO	RFA interceptada pela cultura principal	RFA interceptada pelo consórcio	ε_{int} pela cultura principal	ε_{int} pelo consórcio
	MJ $m^{-2}dia^{-1}$	MJ $m^{-2}dia^{-1}$	%	%
Pousio em PD	14,52 C	--	58 C	--
Pousio em PC	14,13 C	--	57 C	--
C. spectabilis	19,67 B	--	78 B	--
Milho+*C. spectabilis*	15,28 C	5,55 B	61 C	22 B
P. glaucum	21,43 B	--	85 B	--
U. ruziziensis	23,42 A	--	95 A	--
Girassol+*U. ruziziensis*	9,86 D	7,22 A	40 D	29 A
V. unguiculata	15,54 C	--	62 C	--
Milho+*U. ruziziensis*	16,22 C	3,81 C	66 C	15 C
CV (%)	8,66	12,19	8,03	1,73

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

A RFA interceptada no sistema consorciado de girassol +*U. ruziziensis* destacou-se diante dos demais sistemas (Tabela 6). A arquitetura foliar do

girassol permitiu maior incidência de RFA abaixo do dossel, o que a tornou mais disponível para a *U. ruziziensis,* que aumentou a sua atividade fotossintética e incrementou o desenvolvimento aéreo. Apesar de o incremento de fitomassa ser significativo para o sistema, é necessário manejar esse consórcio, com época de semeadura e população adequada, para que a *U. ruziziensis* não entre em competição interespecífica por luminosidade, água e nutrientes com a cultura principal. A diferença no desenvolvimento da *U. ruziziensis* em consórcio com o girassol ou com o milho, se dá capacidade do milho em ser mais eficiente na interceptação de RFA e um rápido desenvolvimento inicial, assim, reduz a disponibilidade de radiação para a cultura em consórcio, que consequentemente intensificou o sombreamento e promoveu o estiolamento da *U. ruziziensis*. Em estudo realizado por Ceccon et al. (2015), na avaliação do cultivo de milho com diferentes densidades de plantas em consórcio com *U. ruziziensis*, os autores relataram o efeito do estiolamento do consórcio com o aumento da densidade de milho, por proporcionar menor incidência de radiação abaixo do dossel.

Além da demanda de energia luminosa e a capacidade de interceptá-la, aspectos morfofisiológicos devem ser levados em consideração, visto que esses demonstraram a eficiência de cada cultura em converter a energia química armazenada em produção de fitomassa seca. O milho no sistema em consórcio com a *U. ruziziensis* promoveu maior produção de fitomassa seca (Tabela 7). Isso o leva a apresentar maior eficiência no uso da radiação, pois com menor interceptação de RFA foi capaz de promover seu desenvolvimento aéreo, com produção de 39,89 g de fitomassa seca para cada MJ de energia interceptada (Tabela 7), o mais elevado dentre as culturas principais. Em estudo realizado por Marchão et al. (2010), relataram a eficiência do milho quanto a interceptação de radiação e a conversão em fitomassa, o que demonstra a eficiência dessa cultura no uso da mesma, principalmente quando cultivadas no espaçamento de 0,45 m, por se tornar mais eficiente na interceptação da radiação incidente.

Tabela 7. Médias das safrinhas de 2015 e 2016 da produção de fitomassa seca e eficiência no uso da radiação (EUR) no florescimento de culturas de cobertura sob plantio direto.

SISTEMAS DE PRODUÇÃO	Fitomassa da cultura principal	Fitomassa do consórcio	EUR pela cultura principal	EUR pelo consórcio
	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	g MJ^{-1}	g MJ^{-1}
Pousio em PD	773,9 F	--	2,15 F	--
Pousio em PC	955,6 F	--	2,36 F	--
C. spectabilis	5.200,8 E	--	12,68 E	--
Milho+*C. spectabilis*	14.568,3 B	948 B	35,63 B	2,32 B
P. glaucum	7.627,1 D	--	18,62 D	--
U. ruziziensis	5.158,3 E	--	12,93 E	--
Girassol+*U. ruziziensis*	9.724,1 C	1.923,5 A	23,58 C	4,74 A
V. unguiculata	2.184 F	--	5,32 F	--
Milho + *U. ruziziensis*	16.172,2 A	750,9 C	39,89 A	1,85 B
CV (%)	13,56	21,09	14,77	8,58

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Para o cultivo das culturas de cobertura em consórcio, a *U. ruziziensis* consorciada com o girassol obteve destaque na produção de fitomassa e na EUR (Tabela 7), com valores superiores em 61 e 51% quando comparados com a *U. ruziziensis* e *C. spectabilis* em consórcio com o milho, respectivamente. É importante destacar que esses resultados reforçam a necessidade de monitoramento quanto à possível supressão do girassol pela *U. ruziziensis*, para que não ocorra competição interespecífica e redução de produtividade de grãos. O girassol permite maior dinâmica de intensidade luminosa para a cultura em consórcio por ter filotaxia oposta cruzada, que é a característica do girassol em emitir folhas opostas em um mesmo nó e essas formarem um ângulo de 90º com as folhas opostas do nó seguinte (CARVALHO, 2004). Outra característica que deve ser levada em consideração é que o girassol tem um desenvolvimento inicial lento (CASTIGLIONI, 1997), o que pode favorecer sua supressão pelo consórcio quando manejado incorretamente. Com a redução do ambiente sombreado, a *U. ruziziensis* tem potencial de promover o crescimento inicial e incrementar a área foliar, uma

vez que reduz o estiolamento e possibilita melhor aproveitamento da energia luminosa para estimular o mecanismo fotossintético e o acúmulo de fitomassa.

Quando analisados em conjunto, o coeficiente k e IAF_{50} (Tabela 8), nota-se que o milheto e a *U. ruziziensis* são culturas capazes de atenuar radiação mais instensamente que os demais sistemas, com exceção dos pousios, além de necessitarem de menores valores de IAF_{50}, o que faz com que esses sistemas sejam efetivos quanto à supressão de plantas invasoras. Com o seu rápido estabelecimento inicial, fechamento do dossel e elevada relação folha/colmo, essas culturas interceptam a radiação e promovem o sombreamento de daninhas, que por não terem luminosidade para realizar fotossíntese, acabam por serem suprimidas (SÃO MIGUEL et. al., 2018).

Tabela 8. Médias das safrinhas de 2015 e 2016 do coeficiente de extinção e índice de área foliar (IAF) de culturas de cobertura sob plantio direto.

SISTEMAS	Coeficiente K da Cultura Principal	Coeficiente K do Consórcio	IAF Cultura Principal	IAF Consórcio	IAF 50 Cultura Principal	IAF 50 Consórcio
			m^2m^{-2}	m^2m^{-2}	m^2m^{-2}	m^2m^{-2}
Pousio em PD	3,43 A	--	0,33 D	--	0,24 E	--
Pousio em PC	3,95 A	--	0,25 D	--	0,19 E	--
C. spectabilis	0,22 D	--	8,1 A	--	3,39 C	--
Milho+*C. spectabilis*	0,15 E	2,02 A	7,2 A	0,49 A	5,15 B	0,44 A
P. glaucum	0,74 B	--	3,21 C	--	1,17 D	--
U. ruziziensis	0,56 C	--	6,09 B	--	1,31 D	--
Girassol+*U. ruziziensis*	0,09 F	1,9 A	6,36 B	0,46 A	8,96 A	0,47 A
V. unguiculata	0,16 E	--	5,95 B	--	3,99 C	--
Milho+*U. ruziziensis*	0,14 E	1,75 A	8,4 A	0,39 A	4,91 B	0,5 A
CV (%)	11,29	15,05	19,42	3,42	9,77	5,18

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Esses resultados também reforçam a rusticidade que essas espécies possuem, pelo incremento na produção de fitomassa por meio da maior eficiência na interceptação e atenuação de radiação, o que é importante para o manejo dessas culturas de cobertura sob plantio direto, uma vez que devido as

condições edafoclimáticas do Cerrado mato-grossense são necessárias elevadas produções de fitomassa para manter a cobertura do solo. Segundo Hopkins (2000), uma das características desta adaptabilidade às condições do Cerrado, está atrelada à capacidade de seu mecanismo C4 de fotossintetizar mesmo com fechamento estomático, o que infere em manutenção da atividade metabólica sob condições de estresse temporário.

Quanto a EUR no acúmulo de nutrientes na fitomassa aérea das plantas em florescimento, o consórcio girassol +*U. ruziziensis* se destacou para o N e K (Tabela 9), o que demonstra eficiência desse sistema na conversão de energia luminosa em acúmulo desses nutrientes na parte aérea. Mesmo com baixa interceptação de radiação, ambas culturas em consórcio foram eficientes no acúmulo de nutrientes. O girassol, dentre o consórcio, é a cultura com maior capacidade de extrair os nutrientes de camadas subsuperficiais e acumular em sua parte aérea, principalmente pelo seu sistema radicular vigoroso, que explora de forma sistêmica perfis mais profundos do solo. Saes Zobiole et al. (2010) enaltecem o vigor do sistema radicular do híbrido BRS 191 e sua capacidade de extração de macronutrientes do solo e acúmulo em sua parte aérea.

Tabela 9. Eficiência no uso da radiação (EUR) para os nutrientes no florescimento por culturas de cobertura sob plantio direto.

SISTEMAS	EUR-N	EUR-P	EUR-K	EUR-Ca	EUR-Mg
	mg N MJ^{-1}	**mg P MJ^{-1}**	**mg K MJ^{-1}**	**mg Ca MJ^{-1}**	**mg Mg MJ^{-1}**
Pousio em PD	50 E	20 F	50 E	30 D	10 F
Pousio em PC	70 E	10 F	50 E	20 D	10 F
C. spectabilis	670 C	110 D	340 D	150 C	90 E
Milho + *C. spectabilis*	950 B	150 C	940 B	290 B	170 C
P. glaucum	450 D	160 C	520 C	310 B	120 D
U. ruziziensis	420 D	70 E	540 C	60 D	80 E
Girassol + *U. ruziziensis*	1200 A	210 B	1850 A	400 A	240 B
V. unguiculata	470 D	60 E	330 D	130 C	60 E
Milho + *U. ruziziensis*	870 B	270 A	920 B	370 A	340 A
CV (%)	10,92	12,32	13,94	11,66	12,46

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Para a EUR para o P e Mg, o sistema mais eficiente foi o consórcio milho +*U. ruziziensis* (Tabela 9). O P está ligado principalmente a moléculas energéticas, processos fotossintéticos e crescimento das células e o Mg como o átomo central da molécula de clorofila (TAIZ & ZEIGER, 2013). Como o milho possui uma arquitetura de planta maior que os demais sistemas e IAF dentre as culturas principais, consequentemente as características intrínsecas da cultura quanto à capacidade de extrair esses nutrientes do solo seriam voltadas para o ganho em eficiência nesse aspecto. Pacheco et al. (2013), em estudo realizado no município de Bom Jesus, estado do Piauí, também relataram a capacidade do sistema milho + *U. ruziziensis* quanto ao acúmulo de nutrientes, o que demonstra a eficiência quanto ao acúmulo e liberação para a cultura em sucessão.

Quanto ao acúmulo de nutrientes na senescência (Tabela 10), o consórcio girassol + *U. ruziziensis* obteve destaque no acúmulo dos macronutrientes, com exceção do Mg. Esse comportamento na senescência demonstra a baixa translocação de fotoassimilados para a produção de grãos, o que é interessante pelo incremento da disponibilidade de nutrientes para a cultura em sucessão. Outra observação significativa para o sistema foi a *C. spectabilis* conservar aproximadamente 65% de N na senescência, o que incrementou a disponibilidade desse nutriente para o sistema e auxiliar na dinâmica de seu uso.

Tabela 10. Eficiência no uso da radiação (EUR) para os nutrientes na senescência por culturas de cobertura sob plantio direto.

SISTEMAS	EUR-N	EUR-P	EUR-K	EUR-Ca	EUR-Mg
	mg N MJ^{-1}	mg P MJ^{-1}	mg K MJ^{-1}	mg Ca MJ^{-1}	mg Mg MJ^{-1}
Pousio em PD	11,95 E	2,13 D	7,90 E	6,61 F	3,99 E
Pousio em PC	17,43 E	2,65 D	14,17 E	6,65 F	11,24 E
C. spectabilis	434,02 B	80,44 B	247,61 D	88,71 D	54,88 D
Milho + *C. spectabilis*	708,48 A	76,87 B	562,30 B	144,71 C	112,26 C
P. glaucum	378,09 B	84,13 B	413,61 C	154,53 C	86,34 C
U. ruziziensis	272,34 C	34,56 C	339,39 D	37,99 E	97,81 C
Girassol + *U. ruziziensis*	764,13 A	161,46 A	916,35 A	330,41 A	180,41 B
V. unguiculata	163,82 D	13,89 D	78,29 E	48,60 E	26,91 E
Milho + *U. ruziziensis*	478,79 B	88,75 B	605,75 B	206,70 B	278,28 A
CV (%)	16,68	19,53	18,13	17,82	20,01

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

A análise de eficiência no uso da radiação para a produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes no florescimento e senescência (Figura 14), pela metodologia de componentes principais (PCA), demonstrou que a correlação entre as variáveis e os sistemas de produção é de 82%, com um poder de explicação de 63,6% para a PC1 e 18,6% para PC2. Os sistemas milho + *C. spectabilis*, *P. glaucum*, girassol + *U. ruziziensis* e milho + *U. ruziziensis* tiveram correlação com EUR para a produção de fitomassa e acúmulo de fósforo e cálcio no florescimento. Além disso, correlacionaram com a produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na senescência. Já os sistemas *C. spectabilis*, *U. ruziziensis* e *V. unguiculata*, tiveram correlação com EUR no acúmulo de nitrogênio, potássio e magnésio no florescimento.

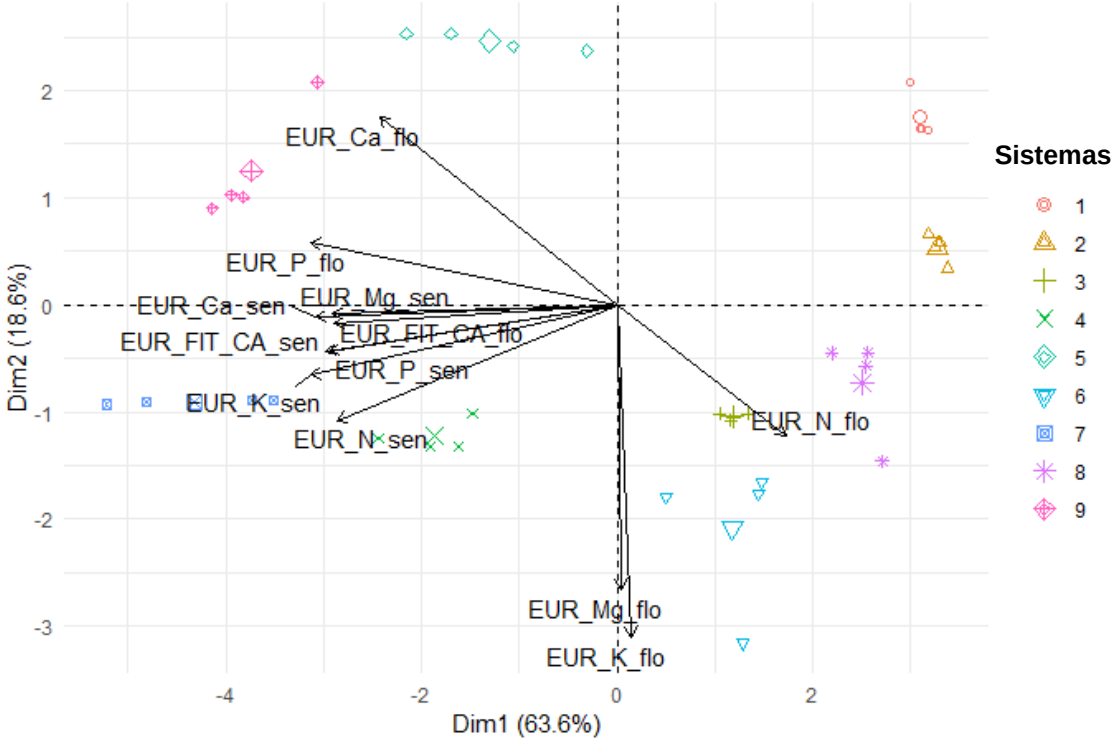

Figura 14. Análise dos componentes principais (PCA) para variáveis relacionadas à eficiência no uso da radiação para produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes. EUR_FIT_CA_flo = eficiência no uso da radiação na produção de fitomassa pela cultura anual no florescimento; EUR_FIT_CA_sen = eficiência no uso da radiação na produção de fitomassa pela cultura anual na senescência; EUR_N;P;K:Ca e Mg_flo = eficiência no uso da radiação para o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio no florescimento; EUR_N;P;K:Ca e Mg_sen = eficiência no uso da radiação para o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na senescência.

Com o poder de explicação de 82%, tal comportamento demonstra características intrínsecas de cada sistema de produção com culturas de cobertura em sucessão, sendo necessária a compreensão dos mesmos para o benefício dos sistemas de produção e incrementos de produtividade das culturas cultivadas em sucessão. Além disso, a compreensão desses sistemas otimiza o manejo de culturas de cobertura no Cerrado mato-grossense para torná-los eficientes no uso da radiação para a produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes.

3.4 CONCLUSÕES

1. A *U. ruziziensis* foi eficiente quanto a interceptação de radiação fotossinteticamente ativa, com eficiência de 95%;
2. O manejo do sistema girassol +*U. ruziziensis* é significativo para que não ocorra supressão da cultura principal;
3. Os sistemas *C. spectabilis*, *U. ruziziensis* e *V. unguiculata* foram eficientes no uso da radiação para o acúmulo de nitrogênio, potássio e magnésio no florescimento;
4. Os sistemas milho + *C. spectabilis*, *P. glaucum*, girassol + *U. ruziziensis* e milho + *U. ruziziensis* foram eficientes no uso da radiação para a produção de fitomassa nas duas épocas de avaliação, acúmulo de fósforo e cálcio no florescimento e de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na senescência.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, M. J. **PERMANOVA: A Fortran Computer Program for Permutational Multivariate Analysis of Variance, Auckland**, New Zealand, Departament of Statistics, University of Auckland, 2005.

CARNEIRO, M.A.C.; CORDEIRO, M.S; ASSIS, P.C.R.; MORAES, E.S.; PEREIRA, H.E.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, v.67, p.455-462, 2008.

CARVALHO, Denise Bruginski. Análise de crescimento de girassol em sistema de semeadura direta. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 2, n. 4, p. 63-70, 2004.

CASTIGLIONI, V. B. R. et al. Fases de desenvolvimento da planta de girassol. **Embrapa Soja-Documentos (INFOTECA-E)**, 1997.

CECCON, GESSI et al. Produtividade de milho safrinha em espaçamento reduzido com populações de milho e de Brachiaria. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 3, p. 326-335, 2015.

COSTA, N.L.; DESCHAMPS, C.; DE MORAES, A. Estrutura da pastagem, fotossíntese e produtividade de gramínea s forrageiras. **PUBVET**, v. 6, p. Art. 1387-1392, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, p.353, 2013.

FAGUNDES, J. L.; SILVA, S. D.; PEDREIRA, C. G. S.; CARNEVALLI, R. A.; CARVALHO, C. D.; SBRISSIA, A. F.; PINTO, L. D. M. Índice de área foliar, coeficiente de extinção luminosa e acúmulo de forragem em pastagens de

Cynodon spp. sob lotação contínua. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 187-195, 2001.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computerstatisticalanalysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

HOPKINS, W. G. **Introduction to Plant Physiology**. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000, 512p.

HUANG, M.; SHAN, S.; ZHOU, X.; CHEN, J.; CAO, F.; JIANG, L.; ZOU, Y. Leaf photosynthetic performance related to higher radiation use efficiency and grain yield in hybrid rice. **Field cropsresearch**, v. 193, p. 87-93, 2016.

KUNZ, J. H.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa agropecuaria brasileira**: 1977. Vol. 42, n. 11 (nov. 2007), p. 1511-1520, 2007.

MARCHÃO, ROBÉLIO LEANDRO; BRASIL, EDWARD MADUREIRA; XIMENES, PAULO ALCANFOR. Interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e rendimento de grãos do milho adensado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, n. 02, 2010.

MARCHIORI, P. E.; MACHADO, E. C.; RIBEIRO, R. V. Photosynthetic limitations imposed by self-shading in field-grown sugarcane varieties. **Field CropsResearch**, v. 155, p. 30-37, 2014.

NOGUEIRA, A.R.A.; CARMO, C.A.F.S. & MACHADO, P.L.O.A. **Tecido vegetal**. In: NOGUEIRA, A.R.A. & SOUZA, G.B., eds. Manual de laboratórios: Solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos. São Carlos, Embrapa Pecuária Sudoeste, 2005. p.145-199.

Pacheco, L. P.; Monteiro, M. M.S.; Silva, R. F.S.; Soares, L.S., Fonseca, W. L.; Nóbrega, J. C. A.;Osajima, J. A. Produção de fitomassa e acúmulo de

nutrientes por plantas de cobertura no cerrado piauiense. **Bragantia**, v. 72, n. 3, p. 237-246, 2013.

PIRES, F.R.; ASSIS, R.L.; PROCÓPIO, S.O.; SILVA, G.P.; MORAES, L.L.; RUDOVALHO, M.C.; BÔER, C.A. Manejo de plantas de cobertura antecessoras à cultura da soja em plantio direto. **Revista Ceres**, v.55, p.94-101, 2008.

RADIN, B.; BERGAMASCHI, H.; JUNIOR, C. R. J. R.; BARNI, N. A.; MATZENAUER, R.; DIDONÉ, I. A. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1017-1023, 2003.

SAES ZOBIOLE, L. H.; CASTRO,C.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, 2010.

SÃO MIGUEL, A. S. D. C; PACHECO, L. P.; SOUZA, E. D.; SILVA, C. M. R.; CARVALHO, I.C. Cover crops in the weed management in soybean culture. **Planta Daninha**, v. 36, p. 1-10, 2018.

SHEEHY, J. E.; COOPER, J. P. Light interception, photosynthetic activity, and crop growth rate in canopies of six temperate forage grasses. **The Journal of Applied Ecology**, p. 239-250, 1973.

SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 416p.

SOUZA, A. P. et al. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, v.01, p.34-43, 2013.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Plantphisiology**. 5 ed. Sunderland: Sinauer Associates Inc., 2013. 782 p.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados obtidos é possível destacar sistemas de produção, com culturas anuais e de cobertura na safrinha que sejam eficientes na produção de fitomassa, acúmulo e liberação de nutrientes e uso da radiação. Os sistemas *C. spectabilis* e *U. ruziziensis* acumularam maiores quantidades de fitomassa no momento da dessecação de manejo. A *C. spectabilis* e *U. ruziziensis* destacaram-se no acúmulo de nutrientes na safra 2016/17, com exceção do K, Mg e Cu, em que o girassol + *U. ruziziensis* se destacou para K e Mg e o milho + *C. spectabilis* para o Cu. A *U. ruziziensis*, nos dois anos agrícolas, apresentou elevada capacidade de acumular nutrientes em sua parte aérea. Os sistemas *C. spectabilis*, milho + *C. spectabilis*, girassol + *U. ruziziensis, P. glaucum* e *U. ruziziensis* foram capazes de incrementam a produtividade da soja em sucessão, o que demonstra a necessidade do uso de culturas de cobertura para o sucesso do cultivo de soja no Cerrado e melhoria as condições de produção do produtor rural.

Os sistemas mais eficientes no uso da radiação foram quanto a eficiência de seu uso na produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes, foram o milho + *C. spectabilis*, girassol + *U. ruziziensis* e milho + *U. ruziziensis*. A inserção desses sistemas traz benefício no uso sistêmico do solo e de insumos, já que são capazes, principalmente, de extrair nutrientes que são limitantes para a produção nas condições do Cerrado, o que pode também trazer demais benefícios a cadeia produtiva de grãos.

Esses resultados possibilitam oferecer opções de sistemas de produção viáveis ao produtor, para maior eficácia na exploração de áreas de cultivo sob plantio direto, com incremento da manutenção do solo e melhoria nos seus atributos físicos, químicos e biológicos. Assim, fica a critério do produtor inserir culturas de cobertura na safrinha que melhor se adaptam as condições de sua propriedade e que sejam eficientes na produção de fitomassa, ciclagem de nutrientes e uso da radiação.