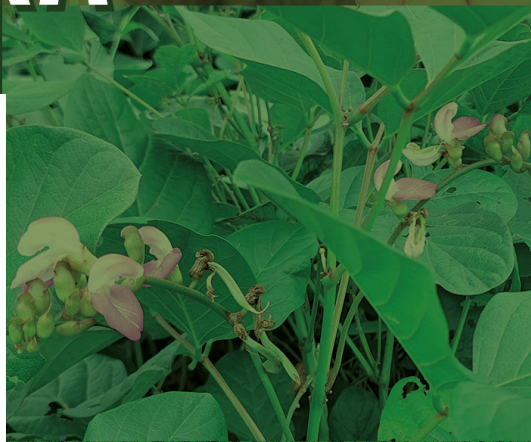


ÉRICA DE OLIVEIRA ARAÚJO
JOSÉ VANOR FELINI CATÂNIO
LIZIANNE DE MATOS EMERICK
(Organizadores)

PLANTAS DE COBERTURA

aliadas no
recondicionamento
químico do solo em
ambiente amazônico



ÉRICA DE OLIVEIRA ARAÚJO
JOSÉ VANOR FELINI CATÂNIO
LIZIANNE DE MATOS EMERICK
(Organizadores)

PLANTAS DE COBERTURA

aliadas no
recondicionamento
químico do solo em
ambiente amazônico



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2024 Os autores

Copyright da edição © 2024 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena

Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Agrárias

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Ariadna Faria Vieira – Universidade Estadual do Piauí

Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Edevaldo de Castro Monteiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Jessica Mansur Siqueira Crusoé – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Plantas de cobertura: aliadas no condicionamento químico do solo em ambiente amazônico

Diagramação: Ellen Andressa Kubisty
Correção: Yaiddy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: Érica de Oliveira Araújo
José Vanor Felini Catânio
Lizianne de Matos Emerick

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
P713	Plantas de cobertura: aliadas no condicionamento químico do solo em ambiente amazônico / Organizadores Érica de Oliveira Araújo, José Vanor Felini Catânio, Lizianne de Matos Emerick. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-2587-8 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.878241707 1. Solo - Amazônia. I. Araújo, Érica de Oliveira (Organizadora). II. Catânio, José Vanor Felini (Organizador). III. Emerick, Lizianne de Matos (Organizadora). IV. Título. CDD 333.75130981
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

Os organizadores agradecem a Fundação Rondônia de Amparo ao Desenvolvimento das Ações Científicas e Tecnológicas e à Pesquisa do Estado de Rondônia (FAPERO), a Fundação AGRISUS, a Pró-reitoria de Pesquisa, Inovação e Pós-graduação (PROPESP) do Instituto Federal de Rondônia pela disponibilização de recursos financeiro e estrutural, bem como bolsas de iniciação científica e tecnológica aos co-autores.

No âmbito das mudanças climáticas globais, o solo e suas formas de uso e manejo estão constantemente em foco pela comunidade científica, uma vez que se trata de recurso precioso e alicerce da agricultura.

Nesse contexto, recorrendo que o campo das ciências agrárias é interposto por inúmeros desafios que impulsionam estudos mais coesos nas diferentes condições edafoclimáticas, e considerando o potencial de desenvolvimento agrícola da região noroeste da Amazônia, o aprofundamento e a difusão de técnicas de uso, manejo e manutenção perfil do solo que visem minimizar os impactos ao meio ambiente, aumentar a produtividade das culturas, elevar a eficiência dos resultados e garantir a sustentabilidade agrícola são cruciais.

Ademais, este e-book foi preparado para enriquecer os saberes acadêmicos e profissionais a partir de um compilado de trabalhos originais de pesquisas científicas e tecnológicas conduzidas no Instituto Federal de Rondônia, Campus Colorado do Oeste, sobre o uso de plantas de cobertura como mecanismo de recondicionar quimicamente o solo e por conseguinte assegurar sua saúde.

CAPÍTULO 1 1**PLANTAS DE COBERTURA: ALIADAS DO PRODUTOR NA SAÚDE DO SOLO**

Érica de Oliveira Araújo

Matheus Henrique Vidor Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8782417071>**CAPÍTULO 2 7****ABSORÇÃO E UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES POR PLANTAS DE COBERTURA SUBMETIDAS A ADUBAÇÃO FOSFATADA**

Érica de Oliveira Araújo

Vitório Macieski Neto

José Vanor Felini Catâneo

Rodrigo Alvarenga da Silva

Diogo de Souza Freitas

Jiovane Anderson da Silva Ribeiro


Daniele Jesus Venturim

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8782417072>**CAPÍTULO 325****COMPORTAMENTO DE PLANTAS DE TRIGO SARRACENO EM RESPOSTA A DOSES E FONTES DE FÓSFORO**

Érica de Oliveira Araújo

Jéssica Schiochet

Wilk Sampaio de Almeida

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8782417073>**CAPÍTULO 433****PLANTAS DE COBERTURA E O RECONDICIONAMENTO QUÍMICO DO SOLO EM AMBIENTE AMAZÔNICO**

Érica de Oliveira Araújo

Jiovane Anderson da Silva Ribeiro

Daniele Jesus Venturim

José Vanor Felini Catâneo

Vitório Macieski Neto

Diogo de Souza Freitas

Aline Ottes Moreira

José Henrique de Souza Costa

Willian Junior Silva Costa

Klariston Rodrigues dos Santos


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8782417074>**CAPÍTULO 5 51****PLANTAS DE COBERTURA INFLUÊNCIAM NA DINÂMICA DO CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO?**

Érica de Oliveira Araújo

Vitório Macieski Neto

Daniele Jesus Venturim


José Vanor Felini Catâneo
Diogo de Souza Freitas
Jiovane Anderson da Silva Ribeiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8782417075>

CAPÍTULO 665

A CICLAGEM DE NUTRIENTES POR PLANTAS DE COBERTURA ADUBADAS COM FÓSFORO FAVORECE O DESEMPENHO AGRONÔMICO DO FEIJOEIRO?


Érica de Oliveira Araújo
Diogo de Souza Freitas
José Vanor Felini Catâneo
Aline Ottes Moreira
Jiovane Anderson da Silva Ribeiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8782417076>

CAPÍTULO 778

PERFORMANCE DO FEIJOEIRO CULTIVADO EM SUCESSÃO A PLANTAS DE COBERTURA

Érica de Oliveira Araújo
Diogo de Souza Freitas
Jose Vanor Felini Catâneo
Luís Antônio Bento Viana Filho
Emily Gomes Guimarães

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8782417077>

SOBRE OS ORGANIZADORES87

PLANTAS DE COBERTURA: ALIADAS DO PRODUTOR NA SAÚDE DO SOLO

Data de aceite: 01/07/2024

Érica de Oliveira Araújo

Profa. Doutora em Agronomia,
Departamento de Agropecuária, Instituto
Federal de Rondônia, Campus de
Colorado do Oeste, Colorado do Oeste-
Brasil

Matheus Henrique Vidor Ferreira

Técnico em Agropecuária, Instituto
Federal de Rondônia, Campus de
Colorado do Oeste, Colorado do Oeste-
Brasil

A necessidade de aumentar a produtividade da área explorada levou a humanidade a buscar soluções que melhorassem a fertilidade do solo, a partir do qual resíduos animais, restos orgânicos, camadas de solos florestais e coberturas vegetais passaram a ser utilizadas, e na atualidade têm contribuído para a sustentabilidade dos sistemas de produção e manejo da qualidade ambiental do solo (Conceição et al.,2022).

No entanto, o produtor rural, o técnico, o auxiliar e muitos extensionistas ainda têm dúvidas sobre as potencialidades

das plantas de cobertura na saúde do solo. Mas o que são plantas de coberturas? Como o nome já diz, as plantas de cobertura têm a finalidade de cobrir o solo, no entanto, seus benefícios nos sistemas de produção vão para além, estendendo-se aos componentes físicos, químicos e biológicos do solo, uma vez que estas plantas são capazes de melhorar os teores de matéria orgânica, a atividade biológica, a estrutura e agregação do solo, a disponibilidade e equilíbrio de nutrientes, a infiltração e armazenamento de água, as condições de enraizamento das plantas ao longo do perfil do solo, além de prevenir a erosão e aumentar a produtividade das culturas, conforme apresentado na Figura 1 (Araújo e Ferreira, 2023). Nesta premissa as plantas de cobertura são enfatizadas como estratégia para melhorar a saúde do solo, especialmente em regiões tropicais, na qual a recuperação da qualidade do solo em áreas degradadas é desafiadora e requer práticas conservacionistas em longo prazo.

O uso de plantas de cobertura, visando obter a melhoria da qualidade do solo é uma técnica agrícola muito antiga, sendo a civilização chinesa a primeira a desempenhar essa atividade, seguida pelos gregos e romanos (Pieters, 1927). No Brasil, o primeiro registro da utilização de adubos verdes data do ano de 1919, relatando que o êxito da prática, depende de estudo, da escolha das espécies, da cultura que se pretende beneficiar e das características edafoclimáticas locais (Conceição et al., 2022). Então, não existe uma espécie de planta de cobertura que se adeque a toda e qualquer condição edafoclimática, sendo o diagnóstico adequado das limitações do sistema de produção importante para auxiliar na escolha das espécies com maior potencial em agregar benefícios para o sistema.

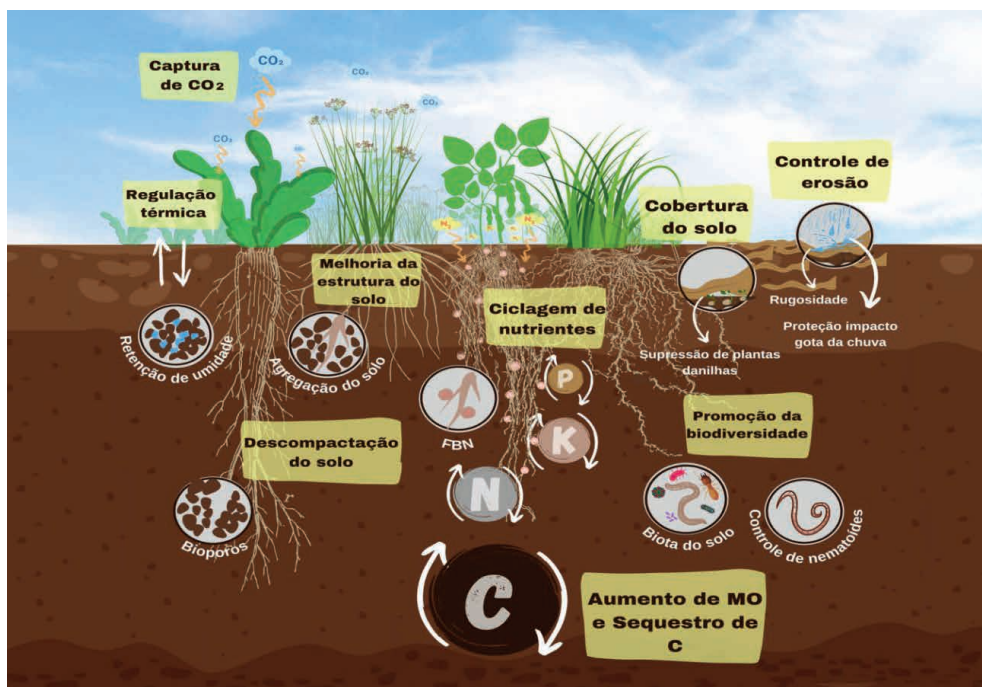


Figura 1. Benefícios ao funcionamento do solo fornecido pelas plantas de cobertura. Fonte: Carvalho et al., (2022) e Foto: Bruna Emanuele Schiebelbein.

Aliadas a conservação do solo e como possibilidade na construção da qualidade do solo, as plantas de cobertura podem ser classificadas em dois grupos: as poáceas (gramíneas) e as fabáceas (leguminosas). Em sistemas de manejo conservacionista que preconiza pela manutenção da palhada no solo, as poáceas são opção por apresentar alta relação C/N (30/1), decomposição lenta e imobilização de nitrogênio. Por outro lado, as fabáceas são plantas de decomposição mais rápida e com relação C/N inferior (20/1), promovendo a mineralização de nitrogênio, sendo alternativas interessantes para o fornecimento de nitrogênio ao solo e as culturas comerciais, devido ao potencial de fixação

biológica de nitrogênio (dependente da colonização de bactérias nativas), podendo reduzir total ou parcialmente a utilização de adubação nitrogenada. Além disso, tanto poáceas quanto fabáceas podem ser utilizadas em sistemas de consorciação entre espécies (mixes ou blends), visando o equilíbrio entre a relação C/N e decomposição da massa seca, permitindo uma liberação mais lenta de nitrogênio e proteção do solo por maior período de tempo.

Apesar da diversidade de espécies disponíveis como alternativas de diversificação de sistemas agrícolas anuais, semiperenes e perenes para diferentes regiões do Brasil, a exemplo das crotalárias *spectabilis*, *ochroleuca*, *breviflora* e *juncea*, mucunas preta e cinza, feijão de porco, feijão guandu, lab-lab, nabo forrageiro, trigo mourisco, amendoim forrageiro, espécies de brachiárias, e entre outras, recomendadas para primavera/verão ou outono/inverno, ainda há uma limitação na exploração dessas opções, especialmente na região amazônica.

Em pesquisas conduzidas em condições de campo, no Instituto Federal de Rondônia, Campus Colorado do Oeste, Araújo e colaboradores observaram que o cultivo das espécies *Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria ochroleuca* e Feijão-guandu contribuíram com maior potencial de produção de massa seca ao longo dos ciclos de cultivo, na ordem de 14, 13 e 15 toneladas por hectare, respectivamente (Figura 2). Esse incremento de massa seca pode propiciar melhorias significativas das características físicas e químicas do solo e manutenção e/ou elevação do teor de matéria orgânica do solo, manutenção da temperatura do solo, bem como favorecer o desenvolvimento e produtividade de espécies agrícolas em cultivos subsequentes.

Além disso, os pesquisadores constataram que as espécies Lab-Lab e Feijão de porco apesar de menor produção de massa seca foram estratégias eficientes para incrementar o aporte de matéria orgânica, carbono orgânico, nitrogênio e fósforo do solo, promovendo impacto direto na fertilidade da camada superficial do solo (0-10 cm) ainda nos primeiros anos de adoção. E que os resíduos dessas culturas leguminosas possibilitaram a contribuição média de 2.995 kg/ha de N-total, 77 kg/ha de amônio e 56 kg/ha de nitrato no solo (Araújo et al., 2021).

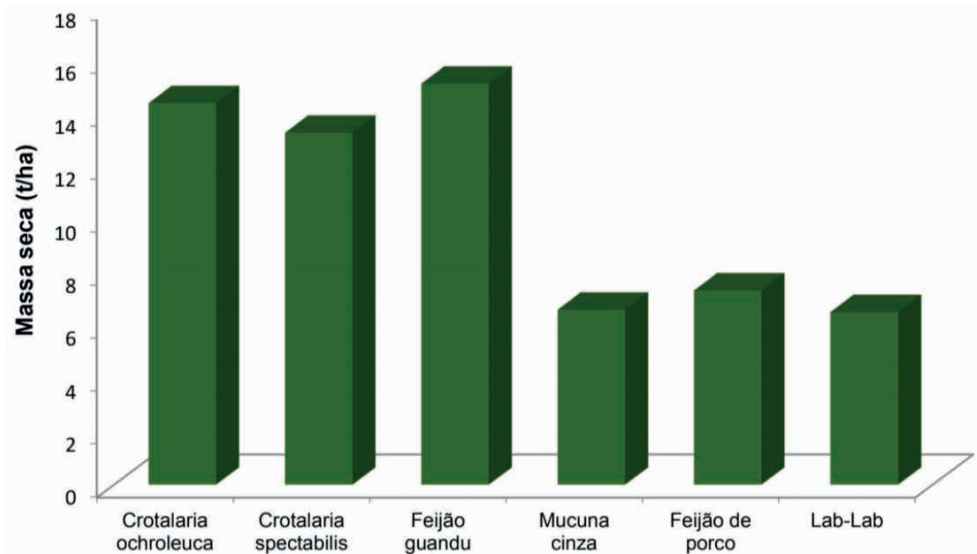


Figura 2. Produção média de massa seca de diferentes plantas de cobertura cultivadas em ambiente amazônico de 2020 a 2023.

Fonte: Araujo (2023).

Crotalária spectabilis



Semeadura (0,50m): 12 kg/ha
Massa verde (t/ha): 20-30
Massa seca (t/ha): 4-6
FBN (kg/ha):150-220

Crotalária ochroleuca



Semeadura (0,50m): 10 kg/ha
Massa verde (t/ha): 20 - 30
Massa seca (t/ha): 7 - 10
FBN (kg/ha): 133 - 200

Feijão de porco



Semeadura (0,50m): 120kg/ha
Massa verde (t/ha): 20-25
Massa seca (t/ha): 5-8
FBN (kg/ha):150

Crotalária breviflora



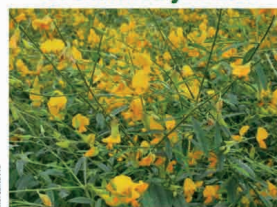
Semeadura (0,50m): 12kg/ha
Massa verde (t/ha): 15 - 20
Massa seca (t/ha): 03 - 05
FBN (kg/ha): 100 - 160

Mucuna cinza



Semeadura (0,50m): 60 kg/ha
Massa verde (t/ha): 40-50
Massa seca (t/ha): 7-8
FBN (kg/ha):180-220

Crotalária juncea



Semeadura (0,50m): 25 kg/ha
Massa verde (t/ha): 35-60
Massa seca (t/ha): 10-15
FBN (kg/ha): 300-450

Feijão-guandu



Semeadura (0,50): 35-40 kg/ha
Massa verde (t/ha): 15-30
Massa seca (t/ha): 4-9
FBN (kg/ha): 90-180

Mucuna preta



Semeadura (0,50m): 60 kg/ha
Massa verde (t/ha): 40-50
Massa seca (t/ha): 7-8
FBN (kg/ha):180-220

Lab-Lab



Semeadura (0,50): 12-15 kg/ha
Massa verde (t/ha): 15-30
Massa seca (t/ha): 3-9
FBN (kg/ha):150

Figura 3. Diferentes plantas de cobertura leguminosas e suas informações técnicas.

Numa visão sistêmica produtor rural, técnico, auxiliar ou extensionista, a implantação de sistemas de manejo conservacionistas que têm como princípio a manutenção de cobertura vegetal e seus resíduos sobre o solo, é uma estratégia eficaz para aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção em solos tropicais, visto que a fertilidade do solo é influenciada significativamente pelo sistema de manejo adotado. E ao investir em saúde do solo, todos saem ganhando, pois solos saudáveis e bem estruturados são menos vulneráveis, mais produtivos e resilientes.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, E.O; FERREIRA, M.V. Plantas de cobertura: aliadas do produtor na saúde do solo, Revista AgroRondônia, Cacoal, 07 de dezembro de 2023. Disponível em: <https://www.agrorondonia.com.br/colunas/plantas-de-cobertura-aliadas-do-produtor-na-saude-do-solo>

ARAÚJO, E.O; MACIESKI NETO, V.; VENTURIM, D.J; CATÂNIO, J.V.F; FREITAS, D.S; RIBEIRO, J.A.S. Cover crops and concentration of carbon and nitrogen in Amazonian soil. Australian Journal of Crop Science, n.16, v.11, p.1261-1269. 2022. DOI: 10.21475/ajcs.22.16.11.p3787

CARVALHO, M.L.; VANOLLI, B.S.; SCHIEBELBEIN, B.E.; BORBA, D.A.; LUZ, F.B.; CARDOSO, G.M.; Bortolo, L.S.; MAROSTICA, M.E.M.; SOUZA, V.S. Guia prático de plantas de cobertura. Piracicaba:ESALQ-USP,2022, 126p. DOI:10.11606/9786589722151.

CONCEIÇÃO, P.C.; CASSOL, C.; SARTOR, L.R.; CASALI, C.A.; MAZARO, S.M. Plantas de cobertura e saúde do solo. In: MEYER, M.C.; BUENO, A.F.; MAZARO, S.M.; SILVA, J.S. (org). Bioinsumos na cultura da soja. 1. Ed. Brasília: Embrapa, 2022. 550 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1143066/bioinsumos-na-cultura-da-soja>

MICHELON, C. J.; JUNGES, E.; CASALI, C. A.; PELLEGRINI, J. B. R.; NETO, L. R.; DE OLIVEIRA, Z. B.; DE OLIVEIRA, M. B. Atributos do solo e produtividade do milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de inverno. Revista de Ciências Agroveterinárias, v. 18, n. 2, p. 230-239, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811711812019230>

PIETERS, A. J. Green Manuring, Principles and Practice. Agronomist in Charge of Clover Investigations, Bureau of Plant Industry U. S. Department of Agriculture. 1927. Disponível em: <https://soilandhealth.org/book/green-manuring-principles-and-practice/>: Acesso em: 13 de set. 2023.

ABSORÇÃO E UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES POR PLANTAS DE COBERTURA SUBMETIDAS A ADUBAÇÃO FOSFATADA

Data de aceite: 01/07/2024

Érica de Oliveira Araújo

Profa. Doutora em Agronomia,
Departamento de Agropecuária, Instituto
Federal de Rondônia, Campus de
Colorado do Oeste, Colorado do Oeste-
Brasil

Vitório Macieski Neto

Graduando (a) em Engenharia
Agrônômica, Instituto Federal de
Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

José Vanor Felini Catânio

Prof. Mestre em Produção Animal,
Departamento de Agronomia, Instituto
Federal do Mato Grosso, Campus
Confresa, Confresa, Brasil

Rodrigo Alvarenga da Silva

Técnico em Agropecuária, Instituto
Federal de Rondônia, Campus de
Colorado do Oeste, Colorado do Oeste,
Brasil

Diogo de Souza Freitas

Graduando (a) em Engenharia
Agrônômica, Instituto Federal de
Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

Jiovane Anderson da Silva Ribeiro

Engenheiro Agrônomo, Instituto Federal
de Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

Daniele Jesus Venturim

Engenheira Agrônoma, Instituto Federal
de Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

INTRODUÇÃO

O fornecimento de fósforo (P) representa parte expressiva do custo de produção das culturas, especialmente nas regiões tropicais, pois além de apresentarem baixa disponibilidade de fósforo, os solos quase que na sua totalidade são intemperizados, ácidos, argilosos e oxidícos, características que favorecem a fixação do fósforo pelo solo (SILVA et al., 2011). A implicação prática disso é que, embora a exigência de fósforo pelas plantas não seja elevada, grandes quantidades do nutriente devem ser fornecidas nas adubações para promover alguma saturação do solo e originar um

excedente que atenda aos requerimentos nutricionais das culturas (NOVAIS; SMYTH, 1999).

A maior parte do custo com a implantação de uma lavoura na região sul do estado de Rondônia está relacionada com a correção da acidez do solo e com a adubação fosfatada. Assim, considerando a essencialidade do fósforo para o desenvolvimento das plantas, e os fosfatos um recurso natural não renovável, deve-se buscar formas de utilizá-lo eficientemente. Uma prática que resulta em aumento na recuperação do P adicionado ao solo é a implantação de práticas conservacionista do solo, incluindo espécies com alta eficiência em extrair e utilizar o P. A partir dessa premissa, plantas que possuem mecanismos estruturais, bioquímicos e fisiológicos, que permitam um maior aproveitamento do fósforo do solo podem ser utilizadas para se alcançar uma alta eficiência agrônômica da adubação fosfatada (FERNANDES; MURAOKA, 2002; SOUSA; LOBATO; REIN, 2004).

Os resíduos das culturas e das plantas de cobertura contêm quantidades consideráveis de P em seus tecidos, que mediante sua mineralização poderão atender boa parte da demanda das culturas. No processo de mineralização dos resíduos orgânicos ocorre a formação de formas orgânicas de P menos suscetíveis às reações de adsorção. O solo pode adsorver ácidos orgânicos com grande energia, competindo com os sítios de adsorção de P e aumentando a disponibilidade desse nutriente para as plantas (OLIVEIRA et al., 2002; ANDRADE et al., 2003).

Estudos têm demonstrado que as plantas com maior capacidade de extrair o fósforo são aquelas que possuem sistema radicular abundante e que produzem exsudatos capazes de acidificar a rizosfera, favorecendo a solubilização dos fosfatos naturais menos reativos, insolúveis em água, que necessitam de acidez para que alguma dissolução se inicie. Outro fator que favorece a solubilidade dos fosfatos naturais é o dreno de P e de Ca pelas plantas. Uma maior remoção de Ca e P faz com que aumente a taxa de dissolução do fosfato natural (SILVA et al., 2011). Assim, condições que favoreçam o aumento da CTC com um maior teor de matéria orgânica e calagem; além da própria cultura podem exercer papel preponderante na eficiência dos fosfatos naturais, uma vez que atuam como dreno de Ca (SILVA et al., 2009).

Em conjunto, a ciclagem do P pelas plantas ganha importância, pois estas possuem diferentes graus de adaptação para acessar o P do solo (HALL et al., 2010). Como os mecanismos de acesso variam com a espécie vegetal, a fim de otimizar o uso do P do solo pelas plantas em sistemas agrícolas, é fundamental a identificação daquelas com maior potencial de absorver e ciclar o P do solo, principalmente as que podem ser utilizadas comercialmente ou como plantas de cobertura do solo cultivadas em sucessão e/ou rotação com espécies comerciais. A sincronização entre espécies vegetais, solos e o fósforo constituem uma ferramenta indispensável para o melhor aproveitamento desse elemento por diferentes espécies, maximizando a resposta da planta a adubação fosfatada na maioria dos solos tropicais (ANDRADE et al., 2003; SOARES et al., 2007).

Assim, estudar o efeito de diferentes sistemas de culturas e de manejos de solo sobre as formas de acumulação de P no solo é o caminho para selecionar práticas agrícolas com vistas a melhorar a dinâmica desse nutriente no solo e como alternativa de manejo que contribua para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo. A indicação de plantas de cobertura diversificadas associada a um sistema de sucessão e ou de rotação de culturas no Bioma Amazônico configura-se relevante para o aprofundamento do conhecimento científico e para um novo processo tecnológico destinado à produção agrícola na região Amazônica, com menores custos pela redução do uso de fertilizantes químicos.

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a produção de biomassa, a absorção e utilização de nutrientes por diferentes plantas de cobertura submetidas à adubação fosfatada.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente protegido no período de agosto a dezembro de 2019, na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, Campus Colorado do Oeste, no município de Colorado do Oeste, RO, cujas coordenadas geográficas são 13° 06' S e 60° 29' W, com altitude média de 407 metros. O clima segundo a classificação de Köppen é do tipo Awa, tropical quente e úmido com duas estações bem definidas. Dados médios de temperatura e precipitação pluviométrica durante a condução do experimento foram obtidos do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A caracterização química do solo foi realizada na camada de 0-20 cm, em amostras coletadas antes da instalação do experimento (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento.

Profundidade	MO	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V	m
	g/dm ⁻³	H ₂ O	mg/dm ⁻³								-----%	
0-20	20.4	6.0	5	180	6	1.7	4.3	0	8.2	12.5	66	0

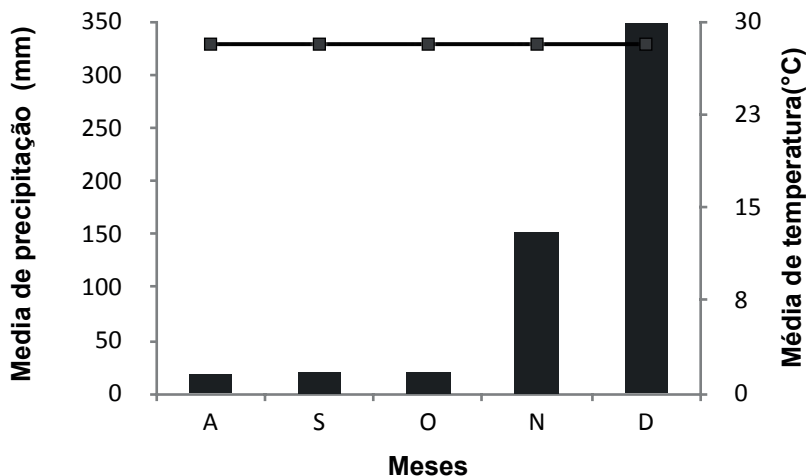


Figura 1. Precipitação (mm) e temperatura (°C) médias mensais, registradas na estação metereológica do Instituto Nacional de Meteorologia, no período de agosto a dezembro do ano agrícola de 2019.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, arranjos em esquema 7x3, sendo constituídos pelo plantio de sete espécies de cobertura (*Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria ochroleuca*, *Mucuna preta*, *Mucuna cinza*, *Lab-lab* e feijão de porco), três doses de fósforo (0, 80 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅), tendo como fonte solúvel de P₂O₅ (SFT (45% P₂O₅)), e quatro repetições, perfazendo o total 84 unidades experimentais. A quantidade de cada dose de fósforo aplicada foi calculada para com base no teor de P₂O₅ total dos fertilizantes fosfatados, e convertidas para condições de vaso.

Tabela 2. Espécies de planta de cobertura (tratamentos das parcelas), relação C/N indicada na literatura.

Espécie	Nome comum	Família	Relação C/N
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	Crotalária ochroleuca	Fabaceae	25-29 ²
<i>Crotalaria spectabilis</i>	Crotalaria spectabilis	Fabaceae	10-16 ¹
<i>Crotalaria breviflora</i>	Crotalaria breviflora	Fabaceae	11-18
<i>Mucuna aterima</i>	Mucuna preta	Fabaceae	12-21 ¹
<i>Mucuna pruriens</i>	Mucuna cinza	Fabaceae	12-21 ¹
<i>Dolichos lablab</i>	Lab-lab	Fabaceae	23-28 ³
<i>Canavalia ensiformis</i>	Feijão de porco	Fabaceae	10-16 ¹

¹ Wutke et al. (2014); ² Fischlerab et al. (1999); ³ Teodoro et al., 2011.

Concomitantemente à aplicação do fósforo, realizou-se a adubação de base com nitrogênio e potássio, na dose de 30 kg ha⁻¹ de N e 60 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando como fonte a uréia (45% de N) e cloreto de potássio (56% de K₂O), respectivamente, incorporados ao solo para melhor uniformização. As unidades experimentais foram compostas por vasos plásticos com capacidade de 10 dm³, preenchidos com solo seco ao ar, passado em peneira de 4 mm de abertura. As doses de fósforo convertidas para volume de unidade experimental corresponderam a 0.40 e 0.80 mg/dm³, enquanto que as doses de N e K, corresponderam a 0.015 e 0.03 mg/dm³, respectivamente. A umidade dos vasos foi controlada diariamente, sempre visando manter o solo com 60% da capacidade de campo.

As sementes foram postas a germinar diretamente nos vasos, sendo, que aos oito dias após a emergência (DAE), realizou-se o desbaste, deixando-se apenas uma planta por unidade experimental, levando em consideração o vigor e uniformidade das plântulas.

Por ocasião do pleno florescimento das espécies de cobertura realizou-se o corte das diferentes plantas de plantas e divisão em raiz e parte aérea, sendo todo o material vegetal coletado lavado em água corrente e água deionizada, pesados para determinação da massa fresca, e posteriormente levados a secar em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas, sendo, em seguida, determinada a sua massa seca. Após a secagem e pesagem do material vegetal, procedeu-se a moagem da massa seca de parte aérea e da raiz em moinho tipo Wiley, sendo as amostras, submetidas à digestão sulfúrica para determinação dos teores de N, e digestão nitro-perclórica, para determinação dos teores de P e K nas diferentes partes da planta (raiz e parte aérea), de acordo com a metodologia descrita em Embrapa (2009).

Os índices de eficiência de absorção dos nutrientes, razão entre o conteúdo total de nutriente na planta e a massa seca das raízes, foi calculado de acordo com Swiader et al. (1994), enquanto que os índices de utilização de nutrientes, razão entre a massa seca total produzida e o conteúdo total de nutriente na planta, foram calculados de acordo com Siddiqi e Glass (1981).

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro Wilk) e análise de variância, sendo os efeitos entre plantas de cobertura e doses de fósforo avaliados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, e as correlações entre as variáveis determinadas utilizando-se o programa estatístico Sisvar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados evidenciaram efeitos significativos ($p \leq 0.05$) da interação dupla entre plantas de cobertura e dose de fósforo para teor de nitrogênio, fósforo e potássio na parte aérea (Tabela 6), teor de nitrogênio, fósforo e potássio na raiz (Tabela 7) e eficiência de utilização de nitrogênio, fósforo e potássio (Tabela 8); enquanto que os demais resultados não apresentaram efeito significativo da interação e são apresentados independentes para as diferentes plantas de cobertura (Tabela 3, 4 e 5) e doses de fósforo (Figura 2, 3, 4 e 5).

O feijão de porco foi estatisticamente superior ($p \leq 0.05$) as demais plantas de cobertura quanto a produção de massa fresca e massa seca da parte aérea, enquanto que produção de massa seca da raiz esteve entre os menores valores registrados dentre as diferentes plantas de cobertura (Tabela 3). Observa-se que mesmo com baixa produção de massa seca da raiz, o que pode estar estreitamente relacionado ao volume de solo disponível para desenvolvimento das raízes, o feijão de porco foi capaz de absorver a maior quantidade de nitrogênio pela raiz, na ordem de 16.52 g/kg^{-1} (Tabela 4), em contrapartida, menores quantidades de nitrogênio foram acumuladas na parte aérea (Tabela 4), configurando relação inversa entre as variáveis. Pereira et al., (2017) estudando a ciclagem de nutrientes por diferentes plantas de cobertura constataram que o feijão de porco proporcionou melhores resultados quanto a produção de massa fresca e massa seca da parte aérea em estágio fenológico de florescimento; enquanto que Bortoluzzi et al., (2019) verificaram que o feijão de porco apresenta alto potencial para aporte de biomassa em diferentes épocas de semeadura. Barros et al., (2017) e Teodoro et al., (2011) indicam o feijão de porco como excelente espécie de cobertura por apresentar rápido crescimento inicial, amplas folhas cotiledonares, bom recobrimento do solo, elevada capacidade de produção de massa seca e por realizar a fixação biológica de nitrogênio.

As menores produções de massa fresca e massa seca da parte aérea foram verificadas para a planta de cobertura Lab-lab (Tabela 3), sendo observada a correlação direta da produção de massa fresca e seca da parte aérea com o menor acúmulo de nitrogênio na parte aérea (17.72 g/kg^{-1}) (Tabela 4). Todavia, a espécie apresentou os maiores índices de fósforo na parte aérea (1.66 g/kg^{-1}), não diferindo estatisticamente das espécies *Crotalaria breviflora* e *Crotalaria spectabilis* (Tabela 4). Os teores de nitrogênio e fósforo nas raízes de Lab-lab foram significativamente superiores as demais plantas de cobertura estudadas, o que permite inferir a capacidade dessa espécie em acumular N e P em seus tecidos radiculares, sem estreita relação com o aporte de massa seca da parte aérea.

Dentre as plantas de cobertura com destaque para produção de massa seca da raiz e massa seca total as espécies de mucuna preta, mucuna cinza e *Crotalaria ochroleuca* destacaram-se não diferindo estatisticamente entre si (Tabela 3).

Quanto aos teores de potássio na parte aérea e raiz, a espécie *Crotalaria spectabilis* foi superior às demais plantas de cobertura, enquanto que os menores teores de K na parte aérea e raiz foram acumulados pela espécie feijão de porco (Tabela 4). A absorção de K pelas respectivas plantas de cobertura variaram entre 17.18 g kg^{-1} para *Crotalaria spectabilis* e 10.57 g kg^{-1} para feijão de porco. Esses teores significativos de K na parte aérea de *Crotalaria spectabilis* corroboram aos encontrados por Pereira et al., (2017) e Mauad et al., (2019). Em áreas com níveis baixos de potássio é importante o uso de plantas de cobertura do solo pela capacidade de ciclagem, acúmulo e disponibilização de nutrientes para as culturas sucessoras, beneficiando todo o sistema agrícola (Teodoro et al., 2011). A distinção de resposta entre espécies quanto à produção e absorção de nutrientes é fato confirmado na literatura, em virtude da existência de comportamento nutricional diferenciados por fatores genéticos de adaptabilidade.

Tabela 3. Massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e massas seca total (MST) de diferentes plantas de cobertura cultivadas em ambiente protegido.

Planta de cobertura	MFPA	MSPA	MSR	MST
	(g.vaso ⁻¹)			
Feijão de porco	310.26 a	77.05 a	32.06 c	109.11 bc
Lab-lab	219.53 c	45.59 d	43.95 b	93.54 cd
Mucuna cinza	223.29 c	57.97 b	83.80 a	141.78 a
Mucuna preta	236.91 bc	59.59 b	74.27 a	133.86 ab
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	256.25 bc	51.65 d	66.44 a	118.10 abc
<i>Crotalaria breviflora</i>	249.30 bc	45.48 d	25.44 c	70.92 d
<i>Crotalaria spectabilis</i>	271.38 b	49.60 d	28.11 c	75.72 d
CV (%)	12.53	13.38	29.93	21.52

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV (Coeficiente de variação).

Tabela 4. Teor de nitrogênio na parte aérea (N), teor de fósforo na parte aérea (P), teor de potássio na parte aérea (K), teor de nitrogênio na raiz (NR), teor de fósforo na raiz (PR) e teor de potássio na raiz (KR) de diferentes plantas de cobertura cultivadas em ambiente protegido.

Planta de cobertura	N	P	K
	g/kg ⁻¹		
Feijão de porco	19.15 c	1.16 c	10.57 e
Lab-lab	17.72 c	1.66 a	13.72 b
Mucuna cinza	21.65 b	1.19 c	11.43 e
Mucuna preta	22.69 b	1.28 c	12.63 d
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	26.64 a	1.46 b	15.29 b
<i>Crotalaria breviflora</i>	22.62 b	1.57 a	14.08 b
<i>Crotalaria spectabilis</i>	21.46 b	1.62 a	17.18 a
CV (%)	8.21	9.74	9.75
Planta de cobertura	NR	PR	KR
	g/kg ⁻¹		
Feijão de porco	16.52 a	1.32 bc	7.15 c
Lab-lab	14.07 ab	1.54 a	7.75 c
Mucuna cinza	15.24 ab	1.27 bc	7.28 c
Mucuna preta	15.11 a	1.26 c	8.80 b
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	14.14 ab	1.15 d	4.88 d
<i>Crotalaria breviflora</i>	13.02 b	1.34 bc	11.18 a
<i>Crotalaria spectabilis</i>	15.25 ab	1.37 b	11.79 a
CV (%)	12.22	6.37	21.22

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV (Coeficiente de variação).

Quanto a eficiência de absorção de N e P, o feijão de porco destacou-se, cujos valores de absorção de N foi 65.45 e de P na ordem 4.43 mg de peso seco por g de N e P absorvido, não diferindo estatisticamente das espécies *Crotalaria breviflora* e *Crotalaria spectabilis* (Tabela 5). Essa maior eficiência de absorção de N e P pela espécie feijão de porco tendeu a acompanhar a produção de massa seca da parte aérea, no entanto não se correlacionou com os maiores teores de nitrogênio na parte aérea (Tabela 3 e 4). As espécies de *Crotalaria breviflora* e *Crotalaria spectabilis* além de eficientes na absorção de N e P foram significativamente eficientes quanto à absorção de K (Tabela 5), e esses dados corroboram aos teores de K encontrados nas raízes de ambas as espécies (Tabela 4). É importante ressaltar que além da capacidade das espécies enquanto leguminosa em fixar o nitrogênio atmosférico pela associação simbiótica com bactérias do gênero *Rhizobium* apresentam elevada eficiência para ciclagem e imobilização dos nutrientes.

Na mesma premissa da eficiência de absorção de nutrientes, o feijão de porco apresentou a maior eficiência de utilização de nutrientes, tais como P e K (Tabela 5). Assim é possível afirmar que a eficiência de absorção de P pela espécie correlaciona-se diretamente com a eficiência de utilização do P, no entanto, a eficiência de utilização de K não corrobora com a eficiência de absorção de K. Essas informações credenciam o feijão de porco como alternativa para adaptação a diferentes condições edafoclimáticas e solos de baixa fertilidade, visto que consegue absorver os nutrientes de camadas mais profundas e utilizá-los na parte aérea vegetal.

As espécies de mucuna cinza e mucuna preta foram significativamente eficientes quanto à utilização de N, P e K (Tabela 5). O sistema radicular ramificado e profundo dessas leguminosas proporciona aumento na eficiência de utilização dos adubos, uma vez que traz às camadas superficiais do solo nutrientes perdidos por lixiviação, principalmente potássio, cálcio, magnésio e nitrato, funcionando, também, como “agente minerador” de nutrientes de pouca disponibilidade como o fósforo, tornando-os mais disponíveis às culturas subsequentes (Padovam et al., 2011). Além da morfologia do sistema radicular, a eficiência de utilização de P por unidade de raiz, a atividade de fosfatase ácida e a concentração de fósforo nas raízes e na parte aérea explica a dinâmica de absorção e aquisição de P pelas diferentes espécies de cobertura. Barros et al., (2017) avaliando a extração de nutrientes e o potencial de diferentes espécies vegetais, visando o fornecimento de nutrientes à cultura sucessora, verificaram que a mucuna preta apresentou os maiores acúmulos de todos os macronutrientes, com destaque para o N, P, K e Mg, o que configura a elevada capacidade da espécie na absorção e utilização dos nutrientes.

Tabela 5. Eficiência de absorção e utilização de macronutrientes por diferentes plantas de cobertura cultivadas em ambiente protegido.

Planta de cobertura	Eficiência de absorção mg g ⁻¹		
	N	P	K
Feijão de porco	65.45 a	4.43 a	28.49 bc
Lab-lab	36.08 cd	3.59 b	24.23 bc
Mucuna cinza	33.36 d	2.27 c	16.46 c
Mucuna preta	36.17 cd	2.44 bc	20.18 c
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	44.02 cd	2.82 bc	24.39 bc
<i>Crotalaria breviflora</i>	57.44 ab	4.47 a	39.01 a
<i>Crotalaria spectabilis</i>	53.77 ab	4.37 a	42.29 a
CV (%)	30.76	28.63	30.80
Planta de cobertura	Eficiência de utilização g ² .mg ⁻¹		
	N	P	K
Feijão de porco	6.11 b	92.00 a	11.04 a
Lab-lab	5.81 b	57.56 b	6.64 b
Mucuna cinza	8.20 a	114.75 a	10.79 a
Mucuna preta	7.14 a	106.26 a	14.35 a
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	5.87 b	92.26 a	5.09 b
<i>Crotalaria breviflora</i>	3.80 c	48.22 b	4.22 b
<i>Crotalaria spectabilis</i>	3.98 c	49.37 b	4.10 b
CV (%)	26.48	23.49	38.76

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV (Coeficiente de variação).

As doses de P exerceram efeito crescente e significativo ($p \leq 0.05$) sobre a produção de massa fresca da parte aérea (Figura 2A), massa seca da parte aérea (Figura 2B), massa seca da raiz (Figura 2C) e massa seca total (Figura 2D) das diferentes plantas de cobertura. As maiores produtividades foram obtidas na dose de 160 kg ha⁻¹ de P, o que revela efeito positivo da adubação fosfatada sobre o crescimento e desenvolvimento de plantas de cobertura, demonstrando que estas culturas são muito eficientes na utilização do P no solo, oriundo da adubação fosfatada mineral. No presente estudo foi utilizado como fonte de fósforo o superfosfato triplo, e sabe-se que as características de reatividade das fontes de P são de grande importância em relação à sua eficiência em curto prazo. Os fosfatos de maior reatividade, sendo mais prontamente disponíveis, favoreceram a absorção e o aproveitamento do nutriente pelas plantas (Silva et al., 2011).

Outro aspecto, é que a maior disponibilidade de P pode desencadear mudanças na fotossíntese, pela maior captação da radiação solar e incremento na produção de fotoassimilados, pois o P atua como agente formador da molécula de ATP e em condição de

baixa produção de ATP o crescimento das plantas é diretamente afetado (Rocha, 2016). No presente estudo o teor de fósforo no solo considerando o percentual de argila encontrava-se com 5 mg dm^{-3} , teor considerado muito baixo, o que justifica a resposta crescente das variáveis produção de massa seca da parte aérea e total em função de doses crescentes de P_2O_5 aplicados na semeadura.

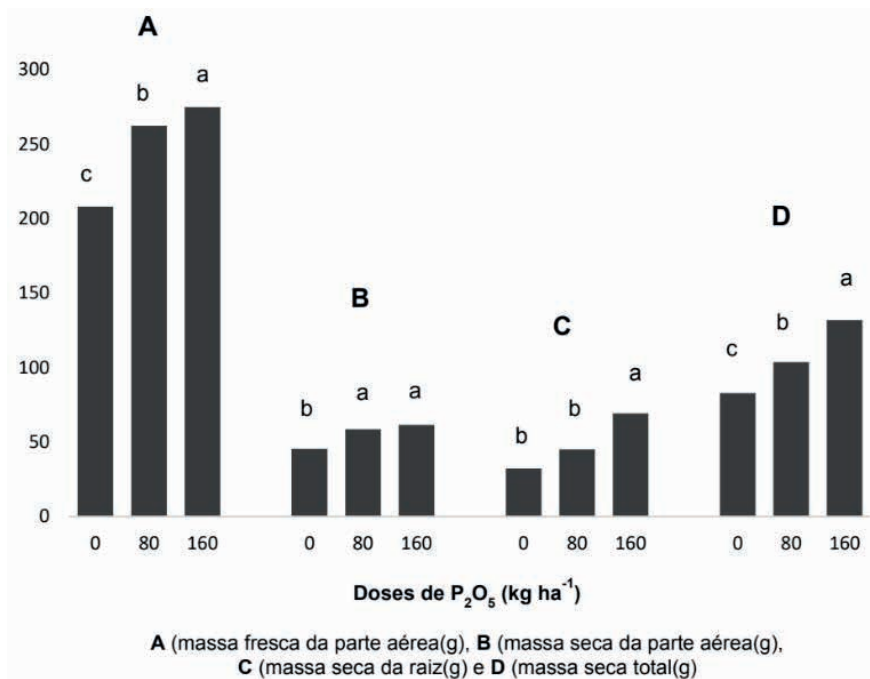


Figura 2. Produção de massa fresca da parte aérea (A), massa seca da parte aérea (B), massa seca da raiz (C) e massa seca total (D) de plantas de cobertura em resposta a adubação fosfatada. Médias seguidas da mesma letra nas barras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O teor de N na parte aérea (Figura 3A) e o teor de nitrogênio na raiz (Figura 4A), responderam significativamente ($p \leq 0.05$) ao incremento das doses de P, sendo a máxima concentração de N nas folhas e raízes de 22.90 g.kg^{-1} e 12.55 g.kg^{-1} , respectivamente, obtida na dose 160 kg ha^{-1} de P, diferindo estatisticamente do tratamento controle e da dose de 80 kg ha^{-1} de P. Esse aumento nos teores foliares e radiculares de N com a aplicação da adubação fosfatada corroboram a maior eficiência de utilização do N pelas plantas de cobertura, na ordem de $7.03 \text{ g}^2.\text{mg}^{-1}$ (Figura 5A). O nitrogênio é um dos nutrientes que mais limitam o crescimento das plantas nos trópicos. Portanto, o uso de adubos verdes capazes de realizar a fixação biológica de nitrogênio eficientemente, pode representar contribuições consideráveis na viabilidade econômica e sustentabilidade dos sistemas de produção (BODDEY et al., 1997), a partir da substituição total ou parcial da adubação nitrogenada da cultura sucessora.

Quando observados os teores de P e K na parte aérea e nas raízes, não houve diferença significativa entre as doses de 80 e 160 kg ha⁻¹ de P aplicadas na sementeira (Figura 3B, 3C, 4B, 4C), no entanto a eficiência de utilização do P e do K foram superiores na dose de 160 kg ha⁻¹ de P, cujos valores foram de 94.3 g².mg⁻¹ e 16.55 g².mg⁻¹ g.kg⁻¹, respectivamente, diferindo estatisticamente do tratamento controle e da dose de 80 kg ha⁻¹ de P (Figura 5B e 5C). A partir dos dados, é possível inferir que houve um aumento na eficiência de utilização do P e do K na ordem de 31% e 106%, respectivamente, em relação ao controle (0 kg ha⁻¹ de P), quando aplicado a dose de 160 kg ha⁻¹ de P.

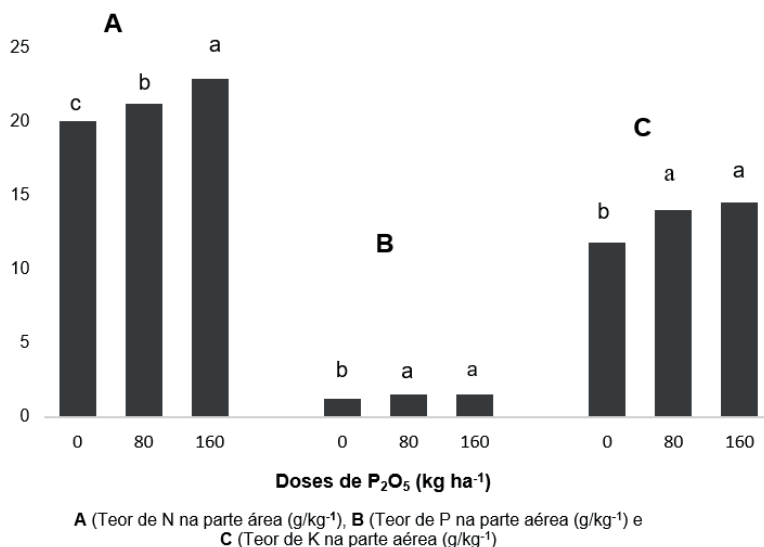
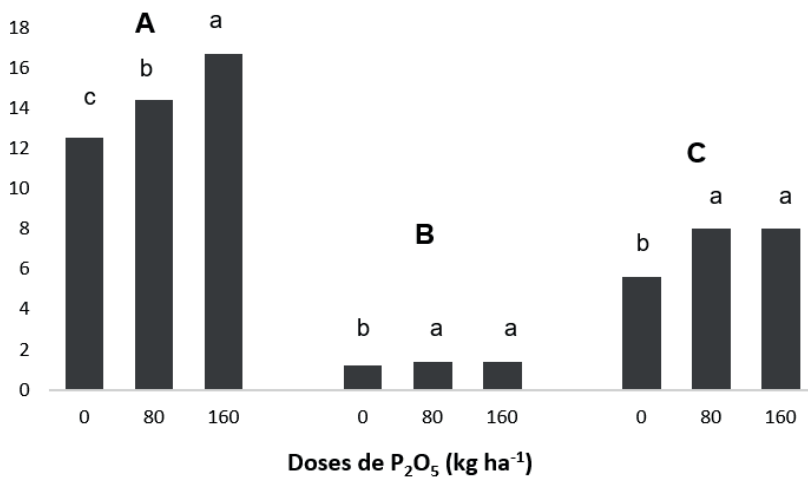
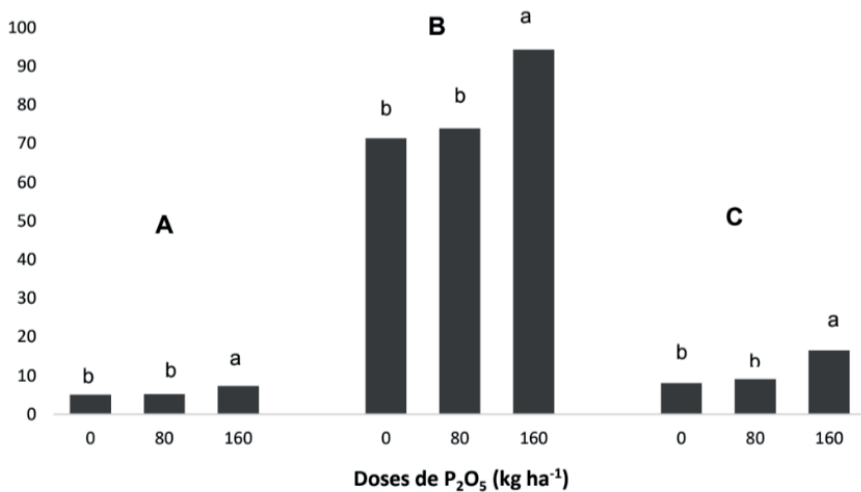


Figura 3. Teor de N na parte aérea (A), teor de P na parte aérea (B) e teor de K na parte aérea (C) de plantas de cobertura em resposta a adubação fosfatada. Médias seguidas da mesma letra nas barras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



A (Teor de N na raiz (g/kg⁻¹), B (Teor de P na raiz (g/kg⁻¹) e C (Teor de K na raiz (g/kg⁻¹))

Figura 4. Teor de N na raiz (A), teor de P na raiz (B) e teor de K na raiz (C) de plantas de cobertura em resposta a adubação fosfatada. Médias seguidas da mesma letra nas barras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



A (Eficiência de utilização do N (g².mg⁻¹), B (Eficiência de utilização do P (g².mg⁻¹) e C (Eficiência de utilização do K (g².mg⁻¹))

Figura 5. Eficiência de utilização do N (A), eficiência de utilização do P (B) e eficiência de utilização do K (C) por plantas de cobertura em resposta a adubação fosfatada. Médias seguidas da mesma letra nas barras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No desdobramento da interação dupla, sem utilizar adubação fosfatada (0 kg ha^{-1} de P), apenas com o objetivo de quantificar os nutrientes reciclados pelas espécies de cobertura, constatou-se que as *Crotalaria ochroleuca*, *breviflora* e *spectabilis* foram estatisticamente superiores às demais plantas de cobertura no acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na parte aérea, conferindo potencial de retorno dos nutrientes ao solo, via mineralização da biomassa (Tabela 6). Na dose de 80 kg ha^{-1} de P, as espécies supracitadas continuaram a responder positivamente a adubação fosfatada aumentando os teores de N, P e K em seus tecidos e diferindo estatisticamente ($p < 0.05$) do controle (0 kg ha^{-1} de P); e em doses mais elevadas de fósforo, houve redução no acúmulo de nutrientes na parte aérea, mesmo não apresentando diferença estatística significativa entre as doses de 80 e 160 kg ha^{-1} de P (Tabela 6). O incremento médio nos teores de N, P e K na parte aérea para espécies de *Crotalaria ochroleuca*, *Crotalaria breviflora* e *Crotalaria spectabilis* foram na ordem de 18.50%, 16.55% e 12.63%, respectivamente, quando comparado ao tratamento controle e adubado com 80 kg ha^{-1} de P. Assim, o efeito positivo da adubação fosfatada é evidente em doses moderadas de fósforo, e as espécies de crotalaria apresentam tolerância significativa a solos de baixa fertilidade e com níveis baixos de P.

Observa-se que as espécies Lab-lab, mucuna cinza, mucuna preta, *Crotalaria breviflora* e *Crotalaria spectabilis* foram estatisticamente superiores às demais plantas de cobertura no acúmulo de nitrogênio na raiz, na ausência de adubação fosfatada (Tabela 7). Quando adubado com 80 kg ha^{-1} de P, as espécies mucuna cinza, mucuna preta responderam a adubação fosfatada aumentando os teores de N na raiz na ordem de 36% e 32%, respectivamente, quando comparado ao controle não adubado, e diferindo estatisticamente ($p < 0.05$) da dose de 160 kg ha^{-1} de P; enquanto que o maior incremento no teor de K na raiz foi observado para mucuna preta, *Crotalaria breviflora* e *Crotalaria spectabilis* na dose de 80 kg ha^{-1} de P (Tabela 7). Quanto aos teores de P na raiz, as espécies Lab-lab apresentou os maiores incrementos do nutriente relação ao controle, na dose mais elevada de P (160 kg ha^{-1} de P) (Tabela 7), corroborando aos resultados encontrado individualmente para as espécies, conforme mostra tabela 4.

As espécies de mucuna cinza e mucuna preta foram significativamente eficientes quanto à utilização de N, P e K na dose de 160 kg ha^{-1} de P (Tabela 8), corroborando os resultados encontrados e apresentados na Tabela 5 e Figura 5, além de apresentarem a maior produção de massa seca da raiz, o que confere as espécies maior volume radicular.

Tabela 6. Desdobramento da interação entre plantas de cobertura e doses de fósforo para teores de nitrogênio, fósforo e potássio na parte aérea.

Planta de cobertura	Teor de N na parte aérea (g/kg ⁻¹)		
	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)		
	0	80	160
Feijão de porco	17.53 cdA	19.55 bA	20.36 bcA
Lab-lab	16.78 dA	18.12 bA	18.26 cA
Mucuna cinza	18.36 cdB	23.63 abA	22.97 bA
Mucuna preta	21.84 abB	25.22 aA	21.02 bcB
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	23.70 aB	26.77 aA	29.43 aA
<i>Crotalaria breviflora</i>	21.18 abB	25.62 aA	21.08 bcB
<i>Crotalaria spectabilis</i>	20.62 abcB	25.41 aA	22.36 bB

Planta de cobertura	Teor de P na parte aérea (g/kg ⁻¹)		
	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)		
	0	80	160
Feijão de porco	0.90 bB	1.26 dA	1.32 cA
Lab-lab	1.49 aB	1.66 abAB	1.84 aA
Mucuna cinza	0.98 bB	1.31 cdA	1.28 cA
Mucuna preta	0.96 bB	1.41 cdA	1.48 bcA
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	1.35 aB	1.61 abA	1.51 bcA
<i>Crotalaria breviflora</i>	1.62 aA	1.60 abA	1.48 bcB
<i>Crotalaria spectabilis</i>	1.39 aB	1.86 aA	1.61 abB

Planta de cobertura	Teor de K na parte aérea (g/kg ⁻¹)		
	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)		
	0	80	160
Feijão de porco	10.75 cA	12.65 cA	11.33 bcA
Lab-lab	11.93 cC	15.64 abA	13.59 bB
Mucuna cinza	9.98 cB	12.45 cA	8.86 cB
Mucuna preta	12.21 bcA	13.61 bcA	12.05 bA
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	18.80 aA	15.56 abB	11.49 bcC
<i>Crotalaria breviflora</i>	15.05 aA	14.35 abA	12.83 bB
<i>Crotalaria spectabilis</i>	19.12 aA	17.12 aAB	15.31 aB

As letras minúsculas separam as médias dentro de cada coluna e as maiúsculas separam as médias dentro da linha. Letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 7. Desdobramento da interação entre plantas de cobertura e doses de fósforo para teores de nitrogênio, fósforo e potássio na raiz.

Planta de cobertura	Teor de N raiz (g/kg ⁻¹)		
	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)		
	0	80	160
Feijão de porco	10.23 bB	18.02 aA	18.32 aA
Lab-lab	13.66 aA	14.18 bA	14.38 bA
Mucuna cinza	13.61 aB	18.51 aA	13.59 bcB
Mucuna preta	13.82 aC	18.25 aA	16.27 abB
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	9.53 bC	17.14 abA	15.74 abB
<i>Crotalaria breviflora</i>	13.17 aAB	15.55 abA	10.33 cB
<i>Crotalaria spectabilis</i>	13.87 aB	16.36 abA	15.53 abA

Planta de cobertura	Teor de P na raiz (g/kg ⁻¹)		
	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)		
	0	80	160
Feijão de porco	1.09 cB	1.39 bA	1.48 abA
Lab-lab	1.36 aB	1.63 aA	1.64 aA
Mucuna cinza	1.22 bA	1.34 bA	1.25 cdA
Mucuna preta	1.05 cB	1.34 bA	1.38 bcA
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	1.18 bA	1.10 cA	1.16 dA
<i>Crotalaria breviflora</i>	1.34 aA	1.29 bA	1.39 bcA
<i>Crotalaria spectabilis</i>	1.22 cB	1.41 bA	1.49 abA

Planta de cobertura	Teor de K na raiz (g/kg ⁻¹)		
	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)		
	0	80	160
Feijão de porco	6.48 cA	8.87 bA	7.17 abA
Lab-lab	7.91 bcA	8.00 bA	5.53 bcA
Mucuna cinza	7.77 bcAB	9.11 bA	4.96 bcB
Mucuna preta	6.69 bcB	11.32 aA	8.39 abB
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	7.49 bcA	4.27 cB	2.87 cB
<i>Crotalaria breviflora</i>	12.87 aA	10.86 aB	9.81 aB
<i>Crotalaria spectabilis</i>	10.36 abA	10.70 aA	8.32 abB

As letras minúsculas separam as médias dentro de cada coluna e as maiúsculas separam as médias dentro da linha. Letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 8. Desdobramento da interação entre plantas de cobertura e doses de fósforo para eficiência de utilização de nitrogênio, fósforo e potássio.

Planta de cobertura	Eficiência de utilização do N (g ² .mg ⁻¹)		
	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)		
	0	80	160
Feijão de porco	6.76 abA	5.72 aA	6.86 bcA
Lab-lab	4.30 bcB	6.00 aAB	7.14 bA
Mucuna cinza	6.18 abB	5.85 aB	12.57 aA
Mucuna preta	7.47 aA	6.47 aA	7.50 bA
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	3.86 cC	5.29 aB	8.46 bA
<i>Crotalaria breviflora</i>	3.25 cA	3.36 bA	4.79 cA
<i>Crotalaria spectabilis</i>	3.65 cA	3.53 bA	4.76 cA

Planta de cobertura	Eficiência de utilização de P (g ² .mg ⁻¹)		
	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)		
	0	80	160
Feijão de porco	105.11 aA	85.54 abB	85.35 cB
Lab-lab	46.45 cA	59.12 cdA	67.11 dA
Mucuna cinza	91.55 abB	92.08 abB	160.61 aA
Mucuna preta	95.57 abA	101.15 aA	122.06 aA
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	51.38 bcC	89.50 abB	135.92 bA
<i>Crotalaria breviflora</i>	39.29 cA	49.54 dA	55.83 dA
<i>Crotalaria spectabilis</i>	48.04 cA	40.38 dA	59.70 dA

Planta de cobertura	Eficiência de utilização do K (g ² .mg ⁻¹)		
	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)		
	0	80	160
Feijão de porco	11.04 abA	9.46 aA	11.65 bA
Lab-lab	6.64 abA	7.91aA	12.39 bA
Mucuna cinza	10.79 abB	12.27 aB	33.41 aA
Mucuna preta	14.35 aA	11.50 aA	13.70 bA
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	5.09 abB	11.75 aB	30.22 aA
<i>Crotalaria breviflora</i>	4.22 bA	5.67 aA	7.01 bA
<i>Crotalaria spectabilis</i>	4.10 bA	4.72 aA	7.47 bA

As letras minúsculas separam as médias dentro de cada coluna e as maiúsculas separam as médias dentro da linha. Letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Contudo, a utilização dessas plantas de cobertura de solo para adubação verde em sistemas de sucessão ou rotação de culturas tem grande capacidade de depositar quantidades expressivas de massa seca ao solo, e a ciclagem e o acúmulo de nutrientes na parte aérea podem reduzir a utilização de fertilizantes químicos aplicados na cultura subsequente e contribuir para o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável na região amazônica, com a premissa de preservação do meio produtivo.

CONCLUSÕES

O feijão de porco proporcionou maior produtividade de massa fresca, massa seca da parte aérea, teor de P na parte aérea e maior eficiência de absorção de N e P.

Os teores de N e P nas raízes de Lab-lab foram superiores na dose mais elevada de P (160 kg ha⁻¹ de P), sem estreita relação com o aporte de massa seca da parte aérea.

A dose de 160 kg ha⁻¹ de P exerceram efeito crescente e significativo sobre a produção de massa fresca e massa seca da parte aérea, teor de N, P e K na parte aérea, teor de N, P e K na raiz e eficiência de utilização de N, P e K pelas diferentes plantas de cobertura.

A dose de 80 kg ha⁻¹ de P aumentou os teores de N, P e K na parte aérea de *Crotalaria ochroleuca*, *Crotalaria breviflora* e *Crotalaria spectabilis*; e em doses mais elevadas de fósforo, houve redução no acúmulo de nutrientes.

As espécies de mucuna cinza e mucuna preta foram eficientes quanto à utilização de N, P e K na dose de 160 kg ha⁻¹ de P.

O uso dessas plantas de cobertura configura potencial para a melhoria da dinâmica de nutrientes no solo e alternativa de manejo que contribui para a manutenção e melhoria da qualidade do solo em bioma amazônico.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 22, n. 6, p.1003-1011, 2003.

BARROS, D.L.; GOMIDE, P.H.O.; CARVALHO, G.J. Plantas de cobertura e seus efeitos na cultura em sucessão. Bioscience Journal, v.29, n.2, p. 308-318, 2013.

BODDEY, R. M. et al. The contribution of biological nitrogen fixation for sustainable agricultural systems in the tropics. Soil Biology and Biochemistry, v. 29, n. 5/6, p. 787-799, 1997.

BORTOLUZZI, M.P.; HELDWEIN, A.B.; LEONARDI, M.; HINNAH, F.D.; LOOSE, L.H. Crescimento, acúmulo de fitomassa e produtividade do feijão de porco em diferentes datas de semeadura. Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. v.62, n.1, p. 1-7, 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA – EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.- 2. Ed, Brasília., Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

FISCHLERAB, M.; WORTMANN, C. S.; FEIL, B. *Crotalaria* (*C.ochroleuca* G Don.) as a green manure in maize-bean cropping systems in Uganda. Field Crops Research, Amsterdam, v. 61, n. 2, p. 97-107, 1999.

FERNANDES, C.; MURAOKA, T. Absorção de fósforo por híbridos de milho cultivados em solos de cerrado. Scientia Agrícola, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 781-787, 2002.

HALL, H. et al. Cover crops alter phosphorus soil fractions and organic matter accumulation in a Peruvian cacao agroforestry system. *Agroforestry Systems*, v. 80, n. 3, p. 447–455, 6 jul. 2010.

MAUAD, M.; SANTANA, R. S.; CARLI, T. H.; CARLI, F.; VITORINO, A.C.T.; MUSSURY, M.; RECH, J. Dry matter production and nutrient accumulation in *Crotalaria spectabilis* shoots. *Journal of Plant Nutrition*, n.42, v.6, p.615-625, 2019.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG: UFV, DPS, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. *Tópicos em Ciência do Solo*, Viçosa, v. 2, p. 393-486. 2002.

PADOVAN, M.P.; MOTTA, I.S.; CARNEIRO, L.F.; MOITINHO, M.R. & FERNANDES, S.S.L. Acúmulo de fitomassa e nutrientes e estágio mais adequado de manejo do feijão-de-porco para fins de adubação verde. *Revista Brasileira de Agroecologia*, vol. 6, n. 3, p. 182-190, 2011.

PEREIRA, A.P.; SCHOFFEL, A.; KOEFENDER, J.; CAMERA, J.N.; GOLLE, D.P.; HORN, R.C. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. *Revista de Ciências Agrárias*, n.40, v. 4, p. 799-807, 2017.

ROCHA, W. S. Inoculação e doses de fósforo em feijão-caupi no sul do Estado do Tocantins. Gurupi: UFT, 2016. 56 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2016.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimations and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SILVA, T.O.; FURTINI NETO, A.E.; CARNEIRO, L.F.; PALUDO, V. Plantas de cobertura submetidas a diferentes fontes de fósforo em solos distintos. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 32, n. 4, p. 1315-1326, 2011.

SILVA, F. N.; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, L. F.; MAGALHÃES, C. A. S.; CARNEIRO, D. N. M. Crescimento e produção de grãos da soja sob diferentes doses e fontes de fósforo em solos distintos. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1220-1227, 2009.

SOARES, I.; LIMA, S. C.; CRISÓSTOMO, L. A. Crescimento e composição mineral de mudas de gravioleira em resposta a doses de fósforo. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 38, n. 4, p. 343-349, 2007.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). *Cerrado: correção do solo e adubação*. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.147-168.

SWIADER, J. M. CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. *Journal of Plant Nutrition*, v.17, n.10, p.1687-1699, 1994.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.). *Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática*. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 59-168.

COMPORTAMENTO DE PLANTAS DE TRIGO SARRACENO EM RESPOSTA A DOSES E FONTES DE FÓSFORO

Data de aceite: 01/07/2024

Érica de Oliveira Araújo

Profa. Doutora em Agronomia,
Departamento de Agropecuária, Instituto
Federal de Rondônia, Campus de
Colorado do Oeste, Colorado do Oeste-
Brasil

Jéssica Schiochet

Engenheira Agrônoma, Instituto Federal
de Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

Wilk Sampaio de Almeida

Prof. Doutor em Ciência do solo,
Departamento de Agronomia, Instituto
Federal de Rondônia, Campus de
Ariquemes, Ariquemes- Brasil

2016). Foi introduzido no Brasil no século XX, na região sul, trazido por imigrantes poloneses, russos e alemães (PACE, 1964). Os primeiros dados estatísticos da produção de mourisco no Brasil referem-se ao triênio de 1928 a 1930, onde a produção média foi de 4.500 toneladas. A produtividade brasileira atual é de aproximadamente 2500 kg/ha (LIM, 2013).

Atualmente, essa cultura está sendo explorada com maior intensidade, devido a seu múltiplo uso, principalmente como planta de cobertura de solo. A cobertura do solo é uma prática de conservação do solo conhecida desde milhares de anos. O uso de plantas de cobertura em sistemas de rotação de culturas com adubação verde pode promover uma redução acentuada de perdas de solo. Isso porque a reciclagem de nutrientes confere melhor fertilidade, maior diversidade biológica, maior equilíbrio e aumento no rendimento das culturas, estabilizando a produção e possibilitando o uso racional e constante da terra, de maneira a tornar sustentável o sistema de produção (CALEGARI, 2012).

INTRODUÇÃO

O trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum* Moench), também conhecido por trigo mourisco, é uma dicotiledônea pertencente à família Polygonaceae, sem nenhum parentesco com o trigo comum. É originado das regiões centrais da Ásia e cultivado em área aproximada de 3,7 milhões de hectares/ano, sendo a China, Rússia Ucrânia e Cazaquistão, os maiores produtores mundiais (FAO,

As plantas de cobertura são, de maneira geral, rústicas e agressivas. Dentre as espécies que podem ser utilizadas como planta de cobertura está o trigo mourisco ou sarraceno, caracterizado por ser uma planta rústica e de ciclo curto (60-90 dias). Essa espécie destaca-se pela eficiência no controle de plantas daninhas, tanto de espécies monocotiledôneas quanto dicotiledôneas, decorrente da sua utilização como cultura de cobertura, pela sua tolerância à acidez, capacidade de utilização de sais de fósforo e potássio, pouso solúvel no solo (KLEIN et al., 2010).

Menezes e Leandro (2004), avaliando a produção de massa seca de trigo sarraceno como espécie de coberturas do solo e a extração de nutrientes por essa espécie vegetal, verificaram que o trigo sarraceno destacou-se como um material exportador de nutrientes, uma vez que, em média, apresentou as maiores quantidades acumuladas de N, K, Ca, Cu e Fe em seus tecidos e uma produção de matéria seca 3.576 kg ha⁻¹ aos 90 dias após a emergência (DAE). Apesar de neste trabalho o trigo sarraceno não ter se destacado pela absorção de P, esta planta é capaz de extrair P a partir de fosfatos minerais insolúveis em água e em ácidos fracos, através de mecanismos que promovem a formação de humo fosfatos assimiláveis pela cultura. Já Klein et al., (2010) observaram a alta capacidade de reciclagem de N e K, avaliando cultivares precoces e tardias de trigo sarraceno. Pode-se inferir que as plantas de cobertura têm a capacidade de extrair elementos menos solúveis e de mobilizar nutrientes de camadas de solo mais profundos, em função do alto crescimento do sistema radicular.

Segundo Gorgem (2013), agricultores vêm utilizando o trigo mourisco como planta sucessora de culturas de grão como soja, milho e sorgo, principalmente devido a sua capacidade de desenvolver em solos ácidos, sua utilização como adubo verde e sua capacidade de desenvolvimento com baixa umidade, ideal para plantio na safrinha e rotação de cultura em áreas de cultivos extensivos.

Além disso, a determinação de plantas de trigo sarraceno cada vez mais eficiente nutricionalmente constitui uma solução para aumentar a produtividade e reduzir o custo de produção das culturas, uma vez que essa planta tem a capacidade de extrair elementos menos solúveis e de mobilizar nutrientes de camadas de solo mais profundos, em função do alto crescimento do sistema radicular. Porém, existe pouca informação científica sobre o acúmulo e a eficiência de utilização de nutrientes por essa cultura, demonstrando que muito ainda têm a ser estudar e que a investigação centrada no aprofundamento deste conhecimento servirá de base científica para um novo processo tecnológico destinado à produção agrícola.

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o crescimento, o acúmulo de nutrientes, a eficiência de absorção e utilização de fósforo por plantas de trigo sarraceno em resposta a diferentes doses e fontes de P solúvel.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em ambiente protegido do Setor de Produção Vegetal do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, Campus de Colorado do Oeste, RO, cujas coordenadas geográficas são 13° 06' S e 60° 29' W, com altitude média de 407 metros. O clima segundo a classificação de Koppen é do tipo Awa, tropical quente e úmido com duas estações bem definidas. A amostra de solo utilizada foi coletada na profundidade de 0-20 cm.

A análise química da amostra de solo antes da instalação do experimento resultou nos seguintes valores: M.O.: 28,90 g dm⁻³; pH (CaCl₂): 6,1; P: 10 mg dm⁻³; K: 0,40 cmolc dm⁻³; Ca: 5,52 cmolc dm⁻³; Mg 1,40 cmolc dm⁻³; Al: 0,0 cmolc dm⁻³; H+Al: 2,10 cmolc dm⁻³; SB: 7,32 cmolc dm⁻³; CTC: 9,42 cmolc dm⁻³, saturação por bases 77%. A análise granulométrica apresentou 428 g kg⁻¹ de areia, 210 g kg⁻¹ de silte e 362 g kg⁻¹ de argila.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 5x2, sendo, cinco doses de fósforo e duas fontes solúveis de P₂O₅, com quatro repetições. As doses de P consistiram de 0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicadas no plantio; e as fontes de P₂O₅ utilizadas foram SFS (21% P₂O₅) e o SFT (41% P₂O₅).

Com base nos resultados da análise química do solo, foi realizada uma adubação de base para garantir o estabelecimento da cultura. As doses de P foram convertidas para mg kg⁻¹ utilizando valores de densidade do solo. Os micronutrientes foram aplicados conforme a exigência da cultura.

As unidades experimentais foram compostas por vasos plásticos com capacidade de 12 dm³, preenchidos com solo seco ao ar, passado em peneira de 4 mm de abertura. A umidade dos vasos foi controlada diariamente, visando manter o solo com 60% da capacidade de campo.

As sementes foram postas a germinar diretamente nos vasos, sendo aos 10 DAE realizados os desbastes, deixando-se apenas uma planta em cada unidade experimental; e as avaliações realizadas aos 60 DAE, correspondentes ao final do ciclo da cultura.

A altura das plantas foi obtida pela medição do colo da planta até o meristema apical, utilizando-se uma fita métrica; e o diâmetro do caule foi determinado com o auxílio de paquímetro digital, na altura de 2 cm do colo da planta. Posteriormente, as plantas foram coletadas e divididas em raiz e parte aérea. Em seguida, todo o material vegetal coletado foi lavado em água corrente e água deionizada, respectivamente. O comprimento de raiz foi determinado com uma régua graduada e o volume de raiz pelo método da proveta, no qual as raízes foram submersas em proveta graduada com volume de água destilada conhecido, sendo o volume determinado pela diferença entre o volume inicial e final do recipiente. A massa verde das plantas foi determinada pela pesagem do material em balança de precisão. Posteriormente, as raízes e parte aérea foram colocadas para secar em estufa a 65°C por 72 horas, sendo, em seguida, determinada a sua massa. Após a

secagem do material vegetal, procedera à pesagem e moagem da massa seca em moinho tipo Wiley, sendo as amostras, submetidas à digestão nitroperclórica, para determinação dos teores de P nas diferentes partes da planta (raiz e parte aérea), de acordo com a metodologia descrita em Embrapa (2009).

O índice de eficiência de absorção, razão entre o conteúdo total de nutriente na planta e a massa seca das raízes, foi calculado de acordo com Swiader et al. (1994), enquanto que a eficiência de transporte, razão entre o conteúdo de nutriente na parte aérea e o conteúdo de nutriente na planta; e a eficiência de utilização, razão entre a massa seca total produzida e o acúmulo total de nutriente na planta, foram calculados de acordo com Siddiqi e Glass (1981).

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro Wilk e a análise de variância com auxílio computacional do programa de análise estatística Sisvar. Os efeitos doses de P, dentro de cada fonte do nutriente foram avaliados pelo teste de Scott Knott em nível de 5 % de probabilidade. Para a variável com significância estatística em função das doses de P foi utilizada análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) para teor de P na parte aérea e na planta, conteúdo de P na parte aérea e na planta e eficiência de utilização do P com o incremento das doses de fósforo (Tabela 1). Enquanto que apenas o conteúdo de P na parte aérea e conteúdo de P na planta responderam a interação entre doses e fontes de P solúvel (Tabela 1).

Tabela 1. Valores F, Média e CV para altura de plantas (ALT), diâmetro do caule (DIA), volume de raiz (VR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MSTO), teor de P na parte aérea (TPPA), teor de P na raiz (TPR), teor de P na planta (TPPL), conteúdo de P na parte aérea (CPPA), conteúdo de P na raiz (CPR), conteúdo de P na planta (CPPL), eficiência de absorção de P (EAP), eficiência de transporte de P (ETP) e eficiência de utilização do P (EUP) por plantas de trigo sarraceno em resposta a doses e fonte de P solúvel.

Fonte de variação	GL	Pr > F				
		ALT	DIA	VR	MSPA	MSR
Fonte (F)	1	0,50	0,84	0,34	0,41	0,88
Dose (D)	4	0,46	0,51	0,47	0,81	0,70
F x D	4	0,71	0,76	0,74	0,32	0,40
Resíduo	30					
Média		146	9,13	34,07	34,23	4,31
CV (%)		10,30	10,89	17,04	13,30	10,69

Fonte de variação	GL	Pr > F				
		MSTO	TPPA	TPR	TPPL	CPPA
Fonte (F)	1	0,45	0,62	0,20	0,71	0,69
Dose (D)	4	0,84	0,00*	0,18	0,00*	0,00*
F x D	4	0,20	0,12	0,08	0,53	0,04*
Resíduo	30					
Média		38,55	2,64	1,88	4,53	90,50
CV (%)		13,68	14,71	13,41	7,81	18,28

Fonte de variação	GL	Pr > F				
		CPR	CPPL	EAP	ETP	EUP
Fonte (F)	1	0,42	0,60	0,64	0,58	0,76
Dose (D)	4	0,33	0,00*	0,27	0,44	0,00*
F x D	4	0,28	0,03*	0,88	0,40	0,33
Resíduo	30					
Média		8,06	98,57	25,71	91,69	15,49
CV (%)		17,97	17,40	22,29	3,46	18,70

* – significativo pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. CV – coeficiente de variação.

O trigo sarraceno destacou-se como um material exportador de fósforo, uma vez que, apresentou as maiores quantidades acumuladas de P em seus tecidos, potencializando uma importante espécie de cobertura, por remover consideravelmente P do solo (Figura 1A, 1B, 1C e 1D). As plantas de cobertura têm a capacidade de extrair elementos menos solúveis e de mobilizar nutrientes de camadas de solo mais profundas, em função do alto crescimento do sistema radicular e pelo fato desse sistema, em leguminosas, alcançar grandes profundidades. E, apesar da produção de massa seca não ter sido significativa, os teores de P exemplificam o potencial dessas espécies em fornecer nutrientes às culturas subseqüentes.

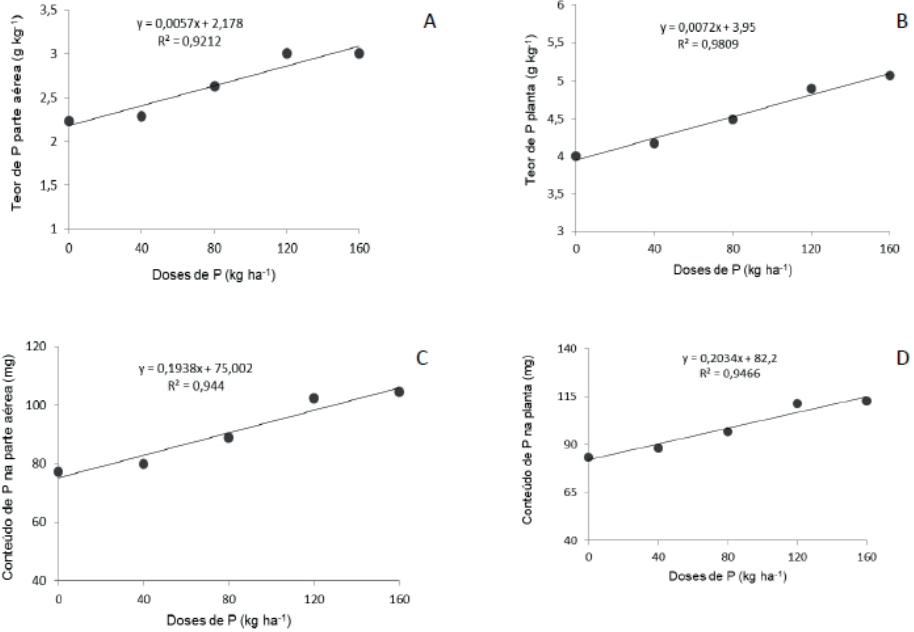


Figura 1. Teor de P na parte aérea (A), teor de P na planta (B), conteúdo de P na parte aérea (A), e conteúdo de P na planta (B) de trigo sarraceno em resposta a diferentes doses P.

O conteúdo de P na parte aérea e na planta foi influenciado significativamente ($p \leq 0,05$) pelas doses e fontes fósforo no solo (Figura 2A e 2B). Quanto mais fósforo disponível no solo maior será o gradiente de concentração deste elemento, ocasionando, portanto, aumento no acúmulo de P na parte aérea e incorporação desse nutriente na biomassa.

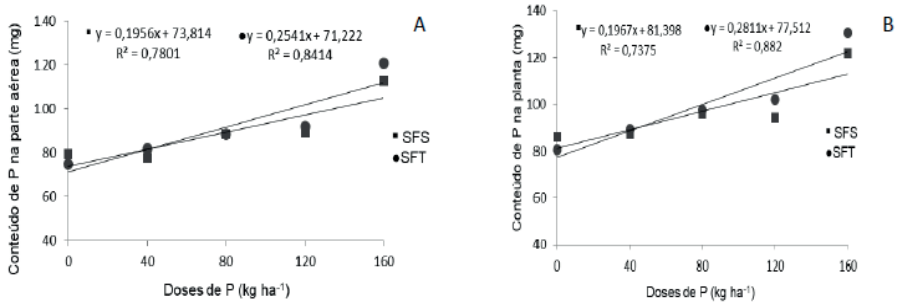


Figura 2. Conteúdo de P na parte aérea (A) e conteúdo de P na planta (B) de trigo sarraceno em resposta a diferentes doses e fontes de P solúvel.

A eficiência de utilização do P respondeu linearmente ao incremento das doses de fósforo (Figura 3). A utilização de P por plantas de trigo sarraceno foi superior na dose de 40 kg/ha de P, reduzindo com o aumento das doses do nutriente no solo. À medida que se ultrapassa a capacidade da planta em absorver o nutriente para produção, o P pode ser lixiviado ou acumular-se nos tecidos, reduzindo sua eficiência de aproveitamento.

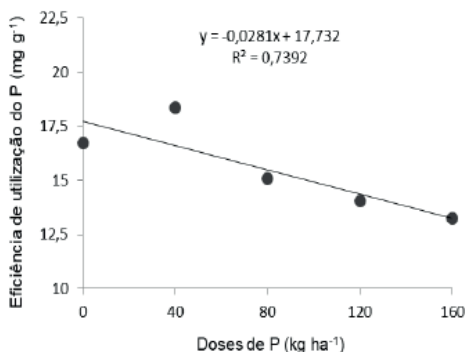


Figura 3. Eficiência de utilização do P por plantas de trigo sarraceno em resposta a diferentes doses de P.

CONCLUSÕES

O incremento nas doses de P solúvel aumentou o teor e o conteúdo de P nos tecidos de plantas de trigo sarraceno, conferindo a espécie potencial à extração de P do solo e destaque como importante espécie de planta de cobertura.

REFERÊNCIAS

CALEGARI, A. Plantas de cobertura em sistema Plantio Direto de Qualidade (SPDq). Revista A Granja, Porto Alegre, RS: Centaurus, v.68, n.763, p 67-69, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA – EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.- 2. Ed, Brasília., Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

FAO, FAO Statistical Yearbook (2016). FAO Statistics Division. Disponível em: <www.faostat.fao.org>. Acessado em 10/09/2016.

GORGEN, A.V. Produtividade e qualidade da forragem de milheto (*Pennisetum glaucum* e de trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench) cultivado no cerrado. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 49 páginas. Monografia. Universidade de Brasília, 2013. Disponível em: <http://bdm.unb.br/bitstream/10483/4733/6/2013_AngelaValentiniGorgen.pdf>

KLEIN, V.A.; NAVARINI, L.L.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; COSTA, L.O. Trigo mourisco: uma planta de triplo propósito e uma opção para rotação de culturas em áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, 117.ed., 2010. Disponível em: <http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=991>

MENEZES, L.A.S; LEANDRO, W.M. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistemas de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.34.p.173-180. 2004.

PACE, T. Cultura do trigo sarraceno: história, botânica e econômica. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Serviço de informação Agrícola, 71p, 1964.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, v. 4, n.3, p. 289-302, 1981. Disponível em: < <https://doi.org/10.1080/01904168109362919>>

SWIADER, J. M. CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. *Journal of Plant Nutrition*, v.17, n.10, p.1687-1699, 1994. Disponível em: < <https://doi.org/10.1080/01904169409364840>>

CAPÍTULO 4

PLANTAS DE COBERTURA E O RECONDICIONAMENTO QUÍMICO DO SOLO EM AMBIENTE AMAZÔNICO

Data de aceite: 01/07/2024

Érica de Oliveira Araújo

Profa. Doutora em Agronomia,
Departamento de Agropecuária, Instituto
Federal de Rondônia, Campus de
Colorado do Oeste, Colorado do Oeste-
Brasil

Jiovane Anderson da Silva Ribeiro

Engenheiro Agrônomo, Instituto Federal
de Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

Daniele Jesus Venturim

Engenheira Agrônoma, Instituto Federal
de Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

José Vanor Felini Catânio

Prof. Mestre em Produção Animal,
Departamento de Agronomia, Instituto
Federal do Mato Grosso, Campus
Confresa, Confresa, Brasil

Vitório Macieski Neto

Graduando (a) em Engenharia
Agrônômica, Instituto Federal de
Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

Diogo de Souza Freitas

Graduando (a) em Engenharia
Agrônômica, Instituto Federal de
Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

Aline Ottes Moreira

Engenheira Agrônoma, Instituto Federal
de Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

José Henrique de Souza Costa

Técnico em Agropecuária, Instituto
Federal de Rondônia, Campus de
Colorado do Oeste, Colorado do Oeste,
Brasil

Willian Junior Silva Costa

Técnico em Agropecuária, Instituto
Federal de Rondônia, Campus de
Colorado do Oeste, Colorado do Oeste,
Brasil

Klariston Rodrigues dos Santos

Técnico em Agropecuária, Instituto
Federal de Rondônia, Campus de
Colorado do Oeste, Colorado do Oeste,
Brasil

INTRODUÇÃO

Os solos dominantes do bioma amazônico, notadamente os Latossolos são, de modo geral, de textura argilosa, bem estruturados e com alta estabilidade

de agregados, embora altamente intemperizados, ácidos e pobres em nutrientes essenciais para as plantas. Em condições antrópicas o manejo inadequado desses solos afeta seu conteúdo de matéria orgânica e sua estrutura, diminuindo a disponibilidade de nutrientes e a agregação (SANTOS et al., 2011).

Dentre as tecnologias disponíveis visando ao correto manejo dos solos tropicais, destaca-se o cultivo de plantas de cobertura antecedendo às culturas como o milho e/ou a soja, no qual pode resultar em aumento de produtividade e manutenção do equilíbrio do sistema, sobretudo pelo potencial de produção de biomassa e adição de nitrogênio, sendo, também, importantes para o sequestro de carbono no solo (SISTI et al., 2004), propiciando condições mais favoráveis para o estoque de carbono nas camadas superiores e, ao longo do tempo de adoção, nas suas camadas mais profundas. Esses efeitos podem significar uma forma de agricultura de baixa emissão de gases de efeito estufa, contribuindo para mitigar efeitos das mudanças climáticas e promover aumento da sustentabilidade dos agroecossistemas (BASCHES et al., 2014; MUKHERJEE; LAL, 2015). Deste modo, cultivar plantas de cobertura é uma prática de manejo que pode devolver ao solo parte do que foi perdido ao longo de décadas de cultivo convencional.

O sucesso na adoção de sistemas de manejo que incluem plantas de cobertura no bioma amazônico depende de condições climáticas, visto que há influência significativa na aceleração da decomposição dos resíduos vegetais com consequente redução do acúmulo de matéria orgânica do solo. As concentrações de nitrogênio e de compostos orgânicos tais como lignina, hemicelulose e celulose regulam a velocidade de decomposição dos resíduos e afetam a dinâmica das frações e o acúmulo da matéria orgânica do solo (SANTOS et al., 2012; CARVALHO et al., 2015). Além disso, a deposição dos resíduos vegetais ao longo dos anos favorece o aumento na concentração de ácido húmico, que, juntamente com a precipitação anual alta, concentrada nos meses mais quentes, intensifica a biodegradação das frações da MOS instáveis, com a transformação mais rápida de ácido fúlvico para ácido húmico, principalmente, em plantas de cobertura com menor teor de lignina (SANTOS et al., 2012).

Na região Noroeste da Amazônia, em especial no estado de Rondônia são escassas informações fundamentadas sobre o funcionamento dessa tecnologia na manutenção ou construção da fertilidade do solo, o que se torna fundamental para o sucesso dos diferentes sistemas de produção e estratégia efetiva para promover o melhor condicionamento do solo. Nesta premissa, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a absorção de nutrientes e o condicionamento dos atributos químicos do solo depois de manejado com diferentes plantas de cobertura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, Campus Colorado do Oeste, no município de Colorado do Oeste, RO, cujas coordenadas geográficas são 13° 06' S e 60° 29' W, com altitude média de 407 metros. O clima segundo a classificação de Köppen é do tipo Awa, tropical quente e úmido com duas estações bem definidas. Dados médios de temperatura e precipitação pluviométrica durante a condução do experimento foram obtidos do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (Figura 1). A caracterização química do solo foi realizada nas camadas de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30- 40 cm, em amostras coletadas antes da instalação do experimento e os dados são apresentados na Tabela 1. A análise granulométrica na profundidade de 0-10 cm apresentou 343 g dm⁻³ de argila, 479 g dm⁻³ de areia e 178g dm⁻³ de silte. A correção do solo foi realizada trinta dias antes da semeadura, com base nos resultados da análise do solo na camada de 0-10 cm, utilizando calcário dolomítico (PRNT 97%) incorporado, com o objetivo de elevar a saturação por bases a 65%.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, arranjos em esquema fatorial, com quatro repetições, sendo constituído por sete espécies de cobertura cultivadas em pré-safra a cultura do milho (*Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria ochroleuca*, Mucuna preta, Mucuna cinza, Lab-lab e feijão de porco) e quatro camadas de amostragem (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30- 40 cm).

O preparo primário do solo incluiu a aração e gradagem (grade de discos) até 15 cm de profundidade, enquanto que o preparo secundário inclui o destorroamento e nivelamento da área experimental. A adubação de base foi realizada à lanço, com posterior incorporação, aplicando-se 400 kg ha⁻¹ da formulação 0-20-20 para o suprimento de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 80 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente.

Tabela 1. Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento nas diferentes camadas de amostragem.

Camada	N	MO	CO	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V	m
	mg/dm ⁻³	g/dm ⁻³		CaCl ₂	mg/dm ⁻³				-----mmolc/dm ⁻³ -----			-----%------		
0-10	1253,5	11,4	6,62	4,9	4	81,9	29	8	30	1	40	70	57	2
10-20	1090,9	5,3	5,3	5,0	1	58,5	36	4	25	1	41	66	62	2
20-30	848,3	4,2	4,2	5,3	1	42,9	37	3	20	0	40	60	67	1
30-40	842,3	3,1	3,1	5,5	1	27,3	35	2	17	0	37	54	69	1

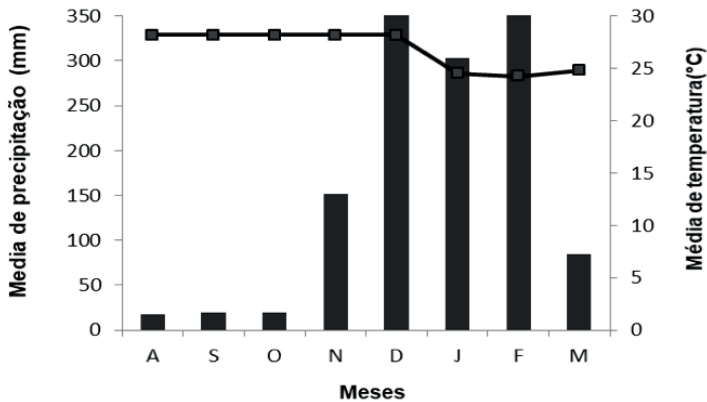


Figura 1. Precipitação (mm) e temperatura (°C) médias mensais, registradas na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia, no período de agosto de 2019 a março de 2020. Fonte. Instituto Nacional de meteorologia (2019/2020).

Os sulcos de plantio foram abertos mecanicamente em profundidades entre 5 e 7 cm, de acordo com o espaçamento determinado. A semeadura foi realizada manualmente. Os diferentes gastos de sementes adotados foram baseados em recomendações técnicas (Tabela 2). Cada unidade experimental foi composta por 8 linhas de 4 metros de comprimento, espaçadas em 0,45 m entre linhas e 0,20 m entre plantas. Consideraram-se como parcela útil as seis linhas centrais, excluindo-se 0,5 m de cada extremidade da parcela.

Aos quinze e trinta dias após a emergência das plantas de cobertura procedera a aplicação de inseticida com ingrediente ativo Imidacloprido 100 g/L, Beta-ciflutrina 12,5 g/L, grupo químico Neonicotinoide (Imidacloprido) e Piretroide (Beta-ciflutrina), com recomendação de 750-1000 mL/ha, para controle de *Lagraria villosa*, *Diabrotica speciosa*, *Cerotoma arcuata* e *Edessa metidabunda*.

Tabela 2. Espécies de planta de cobertura (tratamentos das parcelas), relação C/N indicada na literatura, densidade de sementeira empregada.

Espécie	Nome comum	Família	Relação C/N	Sementes m ²
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	Crotalária ochroleuca	Fabaceae	25-29 ²	67
<i>Crotalaria spectabilis</i>	Crotalaria spectabilis	Fabaceae	10-16 ¹	73
<i>Crotalaria breviflora</i>	Crotalaria breviflora	Fabaceae	11-18	73
<i>Mucuna aterrima</i>	Mucuna preta	Fabaceae	12-21 ¹	9
<i>Mucuna pruriens</i>	Mucuna cinza	Fabaceae	12-21 ¹	9
<i>Dolichos lablab</i>	Lab-Lab	Fabaceae	23-28 ³	10
<i>Canavalia ensiformis</i>	Feijão de porco	Fabaceae	10-16 ¹	11

Fonte.¹ Wutke et al. (2014); ² Fischlerab et al. (1999); ³ Teodoro et al., 2011.

Por ocasião do pleno florescimento, as plantas de cobertura, exceto para o feijão de porco (coletado no início do enchimento de grãos) foram dessecadas com a utilização do herbicida glifosato (1.920 g ha⁻¹ do i.a.). e, em seguida, manejadas com auxílio roçadeira manual na altura de 0,05 m em relação à superfície do solo, visando à uniformização da área. No entanto, antes da dessecação foi avaliado o rendimento de massa seca e os teores de macronutrientes na parte aérea das diferentes plantas de cobertura. Para determinação da massa seca foi utilizado um quadro (0,50 m x 0,50 m) visando demarcar a área da parcela na qual foi coletada a amostra (rente ao solo), sendo, esta, pesada para determinação massa fresca, e levada para estufa de circulação forçada de ar, a 65°C, até atingir peso constante, determinando-se a massa seca. Posteriormente as amostras foram moídas em moinho tipo Willey e submetidas à digestão sulfúrica e digestão nitroperclórica, utilizando a metodologia descrita em Embrapa (2009), visando a determinação dos teores foliares de macronutrientes.

Para determinação dos atributos químicos do solo foram coletadas após 45 dias de decomposição das plantas de cobertura, amostras de solo nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Para a formação da amostra composta foram coletadas no mínimo quatro subamostras nas entrelinhas da cultura. As amostras de solo foram secas ao ar, passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha, homogeneizadas e submetidas às avaliações dos valores de pH e dos teores de P disponível; K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis; Al, H+Al, SB, CTC e %V, utilizando a metodologia descrita em Embrapa (2009). Enquanto que os estoques de matéria orgânica foram determinados pela metodologia proposta por Cambardella e Elliot (1992), e o N-total do solo foi determinado pelo método de Kjeldahl, segundo Tedesco et al. (1995).

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro Wilk) e análise de variância, e os efeitos das plantas de cobertura sobre a absorção de nutrientes foram avaliados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, enquanto que os efeitos entre plantas de cobertura e profundidade de coleta foram avaliados pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade utilizando-se o programa estatístico Sisvar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cultivo de *Crotalaria spectabilis* proporcionou os melhores resultados para produção de massa seca ($13.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), porém, não diferiu estatisticamente da *Crotalaria ochroleuca* ($10.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) e *Crotalaria breviflora* ($8.3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Figura 2). Esse acréscimo de massa seca no solo pode propiciar melhorias significativas das características físicas e químicas do solo e manutenção e/ou elevação do teor de matéria orgânica do solo, manutenção da temperatura do solo, bem como favorecer o desenvolvimento e produtividade de espécies agrícolas em cultivos subsequentes (Andrade Neto et al., 2008; Boer et al., 2008). Já as menores produções de massa seca foram verificadas pelas espécies Feijão de porco ($4.7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), Lab-lab ($5.8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) e Mucuna preta ($5.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Figura 2), estando abaixo da quantidade mínima necessária de massa seca depositada anualmente para cobertura adequada do solo em sistema de plantio direto. É possível que a baixa precipitação pluviométrica inicial observada para a região durante o estabelecimento das plantas (30 primeiros dias – mês de novembro) tenha relação com a baixa produção de massa seca por estas plantas de cobertura (Figura 1). Esses resultados corroboram parcialmente aos obtidos por Pereira et al., (2017), no qual observaram alta produção de massa seca para *Crotalaria spectabilis* e feijão de porco, e baixa produção de massa seca para Mucuna preta, o que permite inferir que a capacidade de produção de massa seca está diretamente relacionada com as condições edafoclimáticas, fertilidade do solo e ano agrícola.

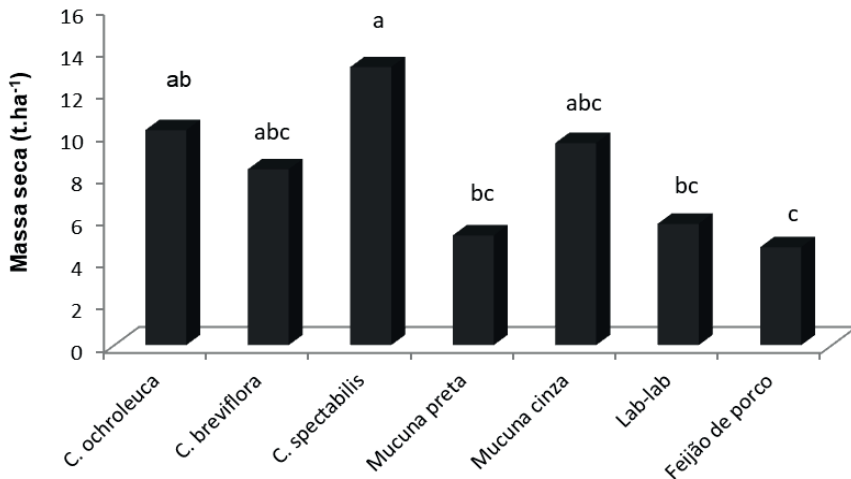


Figura 2. Produção de massa seca da parte aérea por diferentes plantas de cobertura. Letras iguais nas barras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Constata-se que mesmo com baixa produção de massa seca, as espécies Feijão de porco, *Mucuna* preta e *Lab-lab* foram capazes de absorver e acumular nas folhas em pleno florescimento os maiores teores de nitrogênio, na ordem de 25.28 g/kg⁻¹, 24.34 g/kg⁻¹ e 21.28 g/kg⁻¹ respectivamente, diferindo estaticamente das demais plantas de cobertura; enquanto que os menores teores de nitrogênio foram verificados pelas espécies de *Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria breviflora* e *Crotalaria ochroleuca*, em relação inversa a produção de massa seca (Figura 3). Os resultados obtidos são similares aos observados por Pereira et al., (2017), que estudando a ciclagem de nutrientes por diferentes plantas de cobertura verificaram teor de N na parte aérea de Feijão de porco de 29.50 g/kg⁻¹ e na *Mucuna* preta de 30.0 g/kg⁻¹. Barros et al., (2013), Teodoro et al., (2011) e Padovan et al., (2011) indicam o feijão de porco como excelente espécie de cobertura por apresentar elevada capacidade de extração de nutrientes do solo e realizar a fixação biológica de nitrogênio pela associação simbiótica com bactérias do gênero *Rhizobium*. Além disso, e com bases nos resultados obtidos, o Feijão de porco, a *Mucuna* preta e o *Lab-lab* contribuirão com elevada incorporação de nutrientes promovida posteriormente pela decomposição da biomassa.

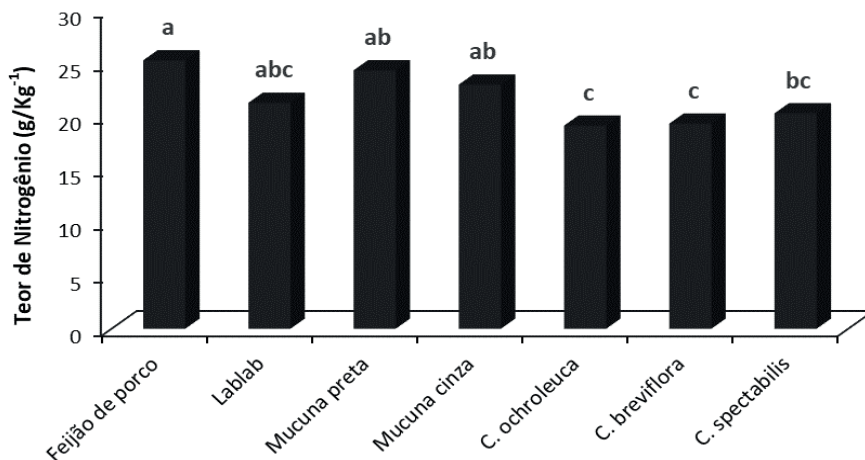


Figura 3. Teor de nitrogênio (g/Kg⁻¹) por diferentes plantas de cobertura. Letras iguais nas barras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Na camada de amostragem de 0-10 cm, os teores de MOS e N total do solo foram superiores e diferiram estatisticamente ($p < 0.01$) quanto nas demais profundidades de amostragem. Esses dados permitem a inferência de que nesta primeira época de avaliação do sistema de semeadura direta em sucessão de cultura, houve efeito significativo até a profundidade de 10 cm, tendo verificado a redução nos teores de MOS e N-total do solo em

camadas subsuperficiais (Figura 4A e 4B). O incremento dos teores de MOS na camada mais superficial do solo, em sistemas de revolvimento reduzido do solo e em sistemas de adoção à sucessão de cultura, está associado entre outros fatores, ao aumento do aporte de material vegetal ao solo decorrente do manejo das diferentes plantas de cobertura (Figura 2), bem como a melhoria da qualidade física do solo e ao aumento da humificação da matéria orgânica do solo, com destaque a camada do solo (0-10 cm) (Figura 4A). Assim, é importante ressaltar que, à medida que a estrutura do solo é fortalecida pela adoção desses sistemas de manejo com baixo revolvimento, os teores de MOS e N-total devem ser incrementados, inclusive permitindo a estabilização da matéria orgânica em longo prazo. Conseqüentemente, nestes sistemas quanto maior a adição e o acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo também são de se esperar maiores aportes de carbono orgânico na camada superficial.

Os teores de N-total no solo decrescem com a profundidade de amostragem, o que era esperado devido relação estreita entre os teores de N no solo e a maior atividade orgânica à superfície do solo, ou seja, verificada na camada de 0-10 cm (Figura 4B). Em sistemas naturais, as principais vias de entrada do N nos solos são a decomposição e mineralização da matéria orgânica (que varia de acordo com o tipo de tratamento), a água da chuva e a água de lavagem da biomassa viva e morta acumulada sobre o solo e da vegetação (Smethurst, 2000). Todavia, a combinação de produtividade de matéria seca com maiores teores de N, resultou em maior conteúdo de N no solo (Figura 4B), além da decomposição mais acelerada devido à matéria orgânica em virtude da baixa relação C/N verificada entre leguminosas, pois diversos estudos mostram que tais espécies acumulam mais nutrientes e liberam mais rapidamente durante sua decomposição.

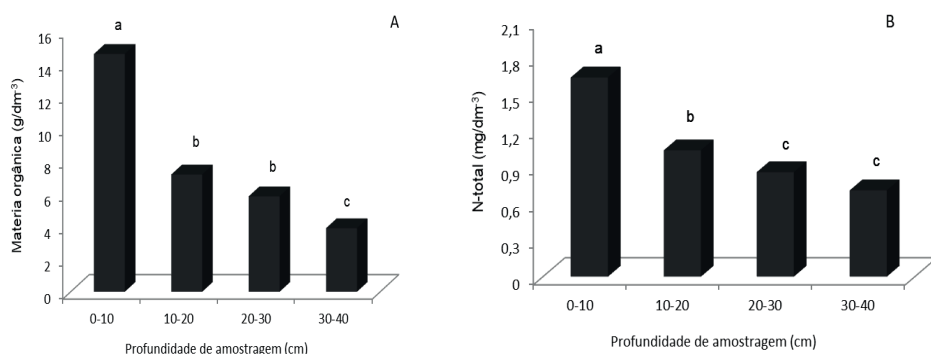


Figura 4. Teores médios de matéria orgânica (A) e N-total (B) do solo em função das diferentes profundidades de amostragem. Letras iguais nas barras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

O resultado da análise variância mostrou efeito isolado da profundidade de amostragem sobre os teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio no solo, sendo nítido que houve incrementos significativos ($p < 0.01$) na camada de 0-10 cm em relação às demais camadas de amostragem, no entanto, não foi observado diferença significativa entre as camadas subsuperficiais de amostragem do solo (Figura 5A, 5B, 5C e 5D). Os valores médios de P disponível no solo na profundidade de amostragem de 0-10 cm foram de 7,79 mg/dm⁻³, contra 4,14 mg/dm⁻³, 3,80 mg/dm⁻³ e 4,49 mg/dm⁻³, nas camadas de 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm de profundidade, respectivamente (Figura 5A); enquanto que os valores médios de K disponível no solo na camada de 0-10 cm foram de 157,32 mg/dm⁻³, diferindo estatisticamente das camadas subsuperficiais de 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm de profundidade, na qual apresentaram valores médios de 63,40 mg/dm⁻³, 51,99 mg/dm⁻³ e 45,81 mg/dm⁻³, respectivamente (Figura 5B). Salienta-se que incremento nos teores de P e K na camada de 0-10 cm de profundidade em condições de manejo com diferentes plantas de cobertura foi na ordem de 94,75% e 92,08% respectivamente em relação ao controle baseado na análise inicial da fertilidade do solo antes da instalação do ensaio (Tabela 1). O acúmulo de nutrientes, tais como P e K na camada superficial do solo são resultantes de sua liberação em maior quantidade pela decomposição dos resíduos vegetais e diminuição da sua fixação, em decorrência do menor contato desse elemento com os constituintes do solo (Sidiras; Pavan, 1985). Entretanto, tais valores observados são considerados baixos e com tendência de diminuição, à medida que se aprofundam, no perfil, resultados que refletem a limitada mobilidade desse elemento no solo. Isto se evidencia claramente no experimento, ao observar a relação estreita e direta dos níveis desses nutrientes em profundidades com os níveis de MOS.

Quanto aos teores de cálcio e magnésio no solo (Figura 5C e 5D), os valores de Ca²⁺ (31,77 (mmol/dm⁻³) e Mg²⁺ (18,66 mmol/dm⁻³) trocável na profundidade de 0-10 cm foram superiores aos encontrados nas profundidades de 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm, respectivamente. Embora haja diferença significativa é importante salientar que os referidos valores de Ca²⁺ e Mg²⁺ estão em níveis considerados altos para as culturas, segundo Raij et al., (1997). Silva et al., (2017) quando estudaram o efeito de plantas de cobertura sob a qualidade química de uma Latossolo distrófico sob plantio direto observaram aumentos nos teores de P, K, Ca e Mg nas camadas superficiais do solo, com decréscimos em camadas subsuperficiais.

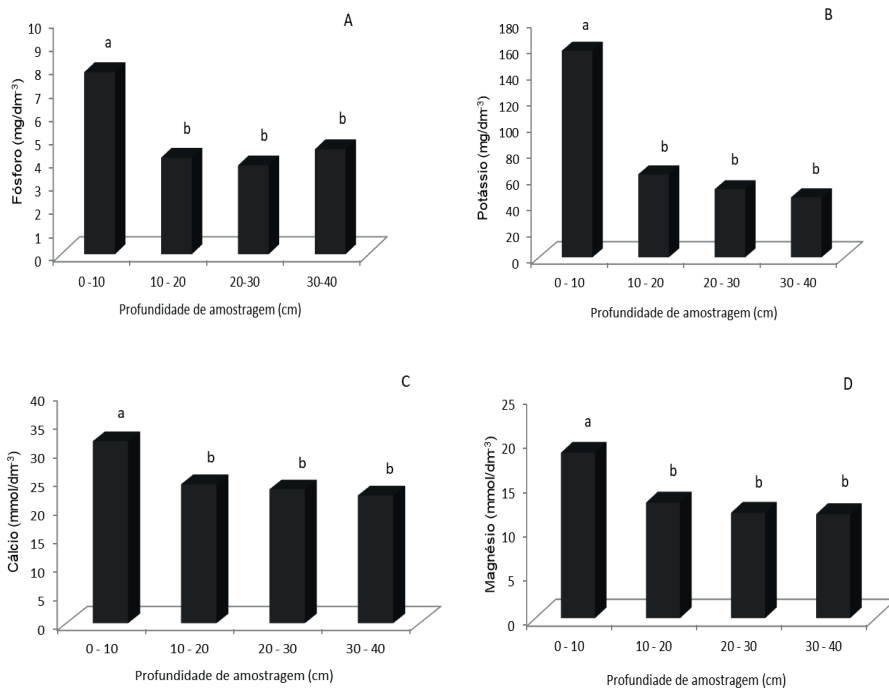


Figura 5. Teores médios de fósforo (A), potássio (B), cálcio (C) e magnésio (D) do solo em função das diferentes profundidades de amostragem. letras iguais nas barras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

A espécie Lab-lab e a *Mucuna* cinza foram estatisticamente superiores ($p \leq 0.01$) as demais plantas de cobertura quanto ao aporte de matéria orgânica, N-total e fósforo do solo (Tabela 4). Os resultados de MO correlacionam inversamente com a produção de massa seca da parte aérea por essas plantas de cobertura (Figura 2), e positivamente quanto ao acúmulo de nitrogênio nas folhas em pleno florescimento (Figura 3) favorecendo o processo de ciclagem de nutrientes via decomposição, além do aumento nos teores N e P corroborar diretamente com os níveis de MOS em áreas sob cultivo de *Mucuna* cinza e Lab-lab. Estudos demonstram que o aumento da MOS contribui para elevação do P no solo (Canellas et al., 2003; Theodoro et al., 2003; Almeida et al., 2005; Cardoso et al., 2013) devido ao retorno das formas de P acumuladas na biomassa vegetal e maior complexação dos íons de Al e Fe na solução do solo (Azevedo et al., 2007).

Quanto aos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} do solo, as espécies *Mucuna* cinza, *Crotalaria breviflora* e *Crotalaria spectabilis* foram significativamente eficientes no aumento dos teores desses nutrientes, não diferindo estatisticamente entre si (Tabela 4). O aumento significativo do pH nas áreas sob cultivo com *Crotalaria breviflora* e *Crotalaria spectabilis* em relação às demais plantas de cobertura, decorre entre outros aspectos, da eficiência das espécies na absorção e acúmulo de Ca^{2+} e Mg^{2+} em seus tecidos, permitindo a ciclagem

desses nutrientes e, por consequência redução no teores de Al, acidez potencial, saturação por Al^{3+} , e aumento dos teores de cátions básicos no solo (Ca^{2+} e Mg^{2+}), SB, CTC e %V (Tabela 5); outrossim, o aporte de material orgânico nas áreas sob cobertura contribui para elevação do pH e redução dos teores de Al^{3+} . Em um Latossolo amarelo sob plantio direto no cerrado maranhense, Bressan et al., (2013), também verificaram efeitos positivos da cobertura do solo sob os atributos químicos do solo, com destaque ao pH, níveis de Al^{3+} , saturação por Al^{3+} , e teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo.

Tabela 4. Valores médios de matéria orgânica (MO), N-total (N), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em resposta ao manejo com diferentes plantas de cobertura.

Planta de cobertura	M.O (g/dm ⁻³)	N (g/dm ⁻³)	P (mg/dm ⁻³)	Ca (mmol/dm ⁻³)	Mg (mmol/dm ⁻³)
Feijão de porco	6,49 cd	0,99 cd	5,02 b	20,33 de	10,74 c
Lab-lab	11,49 a	1,47 a	8,41 a	25,91 bcd	8,70 c
Mucuna cinza	10,40 ab	1,29 ab	4,64 b	32,51 a	15,88 ab
Mucuna preta	4,74 d	0,74 e	4,17 b	15,75 e	10,68 c
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	6,77 cd	0,91 cde	3,54 b	25,41 cd	15,78 b
<i>Crotalaria breviflora</i>	6,77 cd	0,89 de	4,65 b	31,44 ab	16,01 ab
<i>Crotalaria spectabilis</i>	8,50 bc	1,14 bc	4,94 b	26,65 abc	19,02 a
CV (%)	26,33	26,33	18,15	18,28	18,10

*Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade. CV (Coeficiente de variação).

Tabela 5. Valores médios de pH, acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%) em resposta ao manejo com diferentes plantas de cobertura.

Planta de cobertura	pH	H+Al	SB (mmol/dm ⁻³)	CTC (mmol/dm ⁻³)	V%
Feijão de porco	4,41 c	30,11 a	32,79 c	62,91 abc	52,82 d
Lab-lab	4,67 b	21,92 b	36,80 bc	58,72 c	60,78 c
Mucuna cinza	4,83 b	21,85 b	50,29 a	72,15 a	69,34 ab
Mucuna preta	4,29 c	32,27 a	28,56 c	60,84 bc	47,37 d
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	4,81 b	20,18 bc	43,14 ab	63,33 abc	67,70 bc
<i>Crotalaria breviflora</i>	5,30 a	15,34 c	49,71 a	65,06 abc	76,21 a
<i>Crotalaria spectabilis</i>	5,32 a	21,43 bc	47,87 a	69,31 ab	67,87 bc
CV (%)	3,53	20,84	16,05	11,63	8,87

*Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade. CV (Coeficiente de variação).

No desdobramento da interação dupla entre plantas de cobertura e diferentes profundidades de amostragem, observou-se que as espécies Lab-lab e Mucuna cinza apresentaram-se diferentes estatisticamente ($p < 0.01$) das demais plantas de coberturas quanto ao teor de MO e N-total, nas diferentes profundidades de amostragem (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm), sendo possível verificar redução nos teores de MO e N-total em profundidade (Tabela 6). Na camada de 0-10 cm, o cultivo de Lab-lab e Mucuna-cinza resultou nos maiores acúmulos de matéria orgânica e N-total, enquanto que os menores valores foram obtidos pela espécie Mucuna preta (Tabela 6). A diferença média entre as plantas de cobertura Lab-lab e Mucuna cinza em relação ao aporte de matéria orgânica nas diferentes profundidades, quando comparadas a Mucuna preta (menores valores obtidos) foi na ordem de 121% na camada de 0-10 cm, 205% na camada de 10-20 cm, 124% na camada de 20-30 cm e de 72% na camada de 30-40 cm. Quando verificado os teores de N-total, os valores representam incrementos médios de 12% e 112% na camada de 0-10 cm, 206% e 61% na camada de 10-20 cm, 121% e 71% na camada de 20-30 cm e de 100% e 27% na camada de 30-40 cm, respectivamente. Considerando que o acúmulo de carbono total na camada de 0-10 cm, ou seja, na camada superficial, resulta dos processos de transformação da parte aérea das plantas e das raízes concentradas na camada e que, o que está abaixo de 10 cm é derivado de raízes, exsudatos radiculares e carbono orgânico solúvel lixiviado das camadas anteriores, o sistema radicular pivotante e mais profundo das leguminosas de cobertura avaliadas, pode ter levado ao acúmulo de CO e N-total nas camadas abaixo de 10 cm, no entanto, em percentuais menores que na camada superficial de 0-10 cm. Corroborando aos resultados encontrados, Bertiol (2014) verificou que o aumento do carbono orgânico e do N- total do solo foi favorecido pelo cultivo de leguminosas, com destaque para mucuna-cinza.

O cultivo de espécies de leguminosas em cobertura levaram a variação nos teores de fósforo, magnésio e cálcio na profundidade de 0-10 cm, com decréscimos em camadas inferiores de amostragem (Tabela 6). A planta de cobertura Lab-lab causou variação significativa em relação às demais espécies de cobertura quanto no teor de P disponível no solo. Conforme observado na tabela 7 para os valores de pH, a espécie Lab-lab não ultrapassaram 5.37 e houve decréscimo em profundidade, ou seja, maior grau de acidez, o que permitiu não haver diferença estatística nos teores de P em camadas superiores a 10 cm (Tabela 6). O pH ideal para melhor disponibilidade de diversos nutrientes, a exemplo do fósforo, cálcio e magnésio varia entre 5.5 e 6.5 para a maioria das culturas, fato esse que justifica a redução dos teores nutricionais desses nutrientes em profundidade superiores a 10 cm.

O uso de plantas de cobertura e outras práticas de manejo que visam manter ou aumentar os teores de MO, podem beneficiar o aproveitamento de P pelas plantas. A presença da palha e o maior teor de MO no sistema de reduzido preparo do solo e em sistema de sucessão de culturas propiciam ambiente menos oxidativo, minimizando

as reações de adsorção e promovendo impacto direto na fertilidade das camadas superficiais, em até 10 cm de profundidade (Bertiol, 2014). Assim, admite-se que plantas são fundamentais na solubilização do P através da exsudação de compostos na rizosfera, inclusive de ácidos orgânicos que agem na dissolução de compostos que podem resultar em aumento no P-solução (Chien; Menon, 1995).

Houve efeito significativo ($p < 0.01$) entre as plantas de cobertura Lab-lab e *Crotalaria spectabilis* para o teor de Ca^{2+} trocável no solo na profundidade de 0-10 cm, o que correlaciona diretamente aos valores de SB e CTC, não diferindo estatisticamente das espécies *Mucuna cinza*, *Crotalaria breviflora* e *Crotalaria ochroleuca* na mesma profundidade de coleta e em profundidades superiores de amostragem (10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm) (Tabela 7); enquanto a espécie *Crotalaria spectabilis* destacou positivamente quanto aos teores de Mg^{2+} trocável em camada de 0-10 cm, na ordem de $25.97 \text{ mmol/dm}^{-3}$ (Tabela 7). Na camada de 0-10 cm os teores de Ca^{2+} foram encontrados relativamente altos, e com o aumento da profundidade de amostragem houve diminuição (mesmo não havendo diferença estatística). Este efeito pode estar associado à aplicação superficial de calcário. Em todos os tratamentos os teores estavam altos de Ca^{2+} e Mg^{2+} (RAIJ et al., 1997), em até no mínimo, 10 cm de profundidade, sendo que o mesmo comportamento em camadas superiores de amostragem não foi observado, ou seja, não houve diferença estatística entre as demais camadas de amostragem.

Tabela 6. Desdobramento da interação significativa entre plantas de cobertura e profundidade de amostragem para teores de matéria orgânica, N - total, fósforo, cálcio e magnésio.

Planta de cobertura	Matéria Orgânica (g/dm ⁻³)			
	0-10	10-20	20-30	30-40
Feijão de porco	9,70 cA	6,53 bAB	6,53 bAB	3,20 bB
Lab-lab	21,57 aA	12,17 aB	7,13 aC	5,08 aC
Mucuna cinza	16,79 abA	11,15 aB	7,99 aC	5,68 aC
Mucuna preta	8,67 cA	3,80 cB	3,37 cB	3,11 bB
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	13,80 bcA	5,25 cB	5,08 bB	2,94 bB
<i>Crotalaria breviflora</i>	13,88 bcA	4,65 cB	4,99 bB	3,54 bB
<i>Crotalaria spectabilis</i>	17,64 abA	6,79 bB	5,85 bB	3,71 bB
Planta de cobertura	N-total (g/dm ⁻³)			
	0-10	10-20	20-30	30-40
Feijão de porco	1,07 cA	1,11 abA	1,04 aA	0,76 aB
Lab-lab	2,54 aA	1,60 aB	1,08 aC	0,68 aD
Mucuna cinza	1,89 aA	1,58 aB	1,12 aC	0,90 aD
Mucuna preta	1,04 cA	0,66 bB	0,64 bB	0,62 aB
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	1,67 bA	0,72 bB	0,66 bB	0,60 aB
<i>Crotalaria breviflora</i>	1,52 bA	0,69 bB	0,65 bB	0,70 aB
<i>Crotalaria spectabilis</i>	1,69 bA	1,13 abB	0,85 bB	0,71 aB
Planta de cobertura	Fósforo (mg/dm ⁻³)			
	0-10	10-20	20-30	30-40
Feijão de porco	7,28 bA	5,47aB	4,47 aBC	2,85 bC
Lab-lab	17,20 aA	6,59 aB	5,37 aB	5,59 aB
Mucuna cinza	7,13 bA	3,76bB	3,23bB	3,43 bB
Mucuna preta	6,69 bA	2,88cB	3,14 bB	3,97 bB
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	3,93 cA	2,86cA	3,43 bA	2,89 bA
<i>Crotalaria breviflora</i>	4,07 cA	4,44 bA	3,91 bA	2,92 bA
<i>Crotalaria spectabilis</i>	8,15 bA	3,89 bB	2,94 bB	2,79 bB
Planta de cobertura	Magnésio (mmol/dm ⁻³)			
	0-10	10-20	20-30	30-40
Feijão de porco	16,05 bA	11,17 bAB	8,52 cdB	7,22 bB
Lab-lab	19,63 bA	6,90 cB	4,36 dB	4,11 cB
Mucuna cinza	18,68 bA	15,22 abA	13,90 bcA	15,74 aA
Mucuna preta	13,20 bA	9,54 bA	10,12 cdA	9,86 bA
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	18,66 bA	15,26 abA	15,17 abA	14,01 aA
<i>Crotalaria breviflora</i>	18,66 bA	15,29 abA	14,47abA	15,62 aA
<i>Crotalaria spectabilis</i>	25,97 aA	17,86 aB	16,70 aB	15,56 aB
Planta de cobertura	Cálcio (mmol/dm ⁻³)			
	0-10	10-20	20-30	30-40
Feijão de porco	24,30 bA	19,71 cA	18,44 cA	18,86 bA

Lab-lab	39,64 aA	21,09 bcB	21,34 bB	21,56 abB
Mucuna cinza	33,45 abA	35,10 aA	31,96 aA	29,53 aA
Mucuna preta	19,58 cA	14,24 cA	14,20 cA	14,98 bA
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	30,69 abA	24,98 bA	23,63 bA	22,36 abA
<i>Crotalaria breviflora</i>	35,59 abA	30,52 abA	31,52 aA	28,12 aA
<i>Crotalaria spectabilis</i>	39,16 aA	24,27 bcB	22,50 bB	20,69 abB

As letras minúsculas separam as médias dentro de cada coluna e as maiúsculas separam as médias dentro da linha. Letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 1% de probabilidade.

Tabela 7. Desdobramento da interação significativa entre plantas de cobertura e profundidade de amostragem para pH, saturação por bases (SB) e capacidade de troca de cátions.

Planta de cobertura	pH			
	0-10	10-20	20-30	30-40
Feijão de porco	4,41 bA	4,23 bA	4,33 bA	4,68 bA
Lab-lab	5,37 aA	4,42 bB	4,54 bB	4,63 bB
Mucuna cinza	4,83 bA	4,84 bA	4,85 bA	4,80 bA
Mucuna preta	4,37 bA	4,24 bA	4,28 bA	4,27 bA
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	5,04 aA	4,71 bA	4,70 bA	4,80 bA
<i>Crotalaria breviflora</i>	5,17 aA	5,23 aA	5,33 aA	5,27 aA
<i>Crotalaria spectabilis</i>	4,92 bA	4,60 bA	4,64 bA	4,73 bA
Planta de cobertura	SB			
	0-10	10-20	20-30	30-40
Feijão de porco	43,49 bcA	32,48 cdB	28,19 bB	27,00 bB
Lab-lab	63,33 aA	29,75 dB	27,11 bB	27,00 bB
Mucuna cinza	56,06 abA	51,85 aA	46,93 aA	46,32 aA
Mucuna preta	36,65 cA	25,66 dA	25,94 bA	26,00 bA
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	52,98 abA	41,93 bcA	40,03 abA	37,63 abB
<i>Crotalaria breviflora</i>	59,12 abA	47,34 bA	47,31 aA	45,07 aA
<i>Crotalaria spectabilis</i>	69,77 aA	43,58 bB	40,67 abB	37,46 abB
Planta de cobertura	CTC			
	0-10	10-20	20-30	30-40
Feijão de porco	70,85 bcA	69,77 aA	58,97bB	52,05 abB
Lab-lab	86,37 abA	56,51 aB	47,28 bB	44,72 bB
Mucuna cinza	79,41 bcA	74,76 aA	66,66 aA	67,76 aA
Mucuna preta	65,36 cA	62,64 aA	57,26 bA	58,08 abA
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	72,90 bcA	63,32 aA	60,34 abA	56,74 abA
<i>Crotalaria breviflora</i>	75,62 bcA	62,28 aA	62,57 abA	59,76 abA
<i>Crotalaria spectabilis</i>	92,69 aA	66,06 aB	61,41 abB	57,08 abB

As letras minúsculas separam as médias dentro de cada coluna e as maiúsculas separam as médias dentro da linha. Letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 1% de probabilidade

CONCLUSÕES

O cultivo de *Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria ochroleuca* e *Crotalaria breviflora* proporcionaram maior produtividade de massa seca.

A espécie Lab-lab destacou-se no acúmulo de nitrogênio nas folhas em pleno florescimento, bem como no aporte de matéria orgânica, N-total, P e Ca²⁺ do solo, promovendo impacto direto na fertilidade da camada superficial do solo (0-10 cm), havendo decréscimo em camadas subsuperficiais.

O cultivo de *Crotalaria breviflora* e *Crotalaria spectabilis* causou variação nos teores de bases trocáveis do solo, com correlação direta aos valores de pH, SB e CTC.

REFERÊNCIAS

ANDRADE NETO, R. C. et al. Adubação verde: uma alternativa sustentável para o Brasil. Revista Verde, Mossoró, RN, v. 3, n. 1, p.16-20, 2008.

Almeida, J. A.; Bertol, I.; Leite, D.; Amaral, A. J.; Zoldan Jr., W. A. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, p.437-445, 2005.

Azevedo, D. M. P.; Leite, L. F. C.; Teixeira Neto, M. L.; Dantas, J. S. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense. Revista Ciência Agronômica, v.38, p.32-40, 2007.

BARROS, D.L.; GOMIDE, P.H.O.; CARVALHO, G.J. Plantas de cobertura e seus efeitos na cultura em sucessão. Bioscience Journal, v.29, n.2, p. 308-318, 2013.

BASCHE, A. D.; MIGUEZ, F. E.; KASPAR, T. C.; CASTELLANO, M. J. Do cover crops increase or decrease nitrous oxide emissions in agroecosystems? A meta-analysis. Journal of Soil and Water Conservation, v. 69, n. 6, p. 471-482, 2014.

BERTIOL, A.C.T. Efeito de plantas de cobertura em atributos químicos do solo. Jaboticabal: UNESP, 2014, 50 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014.

BOER, C. A. et al. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região centro-oeste do Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 843-851, 2008.

BRESSAN, S.B.; NÓBREGA, J.C.A.; NÓBREGA, R.S.A.; BARBOSA, R.N.; SOUSA, L. Plantas de cobertura e qualidade química de Latossolo Amarelo sob plantio direto no cerrado maranhense. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.17, n.4, p.371–378, 2013.

Canellas, L. P.; Velloso, A. C. X.; Marciano, C. R.; Ramalho, J. F. G. P.; Rumjanek, V. M.; Resende, C. E.; Santos, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.935-944, 2003.

CARDOSO, D.P.; SILVA, M.L.N.; CARVALHO, G.J.; FREITAS, D.A.F.; AVANZI, J.C. Espécies de plantas de cobertura no condicionamento químico e físico do solo. Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias. v.8, n.3, p.375-382, 2013.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. Soil Science Society of America Journal, n.56, 777-783, 1992.

CARVALHO, A.M. de; COSER, T.R.; REIN, T.A.; DANTAS, R. A.; SILVA, R. R.; SOUZA, K.W. Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 50(7), 551-561, 2015.

CHIEN, S.H.; MENON, R.G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. Fertilizer Research, v.41, p.227-234, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA – EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. - 2. Ed, Brasília., Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

FISCHLERAB, M.; WORTMANN, C. S.; FEIL, B. Crotalaria (*C.ochroleuca* G Don.) as a green manure in maize-bean cropping systems in Uganda. Field Crops Research, Amsterdam, v. 61, n. 2, p. 97-107, 1999.

MUKHERJEE, A.; LAL, R. Short-term effects of cover cropping on the quality of a Typic Argiaquolls in Central Ohio. Catena, v. 131, n. 2, p. 125-129, 2015.

PADOVAN, M.P.; MOTTA, I.S.; CARNEIRO, L.F.; MOITINHO, M.R. & FERNANDES, S.S.L. Acúmulo de fitomassa e nutrientes e estágio mais adequado de manejo do feijão-de-porco para fins de adubação verde. Revista Brasileira de Agroecologia, vol. 6, n. 3, p. 182-190, 2011.

PEREIRA, A.P.; SCHOFFEL, A.; KOEFENDER, J.; CAMERA, J.N.; GOLLE, D.P.; HORN, R.C. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. Revista de Ciências Agrárias, n.40, v. 4, p. 799-807, 2017.

Raij, B. van; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. 287 p.

SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L.; SILVEIRA, P.M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.46, p.1339-1348, 2011.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P.M.; MARCHÃO, R.L.; PETTER, F.A.; BECQUER, T. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do cerrado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, n. 11, p. 1171-1178, 2012.

Sidiras, N.; Pavan, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 9, n.2, p. 249-254, 1985.

SILVA, M.P.; ARF, O.; SÁ, M.E.; ABRANTES, F.L.; BERTI, C.L.F.; SOUZA, L.C.D. Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.12, n. 1, p. 60-67, 2017.

SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in Southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, v.76, p.39-58, 2004.

SMETHURST, P.J. Soil solution and other soil analyses as indicators of nutrient supply: a review. **Forest Ecology and Management**, v.138, n.1/3, p.397-411, 2000. TARIFA, J. R. **Mato Grosso: clima – análise e representação cartográfica**. Cuiabá: Entrelinhas, 2011. 102 p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. WOKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.^a ed. Porto Alegre, UFRGS/Departamento de Solos. 1995. 174 p.

TEODORO, R.B.; OLIVEIRA, F.L.; SILVA, D.M.N.; FÁVERO, C.; QUARESMA, M.A.L. Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no Cerrado no Alto Vale do Jequitinhonha. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 35, n, 2, p. 635-643, 2011.

Theodoro, V. C. A.; Alvarenga, M. I. N.; Guimarães, R. J.; Souza, C. A. S. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.27, p.1039-1047, 2003.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.). *Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática*. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 59-168.

PLANTAS DE COBERTURA INFLUÊNCIAM NA DINÂMICA DO CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO?

Data de aceite: 01/07/2024

Érica de Oliveira Araújo

Profa. Doutora em Agronomia,
Departamento de Agropecuária, Instituto
Federal de Rondônia, Campus de
Colorado do Oeste, Colorado do Oeste-
Brasil

Vitório Macieski Neto

Graduando (a) em Engenharia
Agrônômica, Instituto Federal de
Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

Daniele Jesus Venturim

Engenheira Agrônoma, Instituto Federal
de Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

José Vanor Felini Catânio

Prof. Mestre em Produção Animal,
Departamento de Agronomia, Instituto
Federal do Mato Grosso, Campus
Confresa, Confresa, Brasil

Diogo de Souza Freitas

Graduando (a) em Engenharia
Agrônômica, Instituto Federal de
Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

Jiovane Anderson da Silva Ribeiro

Engenheiro Agrônomo, Instituto Federal
de Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

INTRODUÇÃO

No âmbito das mudanças climáticas globais decorrentes do aumento nas concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, em especial do gás carbônico (CO_2), o solo e suas diferentes formas de uso e manejo estão constantemente em foco e têm despertado a atenção da comunidade científica, sobretudo porque o solo é considerado fonte ou sumidouro de CO_2 atmosférico, dependendo do manejo adotado.

A conversão de ecossistemas naturais em sistemas agrícolas envolve uma série de atividades que afetam as taxas de adição e decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) (Zinn et al., 2005). Em sistemas agrícolas, o uso e o manejo do solo atuam modificando tanto a entrada como a saída de C do solo para

a atmosfera. Assim, as maiores taxas de decomposição da MOS observadas em áreas sob cultivo ocorrem devido às perturbações físicas do solo (Loss et al., 2015; Rosset et al., 2014a; 2014b; Sales et al., 2018), que implicam rompimento dos macro agregados (reduz a proteção física da MOS), expondo a MO protegida aos processos microbianos, contribuindo dessa forma, para aumentar as taxas de emissão de CO₂ para a atmosfera (Zinn et al., 2005).

Além disso, a MOS é um importante reservatório de formas potencialmente disponíveis de N para os vegetais, principalmente o N nítrico (N-NO₃⁻) e o amoniacal (N-NH₄⁺) (Rangel et al., 2007), visto que a maior parte do N do solo se encontra na forma orgânica (mais de 95%). Assim, a mineralização da MOS, que engloba os processos de aminação e amonificação, é responsável, por ano, pela conversão de 2 a 5% do N-orgânico em N-mineral. Esse processo é regulado pelo uso e manejo do solo (Moreira e Siqueira, 2002; D'Andréa et al., 2004), notadamente pelas espécies que são incluídas nos esquemas de cobertura do solo, de rotação de culturas, de modo que o maior uso de leguminosas e a implantação de espécies com maior produção de biomassa causam maior armazenamento de N total no solo (Mielniczuk et al., 2003), propiciando condições mais favoráveis nas camadas superiores e, ao longo do tempo de adoção, nas suas camadas mais profundas.

Dentre as tecnologias disponíveis visando ao correto manejo dos solos tropicais em bioma amazônico, destaca-se o cultivo de plantas de cobertura antecedendo as culturas anuais, no qual pode resultar em aumento de produtividade e manutenção do equilíbrio do sistema, uma vez que o conteúdo de MOS, a disponibilidade de nutrientes, a estruturação e agregação dos solos podem ter suas magnitudes alteradas. E, embora a dinâmica e a qualidade da MOS sejam amplamente estudadas nos solos brasileiros, ainda são escassos os resultados gerados em bioma amazônico, por conseguinte, a avaliação de alterações na dinâmica de C e N, decorrentes de intervenções antrópicas em ecossistemas agrícolas, e a compreensão das relações entre a cobertura do solo, assume importante papel no monitoramento da qualidade do solo e no aprofundamento do desenvolvimento tecnológico sustentável para a região amazônica. Assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o potencial de produção de matéria seca por plantas de cobertura e seus efeitos sobre a dinâmica da matéria orgânica, carbono orgânico e nitrogênio no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo, na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, Campus Colorado do Oeste, no município de Colorado do Oeste, RO, cujas coordenadas geográficas são 13°06'S e 60°29'W, com altitude média de 407 metros. O clima segundo a classificação de Koppen é do tipo Awa, tropical quente e úmido com duas estações bem definidas. Dados médios de temperatura e precipitação pluviométrica durante a condução do experimento

foram obtidos do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (Figura 1). A caracterização química do solo foi realizada na camada de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30- 40 cm, em amostras coletadas antes da instalação do experimento (Tabela 1), no ano agrícola de 2019. A análise granulométrica na profundidade de 0-10 cm apresentou 343 g dm⁻³ de argila, 479 g dm⁻³ de areia e 178g dm⁻³ de silte.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, arranjado em esquema fatorial, com quatro repetições, sendo constituído por seis espécies de plantas de cobertura cultivadas em pré-safra (*Crotalaria ochroleuca*, *Crotalaria spectabilis*, *Mucuna cinza*, *Feijão guandu*, *Feijão de porco* e *Lab-Lab*), e quatro camadas de amostragem (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30- 40 cm).

Por tratar-se de pesquisa continuada, a correção do solo foi realizada, trinta dias antes da primeira semeadura de plantas de cobertura (ano 2019), com base nos resultados da análise do solo na camada de 0-10 cm, utilizando calcário dolomítico (PRNT 97%), com o objetivo de elevar a saturação por bases a 60%. O preparo primário do solo incluiu a aração e gradagem (grade de discos) até 15 cm de profundidade, enquanto que o preparo secundário incluiu o destorroamento e nivelamento da área experimental. A adubação de base foi realizada à lanço, com posterior incorporação, aplicando-se 400 kg ha⁻¹ da formulação 0-20-20 para o suprimento de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 80 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente. A partir desta correção e construção da fertilidade do solo, as premissas experimentais foram para cultivo mínimo, sem revolvimento do solo, com cobertura permanente e semeadura na palha.

Tabela 1. Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento nas diferentes camadas de amostragem.

Camada	N	MO	CO	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V	m
	mg/dm ⁻³	g/dm ⁻³		CaCl ₂	mg/dm ⁻³				-----mmolc/dm ⁻³ -----				-----%-----	
0-10	1253,5	11,4	6,62	4,9	4	81,9	29	8	30	1	40	70	57	2
10-20	1090,9	5,3	3,08	5,0	1	58,5	36	4	25	1	41	66	62	2
20-30	848,3	4,2	2,44	5,3	1	42,9	37	3	20	0	40	60	67	1
30-40	842,3	3,1	1,80	5,5	1	27,3	35	2	17	0	37	54	69	1

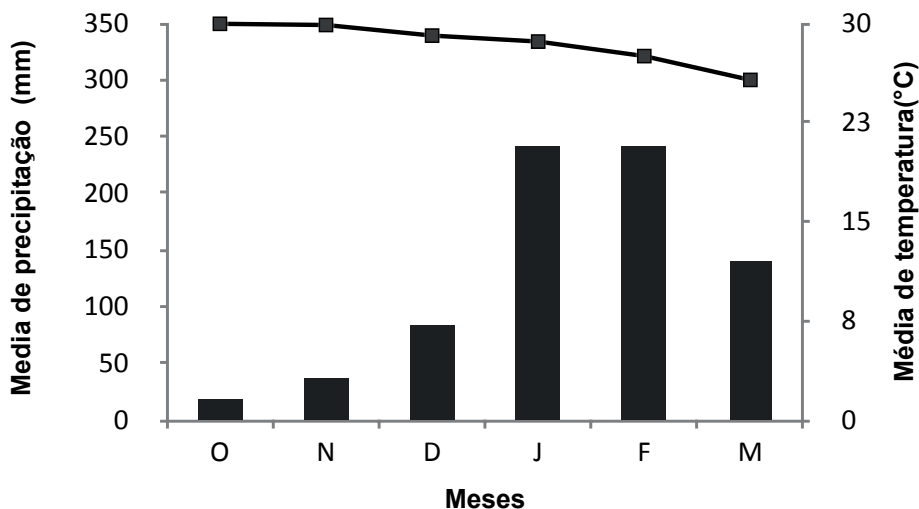


Figura 1. Precipitação (mm) e temperatura (°C) médias mensais, registradas na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia, no período de outubro de 2020 a março de 2021.

Os sulcos de plantio foram abertos mecanicamente na profundidade de 5 cm, de acordo com o espaçamento determinado, e a semeadura foi realizada manualmente. Os diferentes gastos de sementes adotados foram baseados em recomendações técnicas para as diferentes plantas de cobertura. Cada unidade experimental foi composta por 8 linhas de 5 metros de comprimento, espaçadas em 0.45 m entre linhas e 0.20 m entre plantas. Consideraram-se como parcela útil as seis linhas centrais, excluindo-se 0.5 m de cada extremidade da parcela.

Por ocasião do pleno florescimento, as plantas de cobertura, exceto para o feijão de porco (início do enchimento de vagem) foram dessecadas com a utilização do herbicida glifosato (1.920 g ha⁻¹ do i.a.) e, em seguida, manejadas com auxílio roçadeira manual na altura de 0.05 m em relação à superfície do solo, visando à uniformização da área. No entanto, antes da dessecação foi avaliado o rendimento de massa seca da parte aérea das diferentes plantas de cobertura. Para determinação da massa seca foi utilizado um quadro (0.50 m x 0.50 m) visando demarcar a área da parcela, na qual foi coletada a amostra (rente ao solo), sendo, esta, pesada para determinação massa fresca, e levada para estufa de circulação forçada de ar, a 65°C, até atingir peso constante, determinando-se a massa seca. Os teores de macronutrientes na massa seca da parte aérea foram determinados de acordo com Embrapa, 2009.

Para determinação dos atributos químicos do solo foram coletadas após 45 dias de decomposição das plantas de cobertura, amostras de solo nas profundidades 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm. Para a formação da amostra composta foram coletadas cinco sub amostras nas entrelinhas da cultura por unidade experimental, sendo posteriormente

aconditionadas em sacos plásticos e conduzidas ao laboratório. As amostras de solo foram secas ao ar, passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha, homogeneizadas e submetidas às avaliações de matéria orgânica e carbono orgânico pela metodologia proposta por Cambardella e Elliot (1992) e o N mineral do solo pelo método de Kjeldahl, segundo Tedesco et al. (1995).

Todas as avaliações da dinâmica de matéria orgânica, carbono orgânico e N no solo foram realizados no segundo ano de cultivo das plantas de cobertura, ou seja, na safra 2020/2021.

Após todas as análises, os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro Wilk) e análise de variância, para verificação dos efeitos entre plantas de cobertura e profundidade de amostragem. As comparações das médias foram feitas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico Sisvar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados não evidenciaram efeitos significativos da interação dupla entre plantas de cobertura e profundidade de amostragem para nenhuma das variáveis estudadas; enquanto que os resultados com efeito significativo ($p \leq 0.05$) para plantas de cobertura (Figura 2, 3, 4 e 5) ou profundidade de amostragem (Figura 6 e Tabela 2) são apresentados independentes.

O cultivo de *Crotalaria ochroleuca* proporcionou os melhores resultados para produção de massa seca (15.40 t.ha⁻¹), não diferindo estatisticamente da *Crotalaria spectabilis* (13.88 t.ha⁻¹) (Figura 2). Essa produção e posterior acréscimo de massa seca no solo podem causar alterações significativas nas características físicas e químicas do solo, na manutenção e/ou elevação dos teores de matéria orgânica do solo, e na manutenção da temperatura do solo, além de favorecer o desenvolvimento e a produtividade de espécies agrícolas em cultivos subsequentes (Andrade Neto et al., 2008; Boer et al., 2008). Todavia, a menor produção de massa seca foi constatada pela espécie Feijão de porco (3.0 t.ha⁻¹) (Figura 2), inclusive estando abaixo da quantidade mínima necessária de massa seca depositada anualmente para adequada cobertura do solo em sistema de plantio direto. É possível que a baixa precipitação pluviométrica inicial observada para a região durante o estabelecimento das plantas (30 primeiros dias – mês de novembro) tenha relação com a baixa produção de massa seca por esta planta de cobertura (Figura 1). Esses resultados corroboram integralmente aos encontrados por Araújo et al., (2021), no qual o cultivo de *Crotalaria spectabilis* e *Crotalaria ochroleuca* na safra 2019/2020 apresentaram maiores produtividades de massa seca, enquanto que o Feijão de porco apresentou produção inferior; e corroboram parcialmente aos resultados obtidos por Pereira et al., (2017), que observaram alta produção de massa seca para *Crotalaria spectabilis* e Feijão de porco, e baixa produção de massa seca para *Mucuna preta*, o que permite inferir que a capacidade de produção de massa seca está diretamente relacionada com as condições edafoclimáticas, fertilidade do solo e ano agrícola.

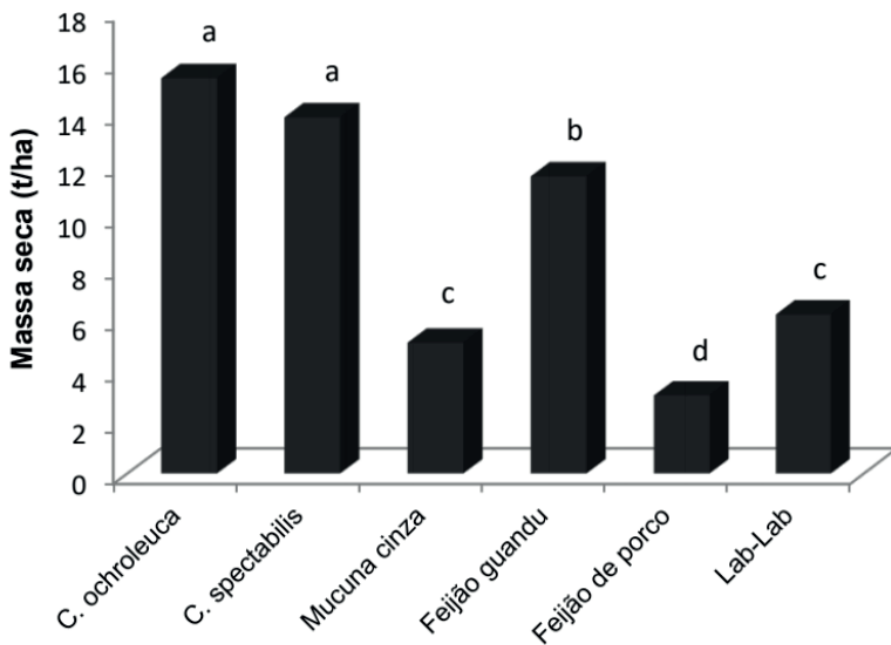
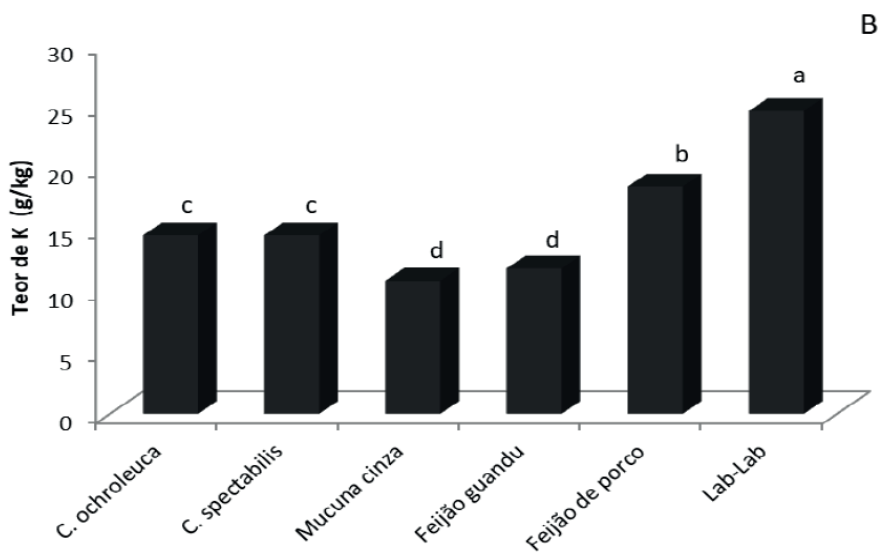
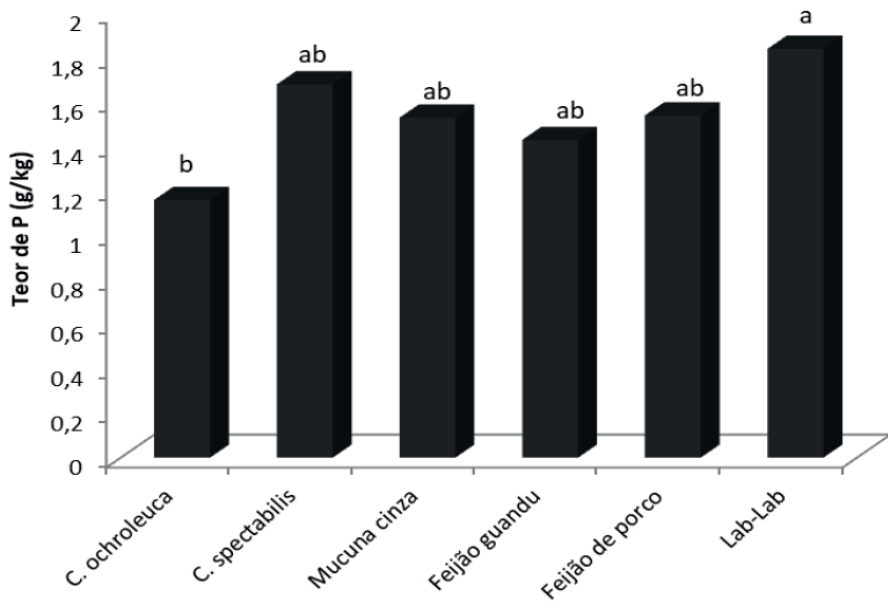


Figura 2. Produção de massa seca por diferentes plantas de cobertura. *Médias seguidas da mesma letra nas barras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apesar da alta capacidade de produção de massa seca pela espécie *Crotalaria ochroleuca*, verifica-se que a capacidade em absorver e acumular nas folhas em pleno florescimento P, K e Ca foi inferior e diferiu estatisticamente das demais plantas de cobertura; e, que o inverso é observado para a espécie Lab-Lab, cujos teores de P, K e Ca nas folhas foram na ordem de 1.84 g/kg⁻¹, 24.62 g/kg⁻¹ e 13.11 g/kg⁻¹, respectivamente (Figura 3). Todavia, pode-se indicar a espécie Lab-Lab como excelente espécie de cobertura por apresentar elevada capacidade de extração de nutrientes do solo mesmo com baixo aporte de massa seca, podendo contribuir com elevada incorporação de nutrientes promovida posteriormente à decomposição da biomassa. Resultados semelhantes foram obtidos por Araújo et al., (2021) estudando a ciclagem de nutrientes por diferentes plantas de cobertura em ambiente amazônico.



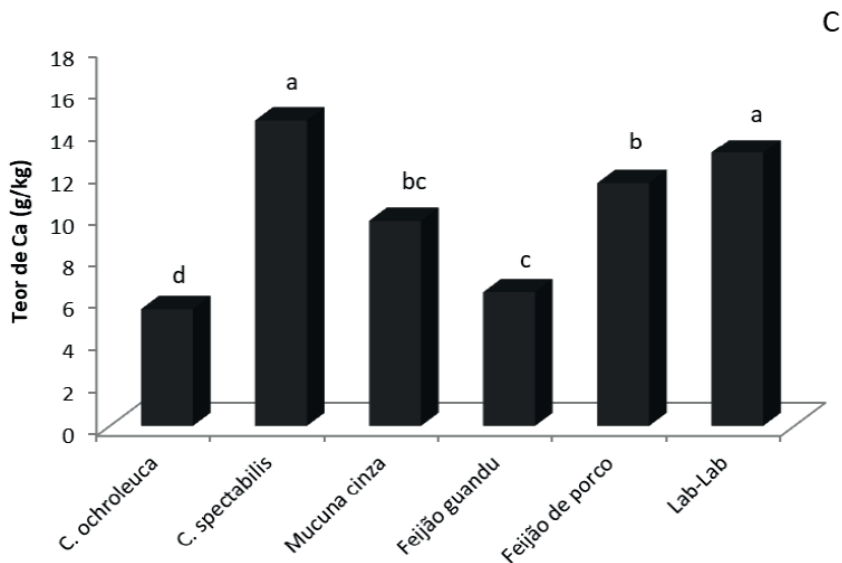


Figura 3. Teores de P (A), K (B) e Ca (C) na massa seca da parte aérea de diferentes plantas de cobertura em pleno florescimento. *Médias seguidas da mesma letra nas barras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quando avaliado a dinâmica da matéria orgânica e carbono orgânico no solo em resposta ao manejo com as plantas de cobertura observa-se que a espécie Lab-Lab e Feijão de porco foram eficientes e estatisticamente superiores ($p \leq 0.05$) as demais plantas de cobertura (Figura 4A, 4B e 4C). Isso indica a importância da utilização de culturas de cobertura com potencial para entrada de C no sistema, e conseqüentemente aumento dos estoques de C e N, contribuindo para melhoria das características químicas, físicas e biológicas do solo (Bell e Moore, 2012), e, no caso de leguminosas, de fixação simbiótica de N. A quantidade de resíduos que entra no sistema influencia a taxa de adição de C ao solo (Johnston et al., 2009) e a frequência e o tamanho desse processo depende além da qualidade dos resíduos depositados sobre a superfície do solo (Magalhães et al., 2016), do tempo de manejo (Salton et al., 2008) e condições climáticas (Koven et al., 2017).

Correlacionado às concentrações de MO e C no solo, os resíduos de culturas leguminosas como o Lab-Lab e o Feijão de porco possibilitaram impacto significativo nos teores de N-total, N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ do solo, diferindo estaticamente das demais espécies de plantas de cobertura (Figura 5A, 5B e 5C), em média a contribuição dessas espécies foram na ordem de 2995 kg/ha de N-total, 77 kg/ha de NH₄⁺ e 56 kg/ha de NO₃⁻ no solo. Nesta premissa, considerando a recomendação técnica de adubação para a cultura do milho e/ou feijão de 150 kg/há de N, pode-se inferir com base nos resultados da pesquisa uma redução na ordem de 50% e 35% na quantidade de N aplicado na forma de NH₄⁺ e NO₃⁻ no solo, respectivamente, quando tratar-se de cultura em sucessão. O maior teor de amônio nas parcelas pode ser explicado pela relação C/N baixa destas espécies de leguminosas, assim, a mineralização da matéria orgânica é mais intensa, sendo o amônio mais rapidamente liberado ao solo (Aita et al., 2007; Aranda et al., 2011).

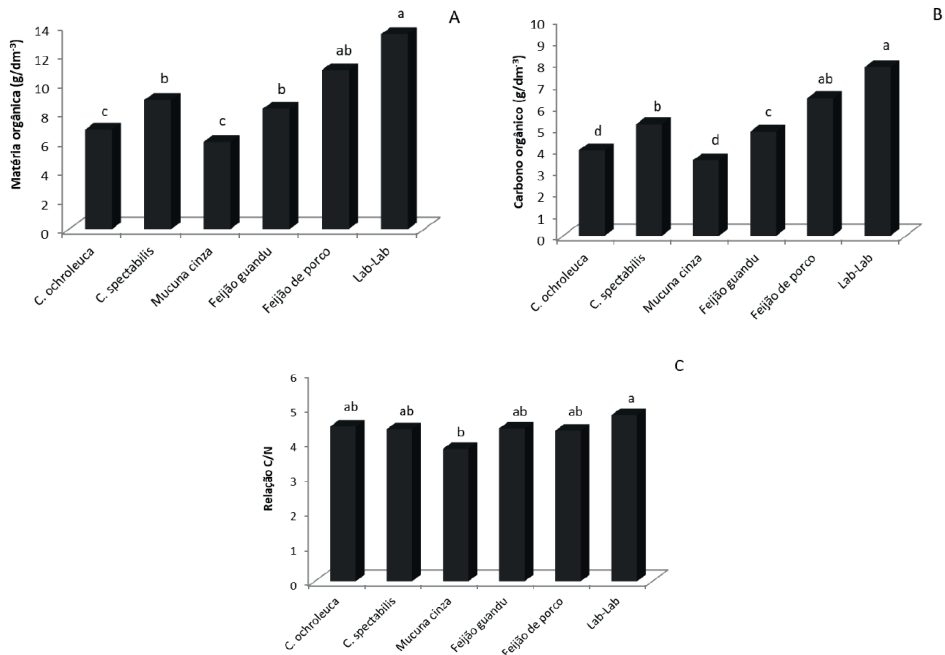


Figura 4. Teores de matéria orgânica (A), carbono orgânico (B) e relação C/N (C) no solo em resposta ao manejo com diferentes plantas de cobertura. *Médias seguidas da mesma letra nas barras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

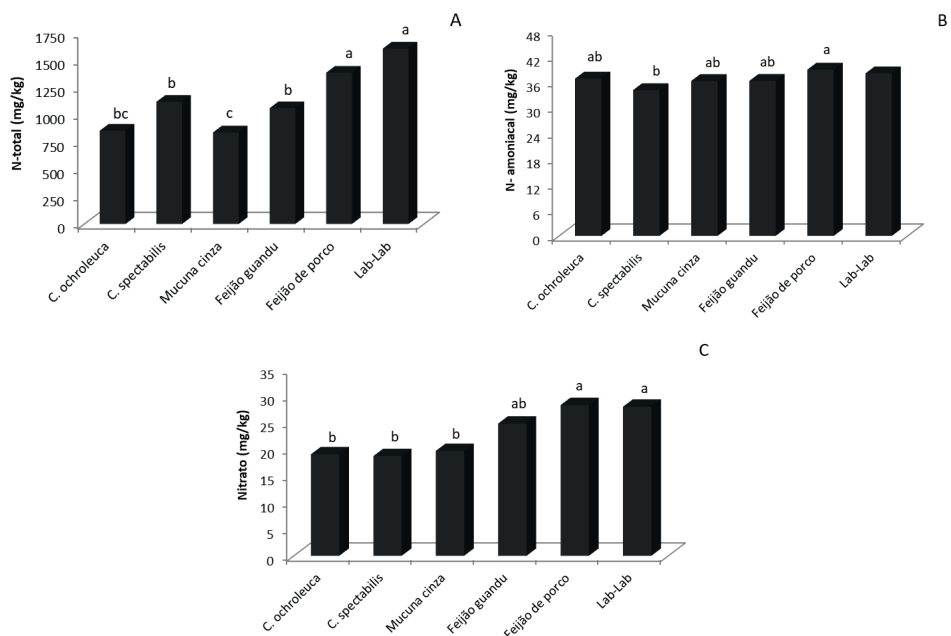


Figura 5. N- total (A), N-amoniaco (B) e Nitrate (C) no solo em resposta ao manejo com diferentes plantas de cobertura. *Médias seguidas da mesma letra nas barras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Considerando a dinâmica de matéria orgânica, carbono orgânico e N no solo em resposta as camadas de amostragem, os teores de MO, carbono orgânico, relação C/N e as frações de N no solo foram estatisticamente significativos ($p \leq 0.05$) em função da profundidade de amostragem (Figura 6 e Tabela 2). Na profundidade de 0-10 cm os valores médios de MO, CO e relação C/N foram de 16.17 g/dm³, 9.4 g/dm³ e 5.26 g/dm³, respectivamente, diferindo estaticamente das demais profundidades de amostragem, cujos valores foram reduzindo em subsuperfície (Figura 6A, 6B e 6C), o que demonstra contribuição mais efetiva na camada mais superficial, fato comum em área com minimização das influências antrópicas. Este incremento dos teores de MO e carbono orgânico na camada mais superficial do solo, está associado entre outros fatores, ao aumento do aporte de material vegetal ao solo decorrente do manejo das diferentes plantas de cobertura (Figura 2), bem como a melhoria da qualidade física do solo e ao aumento da humificação da matéria orgânica, com destaque a camada 0-10 cm. Sendo importante ressaltar que, à medida que a estrutura do solo é fortalecida pela adoção desses sistemas de manejo com baixo revolvimento, os teores de MO, carbono orgânico, relação C/N e N no solo devem ser incrementados, inclusive permitindo a estabilização da matéria orgânica em longo prazo, conforme relatam Araújo et al. (2021) e Lima et al. (2016). Dessa forma, nas condições edafoclimáticas em que o experimento foi conduzido, o acúmulo de carbono orgânico total depende fundamentalmente da estabilização da matéria orgânica do solo para efeitos posteriores em camadas superiores de amostragem. D'Andrea et al. (2004) estudando o estoque de carbono e nitrogênio em um Latossolo Vermelho distrófico submetido a diferentes sistemas de manejo, também constataram menores valores de C em profundidade além de maiores valores, na profundidade 0-10 cm.

Quanto aos teores de N-total no solo a correlação foi positiva com os teores de C no solo, principalmente nas camadas superficiais do solo (0-10 cm), uma vez que 95% do N-total do solo estão presentes na forma orgânica e há maior atividade orgânica na superfície do solo, decrescendo com a profundidade de amostragem (Tabela 2). Observa-se incremento na camada de 0-10 cm em dois anos de experimento na ordem de 556,87 kg/ha de N, sendo que a combinação de produtividade de matéria seca e acúmulo de nutrientes, resultou em maior ciclagem de N no solo possibilitada pela liberação rápida durante a decomposição, uma vez que leguminosas apresentam decomposição mais acelerada.

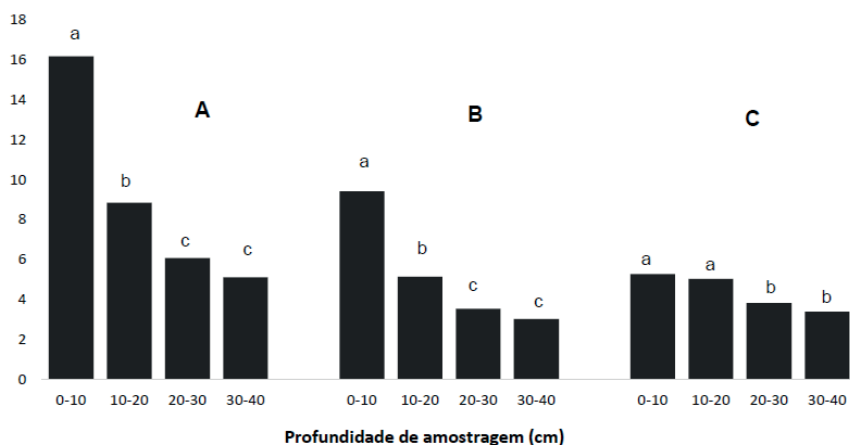
Com relação aos teores de N-inorgânico, observam-se valores superiores de N-NH₄⁺ e N- NO₃⁻ também nas camadas superficiais do solo ente 0-10 cm e 10-20 cm, decrescendo no perfil do solo. Os teores médios de N-NH₄⁺ e N- NO₃⁻ nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, foram de 39.09 mg/kg e 26.36 mg/kg, respectivamente, diferindo estatisticamente entre si (Tabela 2). Em condições de pH ácido, a espécie química predominante é NH₄⁺, explicado pelo processo de nitrificação, que é mediado pelas bactérias Nitrossomonas e Nitrobacter, sendo essas muito sensíveis a valores de pH menores que 6.0 e tem atividade nula em pH menor que 4.5 (Moreira e Siqueira, 2002), o que justifica as maiores concentrações de N- NH₄⁺ em relação ao N-NO₃⁻. Isto demonstra que o manejo do solo com o uso de plantas de cobertura são ferramentas que podem

ser utilizadas para alterar os níveis de N-NH₄⁺ e N- NO₃⁻ no solo, como já relatado por Nascente et al. (2012 e 2013). Outro ponto a ser observado é que o maior acúmulo N-NO₃⁻ foi verificado camada de zona radicular entre 0-20 cm, sendo que a lixiviação ocorreu em baixa intensidade, possivelmente em decorrência das baixas precipitações para a região durante o período, visto que as concentrações nas camadas subperficiais foram de 19.74 mg/kg, ou seja, 33.53% a menos que nas camada superficiais do solo, podendo haver tendência a variações ao longo do tempo e com o ciclo das culturas em sucessão. D'Andréa et al. (2004), afirma que o nitrato é facilmente lixiviado e essa lixiviação está diretamente relacionada ao volume de água precipitada.

Tabela 2. Alterações nos teores de N-total, N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ em função da diferentes profundidades de amostragem.

Camada	N-total	N-NH ₄ ⁺	N- NO ₃ ⁻
	mg/kg		
0-10	1810.37 a	39.39 a	27.93 a
10-20	1528.7 b	38.67 a	24.79 a
20-30	871.06 c	34.69 b	19.84 b
30-40	871.79 c	34.66 b	19.64 b
Média	1270.48	36.85	23.05
CV (%)	22.52	9.32	28.15

* Médias seguidas da mesma letra nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



A (Matéria orgânica (g/dm⁻³), **B** (Carbono orgânico (g/dm⁻³), **C** (Relação C/N (g/dm⁻³))
*Médias seguidas da mesma letra nas barras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 6. Matéria orgânica (A), carbono orgânico (B) e relação C/N em função das profundidades de amostragem do solo. *Médias seguidas da mesma letra nas barras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

As espécies *Crotalaria ochroleuca* e *Crotalaria spectabilis* apresentam grande potencial para produção de matéria seca; enquanto que a espécie Lab-Lab destaca-se na extração de nutrientes, tais como P, K e Ca no pleno florescimento.

A utilização das espécies Lab-lab e Feijão de porco foram às estratégias mais eficientes em promover o aumento no aporte de matéria orgânica, carbono e formas de nitrogênio no solo.

Os teores de $N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$ foram superiores nas camadas superficiais do solo.

REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S.; HUBNER, A., 2007. Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema de plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 42, n. 1, p. 95-102. <https://www.scielo.br/pdf/pab/v42n1/13.pdf>.

ANDRADE NETO, R. C., GÓES, G. B., MIRANDA, N. O., FILHO, E. T. D., & FILHO, F. S. T. P. (2008). Adubação verde: uma alternativa sustentável para o Brasil. Revista Verde, 3(1), 16-20. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7476761>

ARANDA, V.; CAÑADA, M.; VIDAL, A.; GARCÍA, J.; CALERO, J.; DELGADO, R.; VERDEJO, T.; VILA, F., 2011. Effect of soil type and management (organic vs. conventional) on soil organic matter quality in olive groves in a semi-arid environment in Sierra Mágina Natural Park (Spain). Geoderma, Amsterdam, v. 164, n. 1-2, p. 54-63. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706111001327>.

ARAÚJO, E.; RIBEIRO, J.; VENTURIM, D.; CATÂNIO, J.; MACIESKI NETO, V.; FREITAS, D.; MOREIRA, A.; DE PAULA, N.; COSTA, J.; COSTA, W.; SANTOS, K., 2021. Absorption of nutrients and chemical reconditioning of red latosol by cover plants cultivated in Amazon environment. Australian Journal Crop Science. 15(01):145-155. doi: 10.21475/ajcs.21.15.01.2964.

BELL, L.; MOORE, A., 2012. Integrated crop-livestock systems in Australian agriculture: trends, drivers and implications. Agricultural Systems, v. 111, n. 7, p. 1-12. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X12000686>.

BOER, C. A., ASSIS, R. L., SILVA, G. P., BRAZ, A. J. B. P., BARROSO, A. L. L., FILHO, A. C., & PIRES, F. R. 2008. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região centro-oeste do Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32(2), 843-851. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200038>

CAMBARDELLA, C.; ELLIOTT, E., 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. Soil Science Society of America Journal, n.56, 777-783. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>

D'ANDRÉA, A.; SILVA, M.; CURTI, N.; GUILHERME, L., 2004. Estoques de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, n.39, p.179-186. <https://www.scielo.br/j/pab/a/PRDk83v9ySjWXgG7WkNh3jf/?lang=pt>.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. - 2. Ed, Brasília., Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

JOHNSTON, A.; POULTON, P.; COLEMAN, K., 2009. Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. *Advances in Agronomy*, v.101, n.1, p.1-57. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211308008018>.

KOVEN, C.; HUGELIUS, G.; LAWRENCE, D.; WIEDER, W., 2017. Higher climatological temperature sensitivity of soil carbon in cold than warm climates. *Nature Climate Change*, v. 7, n. 11, p. 817-822. <https://www.osti.gov/pages/biblio/1532269>.

LIMA, C. E. P.; FONTENELLE, M. R.; MADEIRA, N. R.; SILVA, J.; GUEDES, I. M. R.; SILVA, L. R. B.; SOARES, D. C., 2016. Compartimentos de carbono orgânico em Latossolo cultivado com hortaliças sob diferentes manejos. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.4, p.378-387. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000400011>

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B.; KOUCHER, L.; OLIVEIRA, R.; KURTZ, C.; LOVATO, P.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J., 2015. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.39, n.4, p.1212-1224. <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/sPQvjG8jFjgvjcJJXpxRkkG/?format=pdf&lang=p>.

MAGALHÃES, S. S. A.; RAMOS, F. T.; WEBER, O. L. S., 2016. Carbon stocks of an Oxisol after thirty-eight years under different tillage systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 20, n. 1, p. 85-91. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n1p85-91>

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.; DEBARBA, L., 2003. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: Curi, N.; Marques, J.; Guilherme, L.; Lima, J.; Lopes, A.; Alvarez V., V.H. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v.3.p.209-248. https://www.researchgate.net/publication/291989594_Manejo_de_solo_e_culturas_e_sua_relacao_com_os_estoques_de_carbono_e_nitrogenio_do_solo.

MOREIRA, F.; SIQUEIRA, J., 2006. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 625p.

NASCENTE, A.; CRUSCIOL, C., 2013. Cover crops affecting levels of ammonium and nitrate in the soil and upland rice development. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2189-2202. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/93178/1/semina.pdf>.

NASCENTE, A.; CRUSCIOL, C., 2012. Cover crops and herbicide timing management on soybean yield under no-tillage system. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 47, n. 2, p. 187-192.

<https://www.scielo.br/j/pab/a/BFqR4bJhmv3BKc8tvYTjNN/?format=pdf&lang=en>.

PEREIRA, A.P.; SCHOFFEL, A.; KOEFENDER, J.; CAMERA, J.N.; GOLLE, D.P.; HORN, R.C., 2017. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. *Revista de Ciências Agrárias*, n.40, v. 4, p. 799-807. <https://doi.org/10.19084/RCA17065>

RANGEL, O.; SILVA, C., 2007. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes usos e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, n.31, p.1609-1623. <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/5yDMRDk5mBCzvV9jH37rt/?format=pdf&lang=pt>.

ROSSET, J.; LANA, M.; PEREIRA, M.; SCHIAVO, J.; RAMPIM, L.; SARTO, M.; SEIDEL, E., 2014a. Estoque de carbono, propriedades químicas e físicas do solo em sistemas de manejo com diferentes tempos de implantação na Região Oeste do Paraná, Brasil. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 35, n. 6, p. 3053-3072. <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/16350/15413>.

ROSSET, J.; SCHIAVO, J.; ATANÁZIO, R., 2014b. Atributos químicos, estoque de carbono orgânico total e das frações humificadas da matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de manejo de cana-de-açúcar. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 35, n. 5, p. 2351-2366. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744144009>.

SALES, A.; SILVA, A.; VELOSO, C.; CARVALHO, E.; MIRANDA, B., 2018. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia Legal. *Colloquium Agrariae*, v. 14, n. 1, p. 1-15. <https://revistas.unoeste.br/index.php/ca/article/view/1989/2101>.

SALTON, J.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.; FABRÍCIO, A.; MACEDO, M.; BROCH, D., 2008. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 1, p. 11-21.

<https://www.scielo.br/rj/rbcs/a/nj79r8rWZhJm4YksSrQXfky/?format=pdf&lang=pt>.

TEDESCO, M.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.; BOHNEN, H.; WOKWEISS, S., 1995. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2.^a ed. Porto Alegre, UFRGS/Departamento de Solos. 174 p.

ZINN, Y.; LAL, R.; RESCK, D., 2005. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. *Soil Till. Res.*,84:28-40. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.007>.

A CICLAGEM DE NUTRIENTES POR PLANTAS DE COBERTURA ADUBADAS COM FÓSFORO FAVORECE O DESEMPENHO AGRONÔMICO DO FEIJOEIRO?

Data de aceite: 01/07/2024

Érica de Oliveira Araújo

Profa. Doutora em Agronomia,
Departamento de Agropecuária, Instituto
Federal de Rondônia, Campus de
Colorado do Oeste, Colorado do Oeste-
Brasil

Diogo de Souza Freitas

Graduando (a) em Engenharia
Agrônoma, Instituto Federal de
Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

José Vanor Felini Catâneo

Prof. Mestre em Produção Animal,
Departamento de Agronomia, Instituto
Federal do Mato Grosso, Campus
Confresa, Confresa, Brasil

Aline Ottes Moreira

Engenheira Agrônoma, Instituto Federal
de Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

Jiovane Anderson da Silva Ribeiro

Engenheiro Agrônomo, Instituto Federal
de Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma cultura de grande importância econômica e social e, principal fonte de proteína vegetal na alimentação humana em países em desenvolvimento das regiões tropicais e subtropicais. A estimativa de área plantada com feijão na segunda safra 2020/2021 foi de 2.94 milhões de hectares com uma produção de 1.06 milhões de toneladas de feijão (Conab, 2021), o que confere ao País posição de destaque mundial, caracterizando como terceiro maior produtor, ficando atrás de Myanmar e Índia (Faostat, 2021). Na região Norte, o feijão é uma das principais culturas em área plantada, com aproximadamente 61.9 mil hectares, sendo o estado de Rondônia detentor da terceira posição, superado apenas por Tocantins e Acre. Porém, a produtividade média regional da cultura do feijão ainda é insatisfatória, o que se deve em boa parte ao baixo nível tecnológico utilizado nas pequenas e médias propriedades e à baixa fertilidade natural dos solos, que, em sua maioria, apresentam deficiência de nitrogênio (N) e fósforo (P).

Depois do nitrogênio, o P é o segundo elemento mineral essencial de maior importância para a agricultura, sendo que o seu fornecimento representa parte expressiva do custo com implantação de uma lavoura, nas regiões tropicais, por se tratar de solos, em quase sua totalidade, muito intemperizados, ácidos, argilosos e oxidicos, sendo estas características que favorecem a fixação deste elemento pelo solo tornando-o pouco disponível (Silva et al., 2011). A implicação prática disso é que, embora a exigência de P pelas plantas não seja elevada, grandes quantidades do nutriente devem ser fornecidas nas adubações para promover alguma saturação do solo e originar um excedente que atenda aos requerimentos nutricionais das culturas (Novais; Smyth, 1999).

Assim, considerando a essencialidade do P para as plantas, buscar meios para utilizá-lo eficientemente, a partir de práticas conservacionistas, como o uso de espécies de cobertura, que resultam em aumento na recuperação do P adicionado ao solo, aumento da produtividade (Albuquerque et al., 2013; Lazaro et al., 2013; Carvalho et al., 2015, Aker et al., 2016), manutenção do equilíbrio do sistema, possibilidades de sequestro de carbono no solo e ciclagem de nutrientes, revelam-se uma alternativa promissora para a região amazônica, visto que os resíduos das plantas de cobertura contêm quantidades consideráveis de P, e que mediante sua mineralização poderão atender boa parte da demanda das culturas (Oliveira et al., 2002; Andrade et al., 2003).

Por conseguinte, pesquisas com a inserção de plantas de cobertura na região amazônica, em especial no estado de Rondônia ainda são escassas e necessárias para a viabilização do sistema de sucessão, rotação e/ ou plantio direto, com premissas ao aprofundamento do conhecimento científico e desenvolvimento de processo tecnológico destinado à produção agrícola regional.

Todavia, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a produção de biomassa e a absorção de nutrientes por diferentes plantas de cobertura na ausência e presença de adubação fosfatada, bem como constatar os efeitos da palhada sob a produtividade do feijoeiro cultivado em segunda safra, visto que o tipo de palha presente na superfície do solo pode influenciar o manejo das culturas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo, na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, Campus Colorado do Oeste, no município de Colorado do Oeste, RO, cujas coordenadas geográficas são 13°06'S e 60°29'W, com altitude média de 407 metros. O clima segundo a classificação de Köppen é do tipo Awa, tropical quente e úmido com duas estações bem definidas. Dados médios de temperatura e precipitação pluviométrica durante a condução do experimento foram obtidos do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (Figura 1). A caracterização química do solo foi realizada na camada de 0-10 cm e 10-20 cm, em

amostras coletadas antes da instalação do experimento e são apresentados na Tabela 1. A análise granulométrica da area experimental na profundidade de 0-10 cm apresentou 343 g dm⁻³ de argila, 479 g dm⁻³ de areia e 178g dm⁻³ de silte.

Por tratar-se de pesquisa continuada, a correção do solo foi realizada, trinta dias antes da primeira semeadura de plantas de cobertura (ano agrícola 2019), com base nos resultados da análise do solo na camada de 0-10 cm, utilizando calcário dolomítico (PRNT 97%), com o objetivo de elevar a saturação por bases a 60%. A partir desta correção, as premissas experimentais foram para cultivo mínimo, sem revolvimento do solo, com cobertura permanente e semeadura na palha.

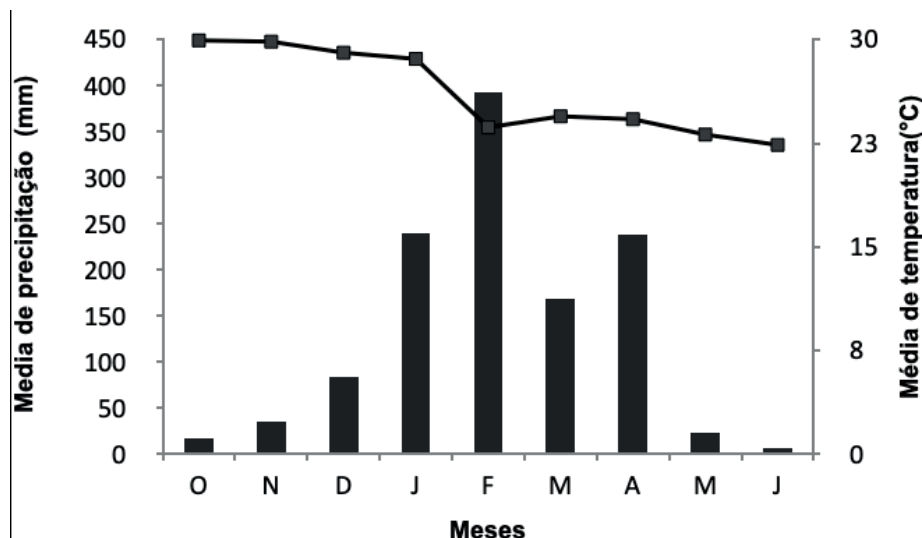


Figura 1. Precipitação (mm) e temperatura (°C) médias mensais, registradas na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia, no período de outubro de 2020 a junho de 2021.

Tabela 1. Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento em diferentes camadas de amostragem.

Camada	MO g/dm ³	CO	pH	P CaCl ₂ mg/dm ³	K mg/dm ³	Ca	Mg	H+Al mmolc/dm ³	Al	SB	CTC	V (%)
0-10 cm	11.4	4.6	4.9	4	81	29	8	30	1	40	70	57
10-20 cm	5.3	3.0	5.0	1	58	36	4	25	1	41	66	62

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizado, arranjados em esquema 4 x 2, sendo constituídos pelo plantio de quatro espécies de plantas de cobertura (*Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria ochroleuca*, *Mucuna cinza* e *Feijão guandu*), ausência e presença de fósforo (0 e 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅), tendo como fonte solúvel de P₂O₅ o superfosfato triplo (45% P₂O₅), e quatro repetições, perfazendo o total 32 unidades experimentais.

Na primeira etapa, os sulcos de plantio para as plantas de cobertura foram abertos mecanicamente na profundidade de 5 cm, de acordo com espaçamento determinado, e a semeadura realizada manualmente. Os diferentes gastos de sementes adotados foram baseados em recomendações técnicas para as diferentes plantas de cobertura. Cada unidade experimental foi composta por 8 linhas de 5 metros de comprimento, espaçadas em 0.45 m entre linhas e 0.20 m entre plantas. Consideraram-se como parcela útil as seis linhas centrais, excluindo-se 0.5 m de cada extremidade da parcela. Por ocasião do pleno florescimento, as plantas de cobertura foram dessecadas com utilização do herbicida glifosato (1.920 g ha⁻¹ do i.a.) e, em seguida, manejadas com auxílio roçadeira manual na altura de 0.05 m em relação à superfície do solo, visando à uniformização da área. No entanto, antes da dessecação foi avaliada a produção de massa seca da parte aérea das diferentes plantas de cobertura. Para determinação da massa seca foi utilizado um quadro (0.50 m x 0.50 m) visando demarcar a área da parcela, na qual foi coletada a amostra (rente ao solo), sendo, esta, pesada, e levada para estufa de circulação forçada de ar, a 65°C, até atingir peso constante, determinando-se a massa seca. Os teores de macronutrientes na massa seca da parte aérea foram determinados de acordo com a metodologia descrita em Embrapa (2009).

Na segunda etapa, após 45 dias da dessecação das plantas de cobertura, sobre a palhada foi realizada a semeadura mecanizada do feijão-comum, cultivar BRS Estilo (de grão comercial carioca, arquitetura de planta semiereta, hábito de crescimento indeterminado tipo II), em espaçamento de 0.80 m entre linhas, com população de plantas de 212500 mil/plantas/hectare, considerando como parcela útil duas linhas centrais, excluindo-se 0.50 m de cada extremidade da parcela. Na semeadura, a adubação de base foi realizada na linha de plantio para o suprimento de 30 kg ha⁻¹ de N e 60 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente. Todos os demais tratos culturais foram realizados conforme preconizado para a cultura do feijoeiro.

Por ocasião do pleno florescimento (50% das plantas em floração) e da maturidade fisiológica da cultura coletou-se uma planta por unidade experimental para determinação dos teores de macronutrientes na parte aérea. Todo o material vegetal coletado foi acondicionado em sacos de papel e secos em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65°C, por 72 horas, sendo posteriormente moídos e submetidos à digestão sulfúrica e digestão nitro-perclórica, utilizando a metodologia descrita em Embrapa (2009). Os componentes de produção, tais como número de vagens por planta, número de grãos por vagem, número de grãos por planta, peso de mil grãos e produtividades de grãos foram obtidos a partir das mensurações de cinco plantas da área útil da parcela, na maturidade fisiológica. A produtividade foi determinada pelo peso de grãos da área útil em quilogramas, com correção para 13% de umidade, transformando os dados para kg ha⁻¹.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro Wilk) e análise de variância, sendo os efeitos entre as diferentes plantas de cobertura e adubação fosfatada, bem como suas correlações, avaliados pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade utilizando-se o programa estatístico Sisvar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados evidenciaram efeitos significativos da interação dupla entre palhada e adubação fosfatada para a variável produção de massa seca e teores de P e K nas diferentes plantas de cobertura (Tabela 2), e para os componentes de produção do feijoeiro (Tabela 3).

O cultivo de *Crotalaria chroleuca* e *Crotalaria spectabilis* proporcionou os melhores resultados para produção de massa seca, 13.42 t.ha⁻¹ e 13.88 t.ha⁻¹, respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si na ausência de adubação fosfatada; na presença de adubação fosfatada (80 kg/ha de P₂O₅) a espécie Feijão guandu destacou-se com uma produção de massa seca na ordem de 17.40 t.ha⁻¹, diferindo estatisticamente ($p < 0.05$) das demais espécies; enquanto que a menor produção de massa seca foi constatada pela espécie *Mucuna* cinza tanto na presença quanto na ausência de adubação fosfatada (Tabela 2). Tal produção de massa seca pelas espécies de crotalárias deve-se a estrutura morfológica de caule lenhoso que, de acordo com o estágio de desenvolvimento da planta, apresenta um elevado teor de água resultando desta forma em um aumento na quantidade de massa fresca da planta, além de um grande desenvolvimento das plantas (Bettiol et al., 2015). Essa produção e posterior acréscimo de massa seca no solo podem causar alterações significativas nas características físicas e químicas do solo, na manutenção e/ou elevação dos teores de matéria orgânica do solo, e na manutenção da temperatura do solo, além de favorecer o desenvolvimento e a produtividade de espécies agrícolas em cultivos subsequentes (Araújo et al., 2021; Andrade Neto et al., 2008; Boer et al., 2008).

De forma geral, a quantidade de massa vegetal fornecida pelas plantas de cobertura apresentou valores superiores aos que têm sido apontados como quantidade mínima ideal de adição de matéria em um sistema de rotação de culturas, de maneira que a cobertura do solo se mantenha adequada, com valor de 6t/ha/ano de palhada, conforme citado por Alvarenga et al. (2001), sendo a média geral de produtividade da massa seca de 10 t/ha e 13 t/ha nas doses de 0 kg/ha de P₂O₅ e 80 kg/ha de P₂O₅, respectivamente, resultado este superior à quantidade mínima, indicando desta forma uma boa cobertura do solo. Estes resultados corroboram integralmente aos encontrados por Araújo et al., (2021), no qual o cultivo de *Crotalaria spectabilis* e *Crotalaria ochroleuca* na safra 2019/2020 apresentaram produtividades superiores de massa seca em sistema de cultivo sem adubação fosfatada; e corroboram parcialmente aos resultados obtidos por Pereira et al., (2017), que observaram baixa produção de massa seca para *Mucuna*.

Apesar da alta capacidade de produção de massa seca pela espécie *Crotalaria ochroleuca* na ausência de adubação fosfatada, verifica-se que a capacidade em absorver e acumular P nas folhas em pleno florescimento foi inferior tanto na ausência quanto na presença de adubação fosfatada, reforçando a premissa que essas plantas têm a capacidade de desenvolver estratégias fisiológicas para conviver com a baixa disponibilidade de P; enquanto que a capacidade em absorver e acumular nas folhas

em pleno florescimento K foi superior (Tabela 2). Todavia, pode-se constatar resposta significativa das espécies de plantas de cobertura quanto à adubação fosfatada (80 kg/ha de P_2O_5), visto que todas as espécies apresentaram incrementos nas produções de massa seca e acúmulos de P e K com a dose aplicada, podendo contribuir com elevada incorporação de nutrientes posteriormente à decomposição da biomassa. Resultados semelhantes foram obtidos por Araújo et al., (2021) estudando a ciclagem de nutrientes por diferentes plantas de cobertura em ambiente amazônico.

Tabela 2. Desdobramento da interação dupla significativa para produção de massa seca e teores de fósforo e potássio na parte aérea de diferentes plantas de cobertura submetidas à adubação fosfatada.

Plantas de cobertura	Produção de Massa seca (kg/ha)	
	0 kg/ha de P_2O_5	80 kg/ha de P_2O_5
C. ochroleuca	13.424 aB	15.411 bA
C. spectabilis	13.888 aB	15.632 bA
Mucuna cinza	4.892 cA	5.125 cA
Feijão guandu	11.598 bB	17.403 aA

Plantas de cobertura	Teor de P (g/kg)	
	0 kg/ha de P_2O_5	80 kg/ha de P_2O_5
C. ochroleuca	1.16 cB	1.37 cA
C. spectabilis	1.57 aB	1.68 aA
Mucuna cinza	1.33 bB	1.47 bA
Feijão guandu	1.56 aB	1.56 aA

Plantas de cobertura	Teor de K (g/kg)	
	0 kg/ha de P_2O_5	80 kg/ha de P_2O_5
C. ochroleuca	14.51 aB	20.36 aA
C. spectabilis	14.24 aB	19.92 aA
Mucuna cinza	10.82 cB	18.82 bA
Feijão guandu	11.98 bB	18.20 bA

As letras minúsculas separam as médias dentro de cada coluna e as maiúsculas separam as médias dentro de cada linha. Letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Para aos parâmetros produtivos da cultura do feijão, a palhada de *Crotalaria ochroleuca* e *Mucuna cinza* na ausência de P proporcionou diferença estatística significativa ($p < 0.05$) para número de grãos por vagem, número de grãos por planta, peso de mil grãos, e, por conseguinte, na produtividade de grãos de feijão (Tabela 3). Verifica-se que apenas a palhada dessas plantas de cobertura sem qualquer adição de fósforo e mediante decomposição rápida (baixa relação C/N) foram capazes de fornecer nutriente a cultura subsequente, de forma a favorecer o seu crescimento e desenvolvimento, uma vez que no fornecimento de 80 kg/ha de P_2O_5 apesar de ter apresentado valores superiores entre as palhadas das plantas de cobertura, não diferiu estatisticamente entre si, conforme mostra a Tabela 3.

Os melhores resultados de peso de mil grãos e produtividade de grãos de feijão foram obtidos nos tratamentos com palhada de *Crotalaria ochroleuca* e *Mucuna* cinza; e justamente nestes tratamentos, foram constatados os maiores e menores valores de produção de massa seca das coberturas, respectivamente (Tabela 2 e Tabela 3). Quando observado o efeito da interação entre doses de P e a palhada das plantas de cobertura, todas as variáveis responderam significativamente e positivamente ao fornecimento de P (Tabela 3). Nota-se incremento médio na produtividade de grãos de feijão em resposta a palhada das plantas de cobertura adubada com 80 kg/ha de P_2O_5 , na ordem de 47%, ou seja, a associação dessas plantas com o sistema de manejo do solo pode resultar em ganhos na produtividade das culturas, em função da melhoria da qualidade do solo, sendo eficiente a recomendação de utilização de plantas de cobertura antecessora da cultura do feijão e permitindo inferir que a capacidade de produção de está diretamente relacionada com as condições edafoclimáticas.

Quanto aos aspectos nutricionais, no desdobramento da interação dupla entre a palhada das plantas de cobertura e adubação fosfatada foram observados efeitos significativos para os teores de P e Mg na parte aérea do feijoeiro em pleno florescimento e na maturidade fisiológica (Tabela 4); enquanto que os teores de K, Ca e Mg no feijoeiro foram influenciados apenas pela palhada das diferentes plantas de cobertura ou doses de P, restringindo-se a análise dos efeitos isolados.

A palhada da espécie *Crotalaria ochroleuca* proporcionou o maior acúmulo de K em plantas de feijão no pleno florescimento, diferindo estatisticamente ($p < 0.05$) apenas da espécie *Mucuna* cinza (Figura 2), o que permite afirmar que a espécie *Crotalaria ochroleuca* foi mais eficiente quanto à ciclagem de nutriente e disponibilidade de K a plantas de feijão, havendo correlação positiva entre o teor de K nos tecidos da espécie *Crotalaria ochroleuca* no florescimento (Tabela 1) e os teores de K nos tecidos das plantas de feijão no florescimento. É importante ressaltar que teores de K tende a ser mais altos no pleno florescimento das plantas e reduções são observadas com o avanço das fases fenológicas. Isso ocorre porque o K tem alta mobilidade no floema (Marcschner, 2002) e a maior parte é absorvida pelas plantas durante a fase de crescimento vegetativo, visto o papel fundamental do nutriente na fotossíntese e síntese de carboidratos (Yamada, 1987) e ativação de enzimas para diversos processos fisiológicos.

Tabela 3. Desdobramento da interação dupla significativa entre palhada de plantas de cobertura e adubação fosfatada para os componentes de produção do feijoeiro comum.

Plantas de cobertura	Número de grãos/vagem	
	0 kg/ha de P ₂ O ₅	80 kg/ha de P ₂ O ₅
C. ochroleuca	6.42 aA	6.30 aA
C. spectabilis	5.47 bB	6.40 aA
Mucuna cinza	6.20 aA	6.65 aA
Feijão guandu	4.82 cB	6.55aA
Plantas de cobertura	Número de grãos/planta	
	0 kg/ha de P ₂ O ₅	80 kg/ha de P ₂ O ₅
C. ochroleuca	106.01 aB	135.45 aA
C. spectabilis	90.33 bcB	137.60 aA
Mucuna cinza	102.30 abB	142.97 aA
Feijão guandu	79.61 cB	140.82 aA
Plantas de cobertura	Peso de 1000 grãos	
	0 kg/ha de P ₂ O ₅	80 kg/ha de P ₂ O ₅
C. ochroleuca	337.68 aB	467.47 aA
C. spectabilis	292.90 bB	389.52 bA
Mucuna cinza	341.16 aB	442.47 aA
Feijão guandu	274.22 bB	344.08 bA
Plantas de cobertura	Produtividade de grãos(kg/ha)	
	0 kg/ha de P ₂ O ₅	80 kg/ha de P ₂ O ₅
C. ochroleuca	990.18 aB	1590.18 aA
C. spectabilis	895.06 bcB	1533.06 aA
Mucuna cinza	974.50 aB	1534.50 aA
Feijão guandu	844.18 bB	1526.02 aA

As letras minúsculas separam as médias dentro de cada coluna e as maiúsculas separam as médias dentro de cada linha. Letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

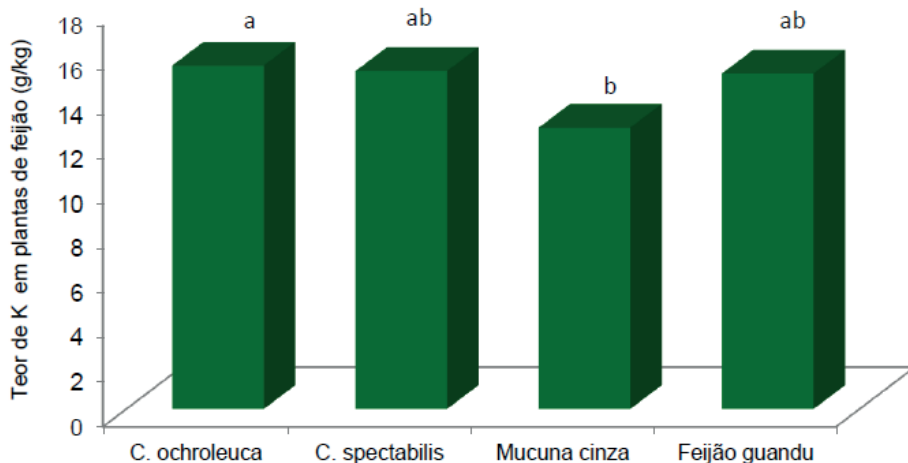


Figura 2. Teor de K em plantas de feijão no pleno florescimento cultivado sob a palhada de diferentes plantas de cobertura. *Letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Já a adubação fosfatada de 80 kg/ha^{-1} de P_2O_5 aplicada sob as plantas de cobertura exerceram efeito crescente e significativo ($p \leq 0.05$) sobre os teores de Ca e Mg nos tecidos de plantas de feijão no pleno florescimento e na maturidade fisiológica, quando comparado à ausência da adubação fosfatada (Figura 3). A dose de fósforo aplicada sob as plantas de cobertura favoreceu além da absorção de P, a absorção de outros nutrientes, tais como Ca e Mg, que mediante a decomposição e mineralização de seus resíduos puderam atender parte da demanda nutricional da cultura do feijão. Os teores de Ca e Mg nos tecidos do feijoeiro no pleno florescimento e na presença de adubação fosfatada (80 kg/ha^{-1} de P_2O_5), foram de 16.57 g/kg e 4.72 g/kg , respectivamente, enquanto que os teores de Ca e Mg nos tecidos do feijoeiro na maturidade fisiológica foram de 4.14 g/kg e 13.88 g/kg respectivamente, constatando correlação inversa quanto aos teores do nutrientes, e estando dentro da faixa considerada adequada por Malavolta et al. (2006), que varia entre $15\text{-}20 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca e $4\text{-}7 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg. O cálcio tem baixa mobilidade na planta razão pela qual se acumula nas folhas, sem poder ser redistribuído para outras partes da planta antes da queda das folhas (Epstein & Bloom, 2006; Marschner, 2002), e o feijoeiro apresenta queda de folhas durante a senescência. Além disso, a insolubilidade dos compostos de cálcio da planta e sua localização na célula explicam, em parte, a limitada redistribuição ao longo do ciclo da planta. Já o magnésio, embora seja considerado um nutriente móvel (Marschner, 2002), segundo Malavolta (2006), é comum encontrar maior concentração de magnésio em folhas mais velhas do que em folhas jovens, permitindo o comportamento proporcionalmente inverso ao Ca.

Na comparação das espécies de plantas de cobertura em cada dose de fósforo, verificou-se superioridade nos teores de P em plantas de feijão no pleno florescimento e na maturidade fisiológica quando cultivado sob a palhada de *Crotalaria. spectabilis* e Feijão-guandu (Tabela 4). Ao analisarmos o efeito da ausência de adubação fosfatada

sob os teores de P no florescimento e na maturidade fisiológica do feijoeiro, as espécies supracitadas destacam-se quando comparadas com as demais espécies, mesmo não havendo diferença estatística entre as demais espécies. Isso evidencia que mesmo sob deficiência de P no solo as plantas de cobertura desenvolveram o sistema radicular, visando aumentar a capacidade de absorção de P, visto a baixa mobilidade deste elemento no solo, e contribuiu com a ciclagem de nutrientes para cultura subsequente, mantendo razoável produção de massa seca e acúmulo de P nos tecidos, conforme mostra tabela 2. Enquanto que para os teores de Mg em plantas de feijão no pleno florescimento e na maturidade fisiológica a resposta significativa foi na presença de adubação fosfatada não havendo diferença estatística entre as espécies de plantas de cobertura (Tabela 4).

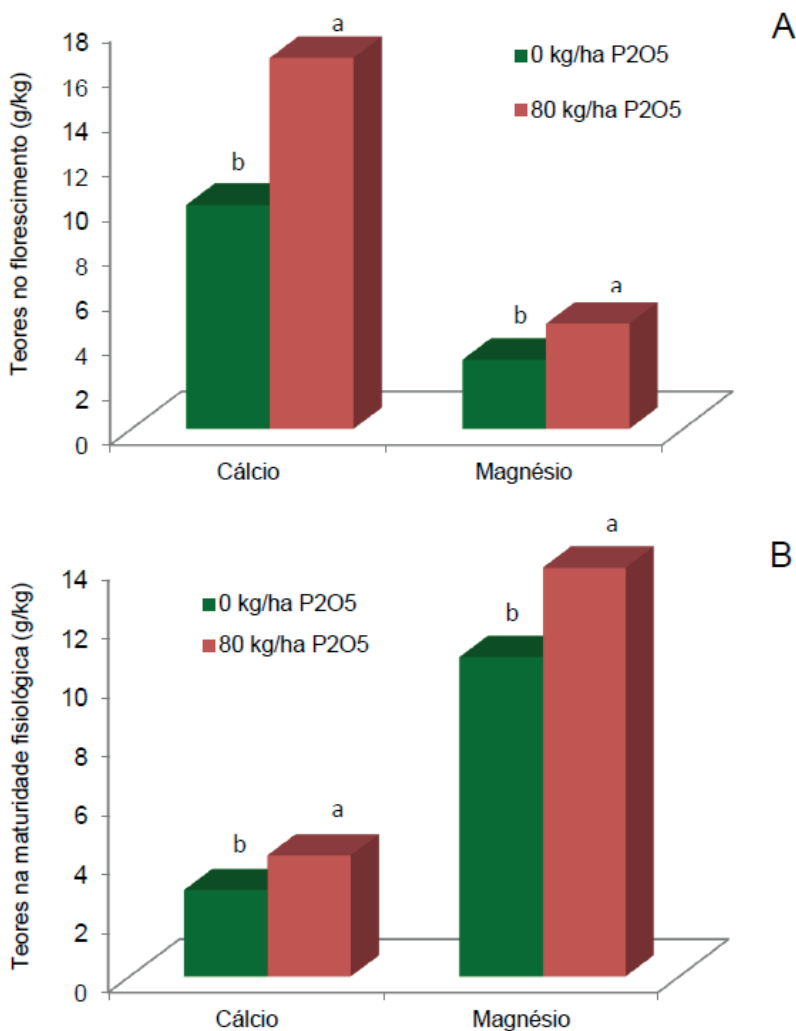


Figura 3. Teores de Ca e Mg em plantas de feijão no pleno florescimento (A) e na maturidade fisiológica (B) em resposta a palhada de plantas de cobertura submetidas a adubação fosfatada. *Letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Desdobramento da interação dupla significativa para teores de fósforo (P) e magnésio (Mg) no pleno florescimento e na maturidade fisiológica de plantas de feijão cultivadas sob a palhada de diferentes plantas de cobertura submetidas à adubação fosfatada.

Teor de P (g/kg) florescimento		
Plantas de cobertura	0 kg/ha de P ₂ O ₅	80 kg/ha de P ₂ O ₅
C. ochroleuca	1.95 bB	2.49 abA
C. spectabilis	2.14 abB	2.78 aA
Mucuna cinza	1.93 bB	2.57 abA
Feijão guandu	2.47 aB	2.76 aA
Teor de Mg (g/kg) florescimento		
Plantas de cobertura	0 kg/ha de P ₂ O ₅	80 kg/ha de P ₂ O ₅
C. ochroleuca	2.14 aA	3.76 bA
C. spectabilis	2.62 aB	4.26 aA
Mucuna cinza	2.75 aA	4.32 aA
Feijão guandu	2.85 aB	4.99 aA
Teor de P (g/kg) na maturidade fisiológica		
Plantas de cobertura	0 kg/ha de P ₂ O ₅	80 kg/ha de P ₂ O ₅
C. ochroleuca	0.34 aB	0.47 cA
C. spectabilis	0.40 aB	0.82 bA
Mucuna cinza	0.39 aA	0.46 cA
Feijão guandu	0.36 aB	1.13 aA
Teor de Mg (g/kg) na maturidade fisiológica		
Plantas de cobertura	0 kg/ha de P ₂ O ₅	80 kg/ha de P ₂ O ₅
C. ochroleuca	9.92 aB	12.89 aA
C. spectabilis	10.30 aB	12.78 aA
Mucuna cinza	11.82 aA	11.07 aA
Feijão guandu	11.23 aB	12.32 aA

As letras minúsculas separam as médias dentro de cada coluna e as maiúsculas separam as médias dentro de cada linha. Letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

As espécies *Crotalaria ochroleuca* e *Crotalaria spectabilis* apresentam maior potencial para produção de matéria seca.

A palhada da plantas de cobertura *Crotalaria ochroleuca* e *Mucuna Cinza* na dose de 80 kg/há de P favoreceram significativamente os componentes de produção do feijoeiro.

A dose de fósforo aplicada sob as plantas de cobertura propiciou além da absorção de P e K, a absorção de outros nutrientes, tais como Ca e Mg, que mediante a decomposição e mineralização de seus resíduos puderam atender parte da demanda nutricional da cultura do feijão.

REFERÊNCIAS

- Aker, A.M., Passos, A.M.A., Marcolan, A.L., Santos, F.C., Cipriani, H.N., Vargas, L.A. (2016). Plantas de cobertura sobre os atributos agrônômicos do milho na região sudoeste da Amazônia. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 15(3), 531-542. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v15n3p531-542>
- Albuquerque, A.W., Santos, J.R., Filho, G.M. Reis, L.S. (2013). Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(7), 721-726. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000700005>
- Andrade Neto, R.C., Góes, G.B., Miranda, N.O., Filho, E.T.D., Filho, F.S.T.P. (2008). Adubação verde: uma alternativa sustentável para o Brasil. *Revista Verde*, 3(1), 16-20. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7476761>
- Andrade, F.V., Mendonça, E.S., Alvarez, V.V.H., Novais, R.F. (2003). Adição de ácidos orgânicos e húmicos em. Latossolos e adsorção de fosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22(6), 1003-1011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000600004>
- Araújo, E.; Ribeiro, J.; Venturim, D.; Catânio, J.; Macieski Neto, V.; Freitas, D.; Moreira, A.; De Paula, N.; Costa, J.; Costa, W.; Santos, K., 2021. Absorption of nutrients and chemical recondition in gofred latosol by cover plants cultivated in Amazon e nvironment. *Australian Journal Crop Science*, 15, (1), 145-155. doi: 10.21475/ajcs.21.15.01.2964.
- Bettiol, J.V.T., Pedrinho, A., Merloti, L.F., Bossolani, J.W., Sá, M.E. (2015). Plantas de Cobertura, Utilizando *Urochloaruziziensis* Solteira e em Consórcio com Leguminosas e seus Efeitos Sobre a Produtividade de Sementes do Feijoeiro. *Uniciências*, 19(1), 3-10. <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2015v19n1p%25p>
- Boer, C.A., Assis, R.L., Silva, G.P., Braz, A.J.B.P., Barroso, A.L.L., Filho, A.C., Pires, F.R. (2008). Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região centro-oeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(2), 843-851. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200038>
- Carvalho, A.M., Coser, T.R., Rein, T.A., Dantas, R.A., Silva, R.R., Souza, K.W. (2015). Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(7), 551-561. [10.1590/S0100-204X2015000700005](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000700005)
- Conab (2021). Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2020/2021: Oitavo Levantamento, Maio/2021, Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília, CONAB, 8(8), 115.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2009). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. - 2. Ed, Brasília., Embrapa Informação Tecnológica, 627.
- FAOSTAT. (2021). Crops. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Lázaro, R.L., Costa, A.C.T., Silva, K.F., Sarto, M.V.M., Duarte Júnior, J.B. (2013). Produtividade de milho cultivado em sucessão à adubação verde. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43(1), 10-17
- Malavolta, E. (2006). Manual de nutrição mineral de plantas. Agronômica Ceres.
- Marschner, H.(2002). Mineral nutrition of higher plants. London: Academic.

Novais, R.F., Smyth, T.J. (1999). Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG: UFV, DPS, 399 p.

Pereira, A.P., Schoffel, A., Koefender, J., Camera, J.N., Golle, D.P., Horn, R.C. (2017). Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. *Revista de Ciências Agrárias*, 40(4), 799-807. <https://doi.org/10.19084/RCA17065>

Silva, T.O.; Furtini Neto, A.E., Carneiro, L.F., Paludo, V. (2011). Plantas de cobertura submetidas a diferentes fontes de fósforo em solos distintos. *Semina: Ciências Agrárias*, 32(4), 1315-1326. <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744110010.pdf>

Yamada, T. (1987). Potássio: Dinâmica e disponibilidade no solo. In: Fernandes, F. M.; Nascimento, V. M. (ed.). *Curso de atualização em fertilidade do solo*. Campinas, Fundação Cargill.

PERFORMANCE DO FEIJOEIRO CULTIVADO EM SUCESSÃO A PLANTAS DE COBERTURA

Data de aceite: 01/07/2024

Érica de Oliveira Araújo

Profa. Doutora em Agronomia,
Departamento de Agropecuária, Instituto
Federal de Rondônia, Campus de
Colorado do Oeste, Colorado do Oeste-
Brasil

Diogo de Souza Freitas

Graduando (a) em Engenharia
Agrônoma, Instituto Federal de
Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

Jose Vanor Felini Catânio

Prof. Mestre em Produção Animal,
Departamento de Agronomia, Instituto
Federal do Mato Grosso, Campus
confresa, Confresa, Brasil

Luís Antônio Bento Viana Filho

Graduando (a) em Engenharia
Agrônoma, Instituto Federal de
Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

Emily Gomes Guimarães

Graduando (a) em Engenharia
Agrônoma, Instituto Federal de
Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma cultura de grande importância econômica e social e, principal fonte de proteína vegetal na alimentação humana em países em desenvolvimento das regiões tropicais e subtropicais (Araújo et al., 2021). A estimativa de área plantada com feijão na safra 2022/2023 na região Norte foi de 92,6 mil hectares, com produção de 90,2 mil de toneladas de feijão (Conab, 2023), sendo o estado de Rondônia detentor do plantio em 2ª safra de 3 mil hectares, com produção de 3,2 mil de toneladas e média de produtividade de 1.050 kg/ha (Conab, 2023). Porém, a produtividade média regional da cultura ainda é insatisfatória, uma vez que grande parte da produção é realizada em sistemas agrícolas com baixo nível tecnológico, sendo necessário o aprimoramento de tecnologias alternativas de baixo custo capazes de melhorar os índices de produtividade dos sistemas produtivos.

Dentre as alternativas, a utilização de espécies de cobertura, principalmente as leguminosas, merece destaque por apresentar características agrônômicas interessantes, como ciclo curto, potencial produtivo e planta fixadora de nitrogênio (N), promovendo inúmeros benefícios que podem decorrer de seu uso, tanto econômicos quanto ambientais (Dalchiavon et al., 2011; Rocha et al., 2011). Essas espécies de leguminosas, apesar de possuírem menor relação C/N, podem ser incluídas no plano de rotação de culturas em sistema de plantio direto, pois apresentam vantagens em curto prazo, como a liberação de nutrientes durante a decomposição (Souza et al., 2012), caracterizando-se como alternativa promissora na suplementação de nitrogênio, além de promover aumento significativo na produtividade da cultura, conforme demonstrado por Araújo, 2021, Souza et al., 2012 e Torres et al., 2013.

Desta forma, os sistemas de manejo do solo que preconizam o uso de plantas de cobertura, em sucessão ou rotação com culturas, é uma prática promissora e vem ganhando espaço nas áreas agrícolas do Brasil, demonstrando grande eficiência em relação à cobertura e proteção do solo, aumento da produtividade e melhoria nas condições físicas, químicas e biológicas (Santos et al. 2010). No entanto, pesquisas com a inserção de plantas de cobertura na região amazônica, que resultam em aumento da produtividade, manutenção do equilíbrio do sistema e ciclagem de nutrientes, ainda são escassas e necessárias para a viabilização do sistema de plantio direto, com premissas ao aprofundamento do conhecimento científico e tecnológico destinado à produção agrícola, com menores custos pela redução do uso de fertilizantes químicos.

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a produção de biomassa e a absorção de nutrientes por diferentes plantas de cobertura, bem como constatar os efeitos da palhada sob a produtividade do feijoeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo no período de outubro de 2021 a Maio de 2022, na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, Campus Colorado do Oeste, no município de Colorado do Oeste, RO, cujas coordenadas geográficas são 13°06'S e 60°29'W, com altitude média de 407 metros. O clima segundo a classificação de Köppen é do tipo Awa, tropical quente e úmido com duas estações bem definidas. Dados médios de temperatura e precipitação pluviométrica durante a condução do experimento foram obtidos do banco de dados FieldClimate (Figura 1). Por tratar-se de pesquisa continuada, a caracterização química do solo foi realizada na em amostras coletadas na camada de 0-10 cm e 10-20 cm de profundidade (Tabela 1). A correção do solo foi realizada, trinta dias antes da primeira semeadura de plantas de cobertura (ano agrícola 2019), considerando a média dos resultados da análise do solo nas camadas de 0-10 cm, utilizando calcário dolomítico tipo

filler (PRNT 97%), com o objetivo de elevar a saturação por bases a 65%. A partir desta correção, as premissas experimentais foram para o plantio direto, sem revolvimento do solo, com cobertura permanente e semeadura na palha.

Tabela 1. Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento.

Camada (cm)	MO g/dm ⁻³	CO g/dm ⁻³	pH CaCl ₂	P mg/dm ⁻³	K mg/dm ⁻³	Ca	Mg	H+Al mmolc/dm ⁻³	Al	SB	CTC	V (%)
0-10	11,4	4,62	4,9	4	81,9	29	8	30	1	40	70	57
10-20	5,3	3,08	5,0	1	58,5	36	4	25	1	41	66	62

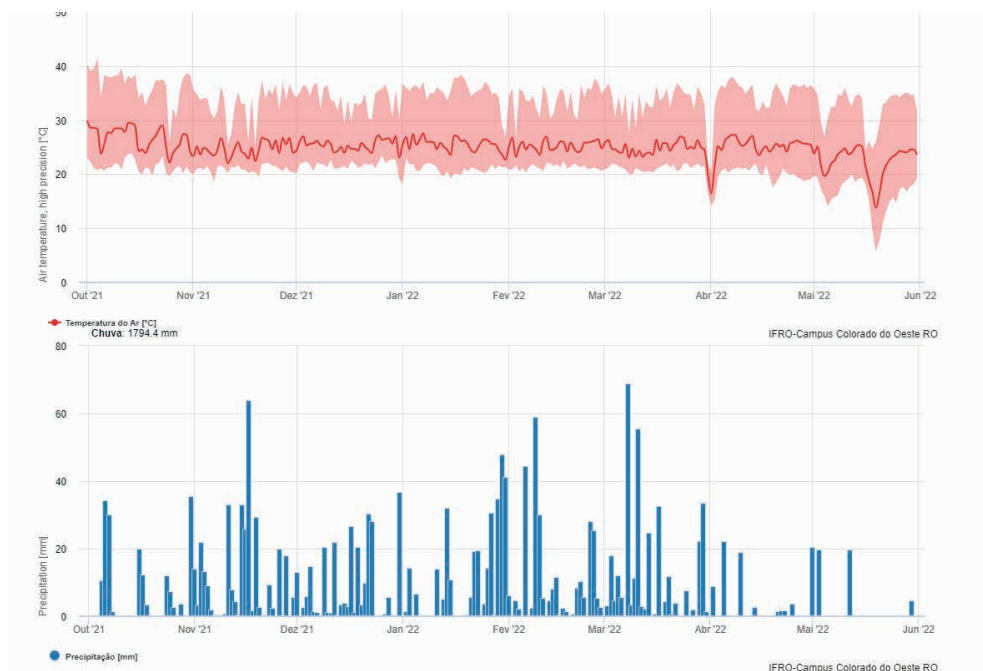


Figura 1. Temperatura (°C) e Precipitação (mm) mensais registradas na estação metereológica do Instituto Federal de Rondônia, Campus Colorado do Oeste, no período de outubro de 2021 a maio de 2022.

Fonte: Fieldclimate (2022).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. Na primeira etapa experimental os tratamentos foram constituídos pelo plantio de quatro espécies de cobertura (Crotalária ochroleuca, Feijão guandu, Mucuna cinza e Lab-lab); e na segunda etapa experimental os tratamentos foram constituídos pela semeadura do feijão sobre a palhada quatro espécies de cobertura (Crotalária ochroleuca, Feijão guandu, Mucuna cinza e Lab-lab) + testemunha, com cinco repetições.

Na primeira etapa, os sulcos de plantio para as plantas de cobertura foram abertos mecanicamente na profundidade de 5 cm, de acordo com espaçamento determinado, e a semeadura realizada manualmente. Os diferentes gastos de sementes adotados foram baseados em recomendações técnicas para as diferentes plantas de cobertura. Cada unidade experimental foi composta por 8 linhas de 5 metros de comprimento, espaçadas em 0,45 m entre linhas e 0,20 m entre plantas. Foram consideradas como parcela útil as seis linhas centrais, excluindo-se 0,5 m de cada extremidade da parcela.

Por ocasião do pleno florescimento, as plantas de cobertura foram dessecadas com utilização do herbicida glifosato (1.920 g ha^{-1} do i.a.) e, em seguida, manejadas com auxílio roçadeira manual na altura de 5 cm em relação à superfície do solo, visando à uniformização da área. No entanto, antes da dessecação foi avaliada a produção de massa seca pelas diferentes plantas de cobertura, utilizando um quadro ($0,50 \text{ m} \times 0,50 \text{ m}$) para demarcar a área da parcela, na qual foi coletada a amostra (rente ao solo), sendo, esta, pesada, e levada para estufa de circulação forçada de ar, a 65°C , até atingir peso constante, determinando-se a massa seca. Os teores de macronutrientes na massa seca das diferentes plantas de cobertura foram determinados de acordo com a metodologia descrita em Embrapa (2009).

Na segunda etapa, após 45 dias da dessecação das plantas de cobertura, sobre a palhada foi realizada a semeadura mecanizada do feijão-comum, cultivar BRS Estilo (de grão comercial carioca, arquitetura de planta semiereta, hábito de crescimento indeterminado tipo II), em espaçamento de 0,50 m entre linhas, com população de plantas de 200 000 mil/plantas/hectare considerando como parcela útil duas linhas centrais, excluindo-se 0,50 m de cada extremidade da parcela. Na semeadura, a adubação de base foi realizada na linha de plantio para o suprimento de 40 kg ha^{-1} de N e 60 kg ha^{-1} de K_2O , respectivamente. Todos os demais tratamentos culturais foram realizados conforme preconizado para a cultura do feijoeiro.

Por ocasião do pleno florescimento (50% das plantas em floração) e da maturidade fisiológica da cultura foi coletada uma planta por unidade experimental para determinação dos teores de macronutrientes na parte aérea. Todo o material vegetal coletado foi acondicionado em sacos de papel e secos em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65°C , por 72 horas, sendo posteriormente moídos e submetidos à digestão sulfúrica e digestão nitro-perclórica, utilizando a metodologia descrita em Embrapa (2009). Os componentes de produção, tais como, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, número de grãos por planta, peso de mil grãos e produtividades de grãos foram obtidas a partir das mensurações de seis plantas da área útil da parcela, na maturidade fisiológica. A produtividade foi determinada pelo peso de grãos da área útil em quilogramas, com correção para 13% de umidade, transformando os dados para kg ha^{-1} .

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro Wilk) e análise de variância pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade utilizando-se o programa estatístico Sisvar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as plantas de cobertura quanto à produção de massa seca e acúmulo de nutrientes no pleno florescimento, enquanto que os efeitos da palhada de diferentes plantas de cobertura sobre o feijoeiro foram evidenciados para número de grãos por planta, produtividade de grãos, teor de nitrogênio, cálcio e enxofre no pleno florescimento.

O cultivo de Feijão-guandu proporcionou os melhores resultados para produção de massa seca ($17,23 \text{ t.ha}^{-1}$), diferindo estatisticamente da *Crotalaria ochroleuca* ($15,99 \text{ t.ha}^{-1}$), *Mucuna cinza* ($8,83 \text{ t.ha}^{-1}$), e Lab-lab ($7,29 \text{ t.ha}^{-1}$), conforme mostra a Figura 2. A produção e posterior acréscimo de massa seca no solo podem causar alterações significativas na manutenção e/ou elevação dos teores de matéria orgânica do solo, e, por conseguinte nas características químicas, físicas e biológicas do solo, além de favorecer o desenvolvimento e a produtividade de espécies agrícolas em cultivos subsequentes (Andrade Neto et al., 2008; Boer et al., 2008).

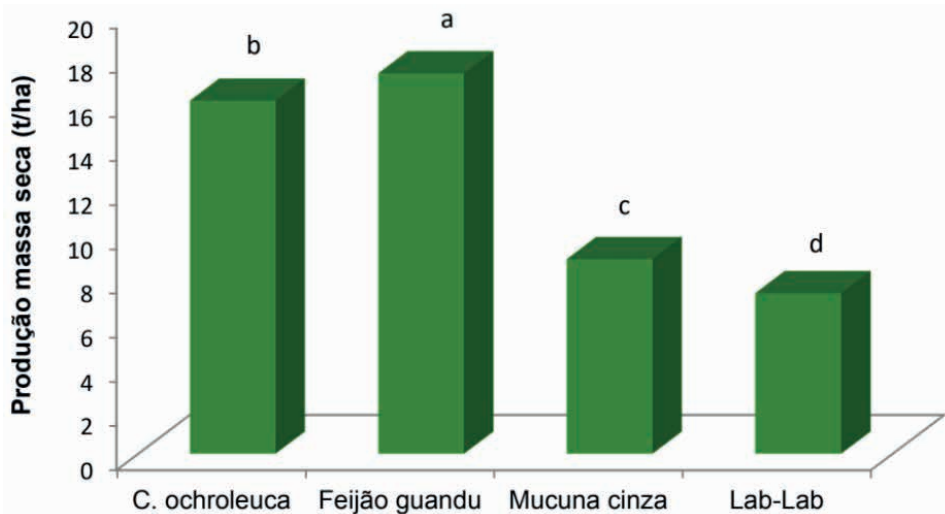


Figura 2. Produção de massa seca por diferentes plantas de cobertura. *Letras iguais na barra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A alta capacidade de produção de massa seca pela espécie Feijão-guandu correlaciona-se com a capacidade em absorver e acumular fósforo nas folhas em pleno florescimento; enquanto que a espécie Lab-lab apresentou melhor capacidade em acumular cálcio, diferindo estatisticamente das demais plantas de cobertura (Figura 3). A espécie Lab-lab é reconhecida como excelente espécie de cobertura por apresentar elevada capacidade de extração de nutrientes do solo mesmo com baixo aporte de massa seca, e resultados semelhantes ao encontrado na pesquisa foram obtidos por Araújo et al., (2021). Ressalta-se que apesar da quantidade de nitrogênio na massa seca no pleno florescimento entre as

plantas de cobertura não apresentar diferença estatística ($p>0,05$), a média foi de 36,06 g/kg, o que caracteriza suficiente para garantir uma eficaz ciclagem de nitrogênio e aumentar a sustentabilidade da produção agrícola Cabe salientar que a liberação do nitrogênio dos resíduos culturais está ligada a taxa de decomposição desses resíduos, passando o N da forma orgânica para inorgânica pela mineralização desses resíduos. Logo, é variável de acordo com a espécie de planta de cobertura.

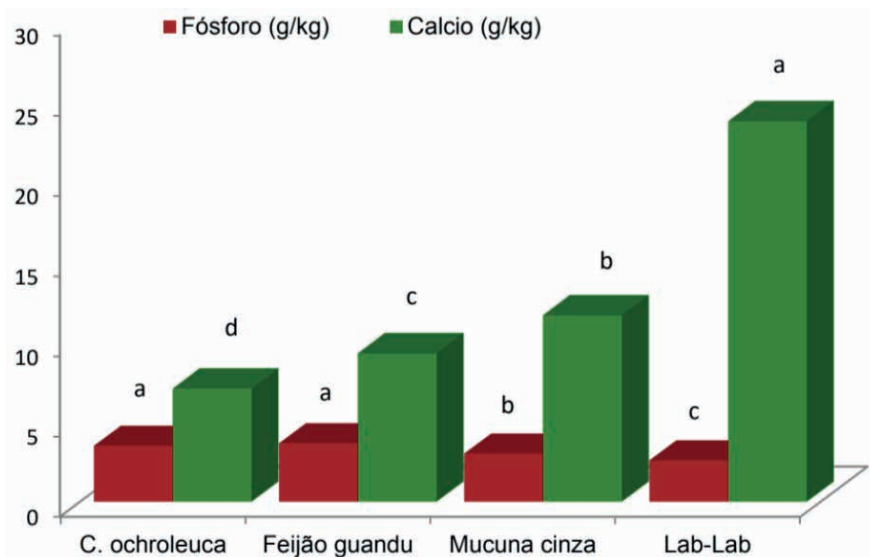


Figura 3. Teor de fósforo e cálcio no pleno florescimento de diferentes plantas de cobertura. *Letras iguais na barra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Para os parâmetros produtivos da cultura do feijão, observam-se efeitos significativos da palhada de *Crotalaria ochroleuca*, Feijão-guandu e *Mucuna cinza* sobre a produção de grãos por planta, e, por conseguinte na produtividade de grãos de feijão, não diferindo estatisticamente entre si (Figura 4A e 4B); enquanto que em relação à testemunha (cultura manejada sob plantio convencional) houve diferença estatística ($p\leq 0,05$). Todavia, a palhada das plantas de cobertura supracitadas sem qualquer adição de nutrientes e mesmo com decomposição rápida, devido à baixa relação C/N, foi capaz de fornecer nutriente a cultura do feijão, de forma a favorecer o seu crescimento e desenvolvimento, uma vez que os índices médios de produtividade do feijoeiro para segunda safra em condições de sequeiro foram na ordem de 2.165 kg/há, valor considerado superior a média regional e nacional de acordo com dados da Conab (2023), com incrementos de produtividade de 139% em relação a ausência de plantas de cobertura (testemunha). Embora a espécie Lab-lab apresente menor produção de palhada, a produtividade de grãos da cultura do feijão foi cerca 86% maior quando comparada a testemunha, ficando evidente que a correlação dessas plantas com o sistema de manejo do solo resulta em ganhos de produtividade das culturas.

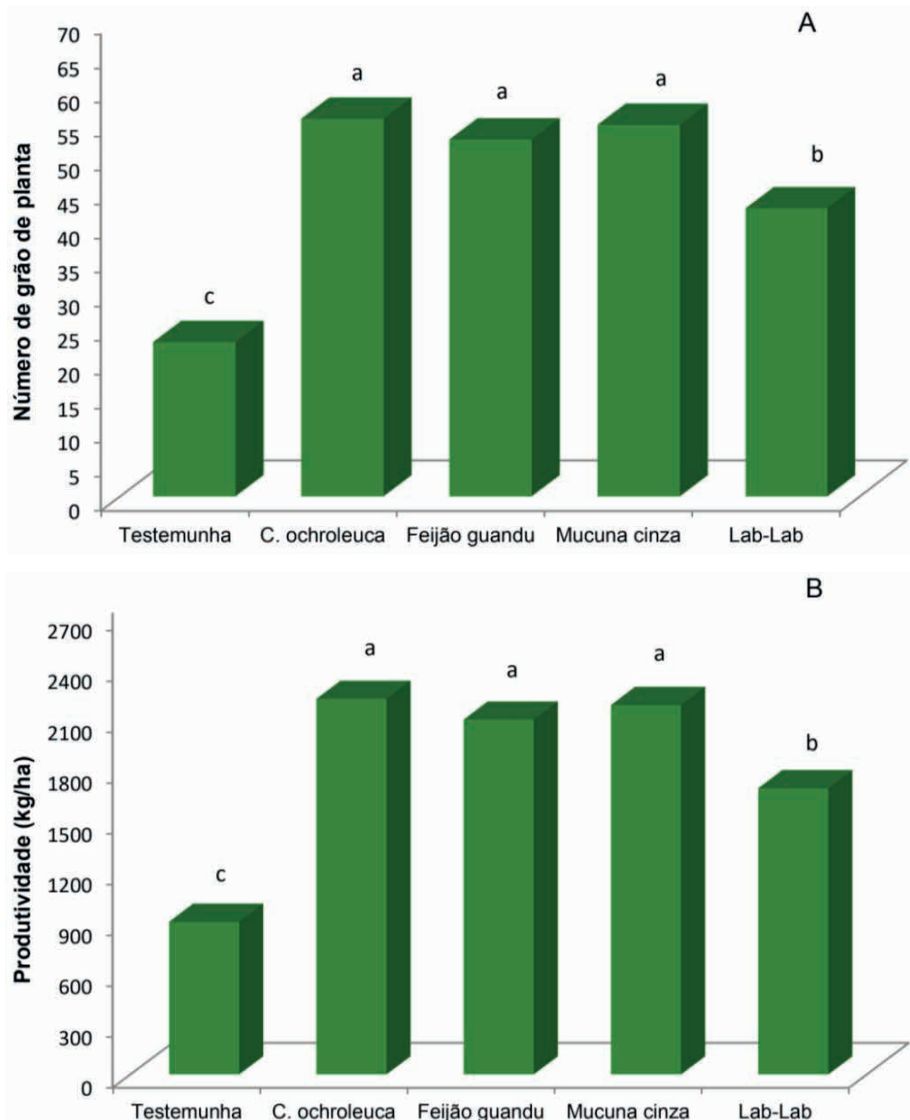


Figura 4. Número de grãos por planta (A) e produtividade do feijoeiro (B) cultivado na ausência e sobre a palhada de diferentes plantas de cobertura. *Letras iguais na barra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de N e Ca nos tecidos do feijoeiro no pleno florescimento não diferiram estatisticamente entre as espécies de plantas de cobertura, exceto para teor de Ca quando cultivado em sucessão a planta de cobertura Lab-lab, e houve diferença significativa quando comparado à testemunha (Figura 5). Os teores médios de N e Ca no feijoeiro em pleno florescimento cultivado em sucessão as diferentes plantas de cobertura foram de 33,69 g/kg e 21,13 g/kg, respectivamente, estando dentro da faixa considerada adequada por Malavolta et al. (2006), que varia entre 30-50 g/kg de N e 15-20 g kg⁻¹ de Ca.

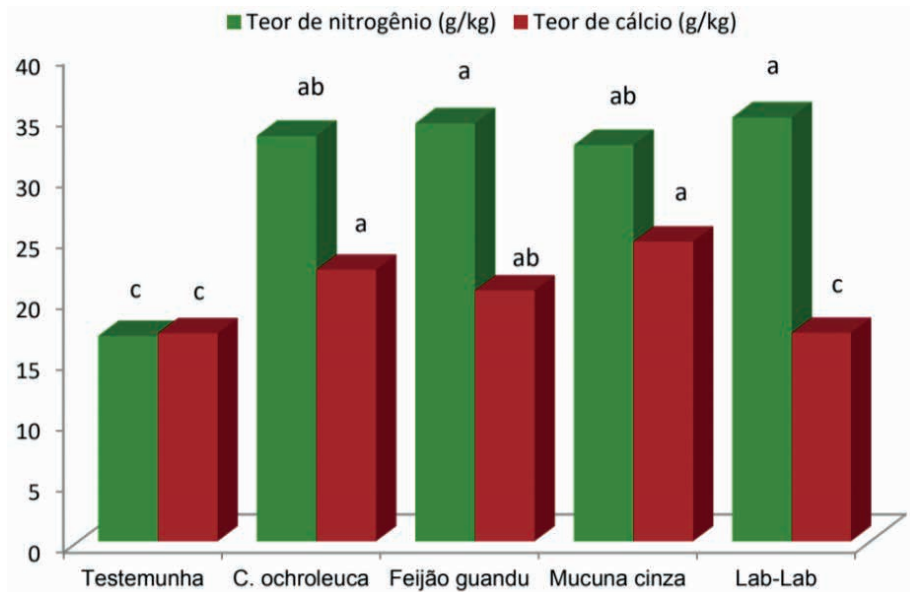


Figura 5. Teores de nutrientes em plantas de feijão no pleno florescimento cultivadas na ausência e sobre a palhada de diferentes plantas de cobertura. *Letras iguais na barra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

As espécies de plantas de cobertura apresentam grande potencial para produção de massa seca, contribuindo significativamente no estado nutricional e produtividade do feijoeiro cultivado em sucessão.

A utilização de plantas de cobertura em pré-safra a cultura do feijão representa uma estratégia sustentável para reduzir a dependência de fertilizantes sintéticos e aumentar a produtividade pela cultura.

REFERÊNCIAS

Andrade Neto, R.C., Góes, G.B., Miranda, N.O., Filho, E.T.D., Filho, F.S.T.P. (2008). Adubação verde: uma alternativa sustentável para o Brasil. *Revista Verde*, 3(1), 16-20. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7476761>

Araújo, E. O.; Freitas, D.S.; Catânio, J.V.F.; Moreira, A.O.; Ribeiro, J.A.S. Desempenho agrônomo do feijoeiro cultivado sob a palhada de plantas de cobertura submetidas à adubação fosfatada. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 14, e387101422125, 2021.

Boer, C.A., Assis, R.L., Silva, G.P., Braz, A.J.B.P., Barroso, A.L.L., Filho, A.C., Pires, F.R. (2008). Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região centro-oeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(2), 843-851. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200038>

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema de semeadura direta. *Bragantia*, Campinas, v. 70, n. 4, p.908-916, 2011.

CONAB. 2023. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2022/2023: Décimo Levantamento, Julho/2023, Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília, CONAB, v.10, n.10,110p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA – EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.- 2. Ed, Brasília., Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

ROCHA, P. R.; ARAÚJO, G. A. A.; CARNEIRO, J. E. S.; CECON, P. R.; LIMA P. C. Adubação molíbdica na cultura do feijão nos sistemas de plantio direto e convencional. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 9-17, 2011.

SANTOS, P. A.; SILVA, A. F.; CARVALHO, M. A. C.; CAIONE, G. Adubos verdes e adubação nitrogenada em cobertura no cultivo do milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 9, n. 2, p. 123-134, 2010.

SOUZA, L. C. D; SÁ, M. E; SILVA, M. P.; ABRANTES, F. L.; SIMIDU, H. M.; ARRUDA, N.; VALÉRIO FILHO, W. V. Efeito da adubação verde e época de semeadura de cultivares de feijão, sob sistema plantio direto, em região de cerrado. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 28, n. 5, p. 699-708, 2012.

TORRES, J. L.; SANTANA, M. J.; PIZOLATO NETO, A.; PEREIRA, M. G.; VIEIRA, D. M. S. Produtividade de feijão sobre lâminas de irrigação e coberturas de solo. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 29, n. 4, p.833-841, 2013.

ÉRICA DE OLIVEIRA ARAÚJO: Graduada em Engenharia Agrônômica pela Universidade do Estado do Mato Grosso (2008), Mestre em Agronomia- Produção vegetal pela Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul (2011), Doutora em Agronomia- Produção vegetal pela Universidade Federal da Grande Dourados (2014), Pós-doutorado em Produção vegetal pela Universidade Federal da Grande Dourados (2018). Atualmente é professora de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, Campus Colorado do Oeste, Departamento de Agropecuária. Tem experiência na área de Agronomia com o desenvolvimento de pesquisas nas linhas de fertilidade do solo, nutrição de plantas, manejo e conservação do solo.

<http://lattes.cnpq.br/4857160870850063>

<https://orcid.org/0000-0003-1996-4849>

JOSÉ VANOR FELINI CATÂNIO: Graduado em Engenharia Agrônômica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, Campus Colorado do Oeste (2017), Especialista em Gestão de Agronegócios e Legislação Ambiental pela Universidade Cândido Mendes (2018), Mestre em Produção Animal pela Universidade Brasil (2019). Atualmente é professor de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso, Campus Confresa, Departamento de Agronomia. Tem experiência na área de Agronomia com o desenvolvimento de pesquisas nas linhas de fertilidade do solo, nutrição de plantas, manejo e conservação do solo.

<http://lattes.cnpq.br/8579795894806111>

<https://orcid.org/0000-0001-9400-5555>





LIZIANNE DE MATOS EMERICK: Técnica em Química pelo Instituto Federal de Rondônia, Campus Ji-Paraná (2015), Graduada em Engenharia Agrônômica pelo Instituto Federal de Rondônia, Campus Colorado do Oeste (2021), MBA em Agronegócio pela Universidade Norte do Paraná (2022). Atualmente é Técnica Administrativa em Educação do Instituto Federal de Rondônia, Campus Colorado do Oeste e Mestranda em Agroecossistemas Amazônicos pela Universidade Federal de Rondônia. Tem experiência na área Química e Agronomia, com ênfase em química dos produtos naturais, manejo integrado de pragas e doenças em região tropical e fertilidade do solo.

<http://lattes.cnpq.br/5779770936746171>

<https://orcid.org/0000-0001-5414-5457>

PLANTAS DE COBERTURA





aliadas no
recondicionamento
químico do solo em
ambiente amazônico

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br



PLANTAS DE COBERTURA

aliadas no
recondicionamento
químico do solo em
ambiente amazônico

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

