

Taxas de cobertura e decomposição de adubos verdes na Amazônia Sul Ocidental

Cover crop rates and decomposition of green manure in Southwestern Amazon

Reginaldo Almeida Andrade¹, Fábio Régis de Souza², Adriano Reis Prazeres Mascarenhas³, Cleverson Agueiro de Carvalho⁴, Fábio Lucas de Mattia⁵, Ronier Felipe da Silva Oliveira⁶

RESUMO: O cultivo de plantas de cobertura na entressafra ou em rotação de culturas pode ser adotado como estratégia para melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo, além de preservá-lo contra os processos erosivos. Diversas espécies de gramíneas e leguminosas podem ser utilizadas para esta finalidade, e cada uma apresenta uma dinâmica peculiar em relação a velocidade de cobertura e persistência de sua palhada no solo. Objetivou-se com este trabalho analisar a dinâmica das taxas de cobertura e decomposição de plantas de cobertura e o efeito do sistema radicular dessas espécies sobre atributos físicos do solo. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com onze tratamentos e quatro repetições, constituídos pelas espécies de plantas de cobertura *Brachiaria brizantha* Hochst. (Stapf), *Crotalaria blevisflora*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria ochroleuca*, *Stylosanthes capitata* + *Stylosanthes macrocephala*, *Canavalia ensiformis*, *Cajanus cajan* cv. IAC/Fava-larga, *Cajanus cajan* cv. IAPAR 43, *Pennisetum glaucum*, *Mucuna cinereum* e *Mucuna aterrima*. As taxas de cobertura do solo foram avaliadas aos 20, 40, 60 e 80 dias após a semeadura. As taxas de decomposição dos resíduos vegetais foram analisadas em intervalos regulares de 15 dias, contadas a partir do corte das plantas. As espécies *Canavalia ensiformis*, *Mucuna cinereum* e *Mucuna aterrima* cobriram plenamente o solo aos oitenta dias após semeadura e o *Pennisetum glaucum* apresentou a maior persistência da palhada decorridos sessenta dias após o corte.

Palavras-chave: Física do solo. Gramíneas. Leguminosas. Plantas de cobertura.

ABSTRACT: The culture of cover crops in the off-season or in crop rotation may be a strategy to improve the physical, chemical and biological characteristics of the soil and prevent erosion processes. Several grass and leguminous species may be employed for such end. Each has a peculiar dynamic with regard to cover speed and persistence in the soil. The dynamics of cover rates and decomposition of cover crops and the effect of the species' root system on the soil's physical features are analyzed. Assay design was totally randomized, with eleven treatments and four replications, with cover crop species *Brachiaria brizantha* Hochst. (Stapf), *Crotalaria blevisflora*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria ochroleuca*, *Stylosanthes capitata* + *Stylosanthes macrocephala*, *Canavalia ensiformis*, *Cajanus cajan* cv. IAC/Fava-larga, *Cajanus cajan* cv. IAPAR 43, *Pennisetum glaucum*, *Mucuna cinereum* and *Mucuna aterrima*. Soil cover rates were evaluated at 20, 40, 60 and 80 days after seeding. Decomposition rates of vegetal wastes were analyzed at 15-day regular intervals as from the cutting of the crop. *Canavalia ensiformis*, *Mucuna cinereum* and *Mucuna aterrima* covered the soil totally after eighty days of seeding and *Pennisetum glaucum* had the greatest resistance after sixty days from cutting.

Keywords: Cover crops. Gramineae. Leguminosae. Soil's physical features.

Autor correspondente:

Reginaldo Almeida Andrade: reginaldo.andrade@unir.br

Recebido em: 25/04/2020

Aceito em: 29/01/2021

¹ Engenheiro Agrônomo, Mestre em Ciências Ambientais, Doutorando em Produção Vegetal. Universidade Federal de Rondônia, Departamento de Agronomia, Campus de Rolim de Moura (RO), Brasil.

² Doutor em Agronomia. Docente do Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Rolim de Moura (RO), Brasil.

³ Mestre em Ciências Ambientais, Doutorando em Ciência e Tecnologia da Madeira, Docente do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Rolim de Moura (RO), Brasil.

⁴ Mestre em Ciência Florestal, Doutorando em Produção Vegetal. Professor Substituto do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Acre (UFAC), Rio Branco (AC), Brasil.

⁵ Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Rolim de Moura (RO), Brasil.

⁶ Discente do Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Acre (UFAC), Rio Branco (AC), Brasil.

INTRODUÇÃO

As plantas de cobertura são potencialmente benéficas para os agroecossistemas agrícolas, podendo aumentar e estabilizar a produtividade das culturas de sucessão (ZHOU *et al.*, 2016). A utilização dessas espécies contribui para a conservação do solo e promove aumento de sua fertilidade através de alterações favoráveis nos ciclos do carbono e nitrogênio (LEÓN CASTRO; WHALEN, 2019).

Esses benefícios são potencializados em regiões tropicais, como a Amazônia brasileira, onde predominam solos ácidos, com baixa fertilidade natural, baixos teores de matéria orgânica e extensas áreas agricultáveis em avançado estágio de degradação (DIAS-FILHO, 2014).

As culturas de cobertura reduzem a lixiviação do nitrogênio, absorvendo e estocando esse nutriente na sua biomassa (ARONSSON *et al.*, 2016), que após ser decomposta e mineralizada, reduz a necessidade de aplicação de formas nitrogenadas inorgânicas nos cultivos de sucessão (ZHU *et al.*, 2014), além de reciclar outros nutrientes essenciais das camadas mais profundas do solo (HOOKER *et al.*, 2008).

Suas raízes criam bioporos que alteram as propriedades físicas do solo, gerando aumento da porosidade e redução da densidade e resistência mecânica à penetração (ALVES; SUZUKI, 2004), principalmente quando são utilizadas espécies da família das gramíneas, que têm sistema radicular fasciculado, bastante eficiente em promover a estruturação do solo (SALTON; TOMAZI, 2014).

A palhada residual, oriunda das culturas de cobertura, atua na supressão de plantas daninhas (WELLS *et al.*, 2014), mantém umidade no sistema, dado a redução das taxas evaporativas e previnem processos erosivos (BAETS *et al.*, 2011). Segundo Bertol *et al.* (2002) a cobertura de 20% do solo com resíduos vegetais pode reduzir em aproximadamente 50% as perdas de solo em relação ao mesmo local descoberto. Isso porque reduz o impacto das gotas das chuvas, a desagregação e arrasto das partículas do solo (SUZUKI; ALVES, 2006).

Dessa forma, a avaliação da taxa de cobertura do solo é uma ferramenta importante para indicação de espécies potenciais, capazes de cobrir e proteger o solo em um menor intervalo de tempo. No mesmo contexto, o conhecimento sobre a dinâmica da decomposição desse material vegetal é de suma importância, principalmente em sistema de plantio direto, que depende da persistência da palhada para manutenção do solo coberto durante todo o ano (TEIXEIRA *et al.*, 2011).

Diversas espécies das famílias Fabaceae (leguminosas) e Poaceae (gramíneas) são utilizadas como plantas de cobertura, e a escolha deve seguir critérios técnicos, como alta produtividade de biomassa, rusticidade e lenta decomposição (ARAÚJO *et al.*, 2015).

Algumas dessas espécies são exigentes em temperaturas, água e nutrientes, além de solos preparados para boa germinação das sementes e crescimento da planta. Entretanto, as condições de cultivo, após a colheita das safras, **não são favoráveis**. Por isso, é desejável que as plantas de cobertura sejam mais tolerantes às condições adversas de cultivo, como baixa fertilidade, seca e solos compactados, mas ainda garantam um crescimento vegetativo vigoroso (BRUST *et al.*, 2014).

A alta produção de biomassa, com elevada relação C/N, é uma das principais vantagens da utilização de espécies gramíneas (CHAVARRIA *et al.*, 2016). O milho e sorgo são rotineiramente utilizados como gramíneas de cobertura, produzem elevadas quantidades de fitomassa, com alto teor de fibras e mais carbono nos tecidos, apresentam decomposição mais lenta, proporcionando resíduos mais persistentes no solo (TEIXEIRA *et al.*, 2011).

Já as espécies leguminosas, que têm menor relação C/N, apresentam decomposição e liberação de nutrientes mais acelerada, principalmente de nitrogênio (MATHEIS *et al.*, 2006). Entretanto, espécies como

a crotalária juncea, guandu forrageiro e mucuna preta **são** viáveis para regiões onde os solos apresentam baixa fertilidade natural (ESPINDOLA *et al.*, 2005), como a Amazônia Brasileira. Além da proteção do solo, essas leguminosas atuam na fixação biológica de nitrogênio, aumentam o teor de matéria orgânica e fornecem alimento e energia para os micro-organismos, melhorando também as características biológicas do solo (CHAVARRIA *et al.*, 2016).

Apesar do conhecimento sobre os ciclos vegetativos e os processos de decomposição e liberação de nutrientes de diversas espécies de plantas de cobertura, são escassos os trabalhos em condições de alta temperatura e pluviosidade, como ocorrem na região amazônica. Assim, objetivou-se com este trabalho analisar as dinâmicas das taxas de cobertura e decomposição de resíduos de plantas de cobertura e o efeito do sistema radicular dessas espécies sobre atributos físicos do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre outubro de 2014 e março de 2015 na **área** experimental da Universidade Federal de Rondônia, *Campus* Rolim de Moura (RO), nas coordenadas geográficas 11°43' 18" S e 61°46' 00" W, Figura 1.

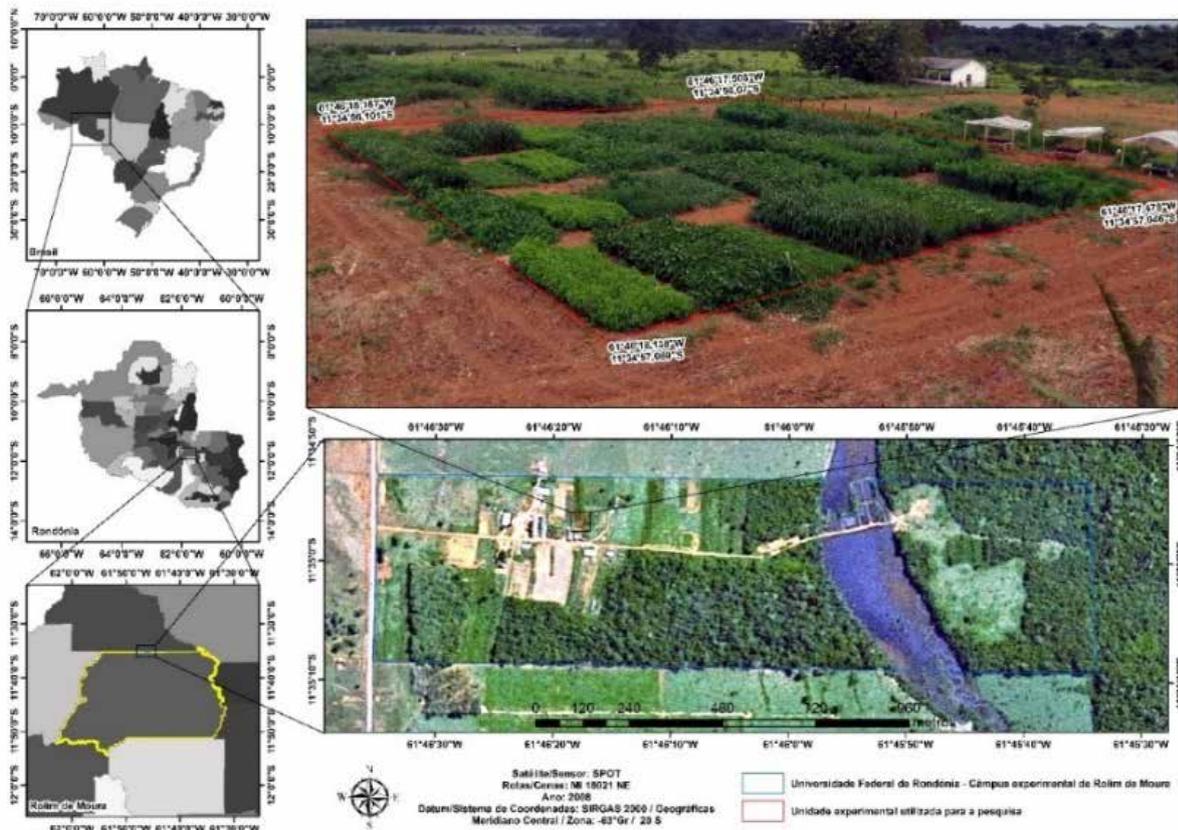


Figura 1. Localização da área de estudo no município de Rolim de Moura (RO)

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (Embrapa, 2018), de textura média argilosa com as seguintes características químicas: pH (H₂O): 5,4; 3,7 mg dm⁻³ de P; 0,26 cmol_c dm⁻³ de K; 4,1 cmol_c dm⁻³ de Ca; e 1,4 cmol_c dm⁻³ de Mg.

O clima local, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Am, caracterizado como tropical de monção (ALVARES *et al.*, 2013), com estação seca bem definida, temperatura média anual de 26 °C, precipitação média de 2.250 mm, e umidade relativa em torno de 85%. Os dados de precipitação e temperatura média mensal, ocorridos durante o experimento, estão descritos na Figura 2.

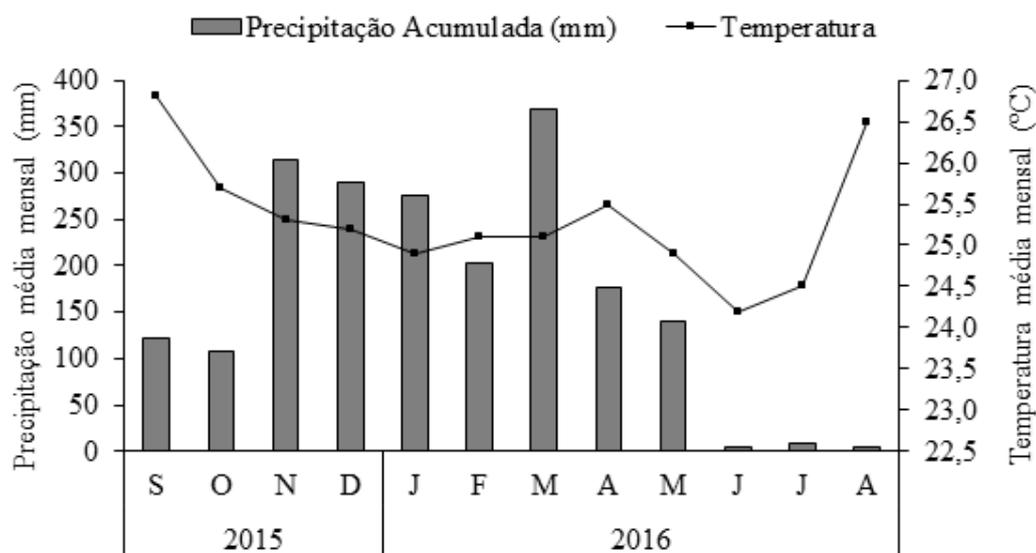


Figura 2. Precipitação e temperatura média mensal durante o período de condução do experimento

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com onze tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pelas seguintes espécies de plantas de cobertura: braquiária brizanta (*Brachiaria brizantha* Hochst. Stapf), crotalária breviflora (*Crotalaria breviflora*), crotalária juncea (*Crotalaria juncea*), Crotalária ochroleuca (*Crotalaria ochroleuca*), estilosantes campo-grande (*Stylosanthes capitata* + *Stylosanthes macrocephala*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), guandu-anão (*Cajanus cajan* cv. IAC/Fava-larga), guandu-comum (*Cajanus cajan* cv. Iapar 43), milheto (*Pennisetum glaucum*), mucuna-cinza (*Mucuna cinereum*) e mucuna-preta (*Mucuna aterrima*).

As parcelas experimentais foram de 2,0 m x 6,0 m, com espaçamento entre linhas de 0,25 m para o milheto e estilosantes campo grande e de 0,50 m para os demais tratamentos. As avaliações das taxas de cobertura do solo foram realizadas aos 20, 40, 60 e 80 dias após a semeadura, com a captura de imagens fotográficas a 4,0 m de altura, abrangendo toda a parcela experimental. Essas imagens foram posteriormente segmentadas para analisar apenas a área útil, equivalente a 4,0 m². A taxa de cobertura foi definida como o percentual de área de solo que cada espécie vegetal cobriu no intervalo entre as avaliações.

O processamento das imagens foi realizado com auxílio do *software* SIARCS 3.0, e os dados expressos em porcentagem, comparando o percentual de solo coberto no momento da avaliação em relação ao início do experimento, quando o solo estava totalmente descoberto.

As avaliações da massa fresca, altura de plantas, massa seca e relação massa fresca: massa seca foram realizadas na fase de floração, aos 90 dias após a semeadura. A altura de plantas foi determinada antes do corte, através da média aritmética de cinco plantas por parcelas, medindo-se do solo ao ápice da planta.

O corte foi realizado a 0,10 m do solo, e o material vegetativo acamado na parcela. Para quantificação da massa fresca, foram coletadas, com auxílio de um quadrado metálico de 0,5 m x 0,5 m, quatro subamostras

por parcela, totalizando 1,0 m², e o material imediatamente pesado em balança analítica, com precisão de 0,001 g. Posteriormente, para obtenção da massa seca, esse material vegetal foi seco em estufa com ventilação forçada de ar a 65 °C até atingir massa constante.

As avaliações das taxas de decomposição foram realizadas com auxílio de “*litter bags*” confeccionado em polietileno com 5 mm de malha. Cada *litter bag* recebeu 100 g do material vegetal seco, sendo posteriormente devolvidos à área experimental, alocando-se quatro recipientes por parcela, um para cada período de avaliação. As taxas de decomposição foram mensuradas aos 15, 30, 45 e 60 dias após o corte, utilizando o material remanescente de um *litter bag* por parcela. Os restos vegetais contidos nestes recipientes foram secos em estufa, e a taxa de decomposição obtida pela diferença entre a massa seca do período avaliado e a massa seca inicial. Adicionalmente foram mensurados a quantidade absoluta de biomassa decomposta (QD) (t ha⁻¹) aos 15, 30, 45 e 60 dias após o corte, utilizando a seguinte equação: $QD = TDCP/100 * MS$ onde TDCP é a taxa de decomposição do período avaliado e MS é a massa seca total da cultura (t ha⁻¹).

Para mensuração do efeito dos tratamentos sobre os atributos físicos, foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada nas entrelinhas de plantio, a 0,1 m das plantas, em três profundidades, 0,0 a 0,10 m, 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,30 m. Para fins de comparação dos atributos, um tratamento testemunha, com solo exposto, sem plantas de cobertura e sem controle da vegetação espontânea foi adicionado. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (100 cm³), a microporosidade e macroporosidade foram determinadas pelo método da mesa de tensão, conforme descrito pela Embrapa (2011).

Os dados obtidos foram submetidos à verificação da presença de *outliers* pelo teste de Grubbs, à normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk e homogeneidade das variâncias pelo teste de Cochran. Após verificação dos pressupostos, realizou-se a análise de variância pelo teste F para verificação de efeitos dos tratamentos, e, quando significativos, foram comparados pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A taxa de cobertura do solo variou ($p < 0,05$) em função da espécie cultivada em todos os períodos avaliados. Aos 20 dias após a semeadura (DAS), o feijão-de-porco (*C. ensiformis*) proporcionou a maior taxa cobertura, com 32%, seguido das mucunas cinza e preta (*M. cinereume* e *M. aterrima*), com 24,33% e 22,66% respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. Taxa de cobertura do solo de plantas de cobertura aos 20, 40, 60 e 80 dias após a semeadura (DAS) na Amazônia Sul Ocidental

(Continua)

Plantas de cobertura	Taxa de cobertura (%)			
	20 DAS	40 DAS	60 DAS	80 DAS
Braquiária brizanta	7,33 C	42,00 C	80,33 B	95,66 B
Crotalária ochroleuca	6,66 C	43,33 C	78,33 B	90,66 B
Crotalária blevisflora	5,66 C	41,00 C	83,66 B	94,33 B
Crotalária juncea	10,33 C	58,00 A	78,00 B	90,66 B
Estilosantes campo grande	5,66 C	38,00 C	72,00 B	94,66 B

(Conclusão)

Plantas de cobertura	Taxa de cobertura (%)			
	20 DAS	40 DAS	60 DAS	80 DAS
Feijão de porco	32,00 A	71,33 A	86,66 A	100,00 A
Guandu anão	6,66 C	37,00 C	82,66 A	91,66 A
Guandu comum	6,33 C	42,33 C	83,33 A	93,33 B
Milheto	6,66 C	52,00 B	84,00 A	91,33 B
Mucuna cinza	24,33 B	64,33 A	92,66 A	100,00 A
Mucuna preta	22,66 B	65,00 A	90,00 A	100,00 A
CV (%)	15,46	9,67	5,5	3,09

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem estatisticamente ($p < 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.

Carvalho *et al.* (2013) também observaram as potencialidades do feijão-de-porco, tanto em cultivos solteiros quanto em consórcio com gramíneas e leguminosas. Segundo os autores, essa espécie, em cultivos solteiros, apresenta taxas de cobertura do solo, até a ocasião do corte, superiores a outras leguminosas como guanduanão e a crotalária anagiroides. Missio *et al.* (2004), trabalhando com nove (09) espécies de leguminosas, também destacaram o feijão-de-porco como a espécie mais efetiva na cobertura do solo, com taxas de 50% aos 14 DAS e aos 84 DAS cobria totalmente a área. Além da rusticidade e adaptabilidade do feijão-de-porco, suas folhas apresentam área maior que as demais espécies testadas, favorecendo a cobertura do solo de forma mais rápida.

Na segunda avaliação, aos 40 DAS, a crotalária juncea, embora tenha apresentado desenvolvimento inicial lento, já cobria 58% do solo, se assemelhando estatisticamente ao feijão-de-porco e as mucunas preta e cinza. Esse fato pode estar associado a uma maior exigência nutricional dessa espécie, já que o solo do experimento não foi adubado e apresentava baixa fertilidade natural, principalmente de fósforo ($3,7 \text{ mg dm}^{-3}$), elemento essencial às plantas, cuja deficiência pode prejudicar o desenvolvimento inicial das plantas e o rendimento das culturas (PRESTON *et al.*, 2019).

Por outro lado, a cultura do milheto, aos 40 DAS apresentou 52% de taxa de cobertura, indicando ser uma espécie promissora, visto produzir elevada quantidade de massa seca, com alta relação C/N, resultando em uma palhada espessa e de decomposição lenta, mantendo o solo protegido por um período mais longo (CAIVO *et al.*, 2010). Porém, por apresentar hábito de crescimento ereto e folhas lanceoladas, a cobertura superficial do solo, principalmente nas entrelinhas, no início de seu desenvolvimento é prejudicada.

As espécies crotalária breviflora, guandu anão, guandu comum, braquiária brizanta e estilosantes campo grande apresentaram as menores taxas de coberturas nas duas primeiras avaliações, entretanto, entre os períodos de 40 e 60 DAS foram as que mostraram as maiores velocidades de cobertura, demonstrando que são espécies de desenvolvimento inicial lento, mas que após esta fase, apresentam alto potencial, mesmo em solos com baixa fertilidade natural.

Aos 60 DAS, as espécies crotalária breviflora, milheto, guandu anão e guandu comum atingiram resultados semelhantes às mucunas preta e cinza e também ao feijão-de-porco ($p > 0,05$), sendo as espécies com maior taxa de cobertura do solo aos 60 DAS.

Todas as espécies apresentaram taxas de cobertura acima de 90% aos 80 DAS, com destaque para a mucuna preta, mucuna cinza e feijão-de-porco, que cobriram totalmente o solo. A braquiária brizanta foi

influenciada pelo processo de acamamento após os 70 DAS, por isso, o processamento das imagens capturadas foi comprometido, apresentando falhas nas entrelinhas, contribuindo para a redução da área coberta.

O milheto, braquiária e guandu comum foram as espécies que apresentaram o maior aporte de massa fresca, com 86,0; 83,6; e 88,3 t ha⁻¹ respectivamente (Tabela 2).

Em virtude da alta disponibilidade de chuvas durante todo o experimento e faixas adequadas de temperaturas (Figura 2), esses valores são superiores aos encontrados por Finholdt *et al.* (2009), que obtiveram massa fresca de 58,1 t ha⁻¹ de milheto, 18,4 t ha⁻¹ de braquiária brizanta, 14,9 t ha⁻¹ de crotalária juncea e 9,5 t ha⁻¹ de feijão guandu.

As mucunas preta e cinza, como mencionado anteriormente, são excelentes opções para proteger o solo, com elevada taxa de cobertura já nos primeiros dias, entretanto, juntamente com o estilosantes campo grande, são espécies com baixo aporte de massa seca, com média de 8,3 t ha⁻¹. Além disso, apresenta hábito de crescimento trepador, podendo cobrir as demais espécies em seu entorno, por isso, deve ser utilizada com cautela em sistema de consórcio com outras espécies comerciais, como o café e frutíferas por exemplo.

Em relação ao acúmulo de massa seca da parte aérea, as espécies que mais produziram foram a crotalária juncea, com 18,5 t ha⁻¹, seguido de guandu comum e milheto com 16,65 t ha⁻¹ e 16,60 t ha⁻¹ respectivamente. O estilosantes campo grande e as mucunas preta e cinza foram as espécies que acumularam as menores quantidades de massa seca, explicado pelo porte vegetativo e crescimento em altura dessas espécies, que é sensivelmente inferior ($p < 0,05$) às demais avaliadas (Tabela 2).

Tabela 2. Produção de massa fresca, massa seca, altura de plantas e relação massa fresca:massa seca de plantas de cobertura na Amazônia Sul Ocidental

Plantas de cobertura	Massa Fresca (t ha ⁻¹)	Massa seca (t ha ⁻¹)	Altura de plantas (m)	Relação MF:MS
Braquiária brizantha	86,00 A	13,36 C	1,15 E	6,41B
Crotalária blevisflora	68,80 C	10,46 E	0,89 F	6,57 B
Crotalária juncea	77,95 B	18,50 A	2,45 A	4,21 C
Crotalária ochroleuca	75,40 B	10,95 E	1,67 D	7,07 B
Estilosantes campo grande	52,00 C	7,90 G	0,59 H	6,25 B
Feijão-de-porco	61,20 C	9,97 F	0,79 G	6,13 B
Guandu anão	56,20 C	12,00 D	1,66 D	4,70 C
Guandu comum	88,30 A	16,65 B	1,86 C	5,29 C
Milheto	83,60 A	16,60 A	2,20 B	5,05 C
Mucuna-cinza	64,50 C	8,80 G	0,94 F	7,34 B
Mucuna-preta	72,39 B	8,20 G	0,89 F	8,79 A
CV (%)	11,65	5,39	8,3	9,84

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem estatisticamente ($p < 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.

A crotalária juncea apresentou também a menor relação MF:MS, fato que explica porque, mesmo tendo valores inferiores de massa fresca que a braquiária e o milheto, tenha maior valor para massa seca. Embora não tenham sido realizadas análises bromatológicas, infere-se que este fato esteja associado à presença

de fibras de alta densidade em seus tecidos, visto que esta espécie também é utilizada na indústria têxtil, fornecendo fibras liberianas semelhante a juta e celulose (AZZINI *et al.*, 1981).

A mucuna preta é a espécie com maior relação MF:MS, ou seja, possui baixa produção de massa seca, sendo boa alternativa para cobertura do solo, visto se estabelecer rapidamente, entretanto, para sistemas de plantio direto não é o mais indicado, pois a quantidade de material aportado e a persistência de sua palhada no solo são baixos.

A estrutura das plantas é fator importante, interferindo diretamente na quantidade de biomassa acumulada. Dessa forma, espécies com morfologia de crescimento em altura superior acabam produzindo mais fitomassa. A crotalária juncea foi a espécie que apresentou a maior altura de planta ($p < 0,05$), com 2,45 m, dessa forma é natural que apresente valores de biomassa superiores às mucunas preta e cinza, feijão-de-porco, crotalária breviflora e estilosantes campo grande com as menores alturas observadas (Tabela 2).

Aos 15 dias após o corte (DAC), o feijão-de-porco apresentou a maior taxa de decomposição ($p < 0,05$), com 42,09% (Tabela 3). De sua massa seca inicial, 9,97 t ha⁻¹, 4,19 t ha⁻¹ já havia sido decomposta nessa primeira avaliação. Os resultados obtidos nas três avaliações seguintes, aos 30, 45 e 60 DAC, foram similares, com destaque para a análise dos 60 DAC, onde mais de 86% da biomassa dessa cultura já estavam decompostas, restando apenas frações grosseiras do material vegetal como talos e pecíolos de folhas.

Tabela 3. Taxa de decomposição dos resíduos, quantidade decomposta (QD) e quantidade decomposta acumulada (QDA) dos tecidos vegetais de plantas de cobertura nas condições da Amazônia Sul Ocidental

Plantas de cobertura	Decomposição dos resíduos							
	15 dias (%)	QD (t ha ⁻¹)	30 dias (%)	QD (t ha ⁻¹)	45 dias (%)	QD (t ha ⁻¹)	60 dias (%)	QD (t ha ⁻¹)
Braquiária brizantha	24,99 C	3,33	45,91 C	6,13	56,54 B	7,55	70,63 C	9,43
Crotalária breviflora	36,86 B	3,85	48,53 B	5,07	63,32 A	6,62	78,56 A	8,21
Crotalária juncea	32,34 B	5,98	42,83 C	7,92	53,12 A	11,67	75,30 B	13,93
Crotalária ochroleuca	33,40 B	3,65	50,06 B	5,47	70,36 A	7,7	81,46 A	8,91
Estilosantes campo grande	25,66 C	2,02	34,37 D	2,43	62,06 A	4,9	82,70 A	6,53
Feijão-de-porco	42,09 A	4,19	53,96 A	5,37	71,53 A	7,13	86,36 A	8,61
Guandu-anão	22,65 C	2,71	31,38 E	3,76	53,96 B	6,47	72,73 B	8,72
Guandu-comum	31,92 B	5,31	36,11 D	6,01	55,03 B	9,16	69,53 B	11,57
Milheto	17,00 D	2,82	30,12 B	4,99	49,56 B	8,22	63,43 B	10,51
Mucuna-cinza	34,29 B	3,01	42,67 C	3,75	73,26 A	6,64	84,73 A	7,45
Mucuna-preta	34,16 B	2,8	41,76 C	3,34	70,93 A	5,81	81,96 A	6,72
CV (%)	6,94		5,63		8,31		7,77	

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente ($p > 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.

As observações referentes à dinâmica de decomposição dos resíduos dessa espécie sugerem sua indicação em situações que necessitem de rápida disponibilidade de nutrientes, principalmente para culturas exigentes em nitrogênio, e de ciclo rápido, como o milho e o feijão por exemplo.

Aos 15 DAC, o milho foi a espécie que apresentou a menor taxa de decomposição, com 17%, seguido do guandu anão, braquiária e estilosantes campo grande, com 22,65%, 24,99% e 25,66% respectivamente.

Resultados similares foram observados aos 30 DAC, sendo o milheto, novamente, a espécie com a menor taxa de decomposição, 30,12%, seguido por estilosantes campo grande e guandu comum com 34,37% e 36,11% respectivamente. Boer *et al.* (2008), avaliando a decomposição da biomassa de plantas de cobertura, indicaram o milheto para a formação de sistemas de plantio direto, visto que aos 240 DAC 17,3% da palhada dessa espécie ainda persistia no solo.

Nas duas últimas avaliações, os resultados foram mais homogêneos, e os valores de decomposição dividiram as espécies em dois grupos distintos ($p < 0,05$). O primeiro foi composto por crotalária breviflora, crotalária ochroleuca, mucuna preta, mucuna cinza, estilosantes campo grande e feijão-de-porco que apresentaram as mais altas taxas de decomposição, ao passo que o segundo grupo, formado pelas demais espécies, são as que possuem a palhada mais persistente.

A rápida decomposição da palhada das espécies leguminosas é explicada pela relação C/N desses materiais, que de forma geral é baixa, persistindo pouco no solo. Além disso, a elevada temperatura local e a alta pluviosidade podem ter contribuído para acelerar o processo de decomposição dessas espécies (ACOSTA *et al.*, 2014).

Já as gramíneas, como a braquiária e o milheto, possuem alta relação C/N e elevado teor de lignina, levando mais tempo para serem decompostas (DUARTE JÚNIOR; COELHO, 2008). Ziech *et al.* (2015) mencionam que as gramíneas, em cultivos solteiros ou consorciados, deixam palhada no solo por longo tempo, favorecendo a proteção contra os efeitos erosivos das chuvas e dos ventos. Dessa forma, são boas opções para regiões quentes e úmidas como a Amazônia brasileira, onde a decomposição e ciclagem de nutrientes são mais rápidas.

Na última avaliação, aos 60 DAC, a crotalária breviflora, crotalária ochroleuca, mucuna preta, mucuna cinza, estilosantes campo grande e feijão-de-porco foram as espécies com maior taxa de decomposição, não diferindo entre si ($p > 0,05$). Em termos relativos, fica evidente que essas espécies apresentaram as mais altas taxas de decomposição, entretanto, analisando os valores absolutos ($t\ ha^{-1}$) (Tabela 3), nota-se que a crotalária juncea é aquela que tem as maiores quantidades de fitomassa decomposta nos quatro períodos de avaliação, iniciando com $5,98\ t\ ha^{-1}$ aos 15 DAC e terminando com $13,98\ t\ ha^{-1}$ acumulados aos 60 DAC.

O tempo decorrido entre a semeadura e o corte não foi suficiente para os sistemas radiculares das espécies avaliadas alterarem os atributos físicos do solo, que não diferiram entre os tratamentos ($p > 0,05$), assim como do solo com vegetação espontânea, em nenhuma das três profundidades analisadas. A estatística descritiva com os valores mínimos, médios e máximos está descrita na Tabela 4.

Tabela 4. Médias da densidade do solo (DS), microporosidade (MI), macroporosidade (MA) e porosidade do solo (PT) nas profundidades 0,0 a 0,10 m; 0,10 a 0,20 m; e 0,20 a 0,30 m

(Continua)

Profundidade	Valores	Atributos físicos				CV (%)
		DS ($g\ cm^{-3}$)	MI ($m^3\ m^{-3}$)	MA ($m^3\ m^{-3}$)	PT ($m^3\ m^{-3}$)	
0-0,1 m	Máximo	1,52	0,58	0,48	0,796	8,31
	Médio	1,26	0,34	0,19	0,534	9,74
	Mínimo	1	0,24	0,1	0,376	6,39
0,1-0,2 m	Máximo	1,54	0,47	0,23	0,578	16,9
	Médio	1,29	0,34	0,14	0,487	12,2
	Mínimo	0,93	0,22	0,07	0,335	9,41

(Conclusão)

Profundidade	Valores	Atributos físicos				CV (%)
		DS (g cm ⁻³)	MI (m ³ m ⁻³)	MA (m ³ m ⁻³)	PT (m ³ m ⁻³)	
0,2-0,3 m	Máximo	1,58	0,43	0,22	0,557	12,9
	Médio	1,33	0,34	0,12	0,464	11,3
	Mínimo	1,09	0,25	0,05	0,325	7,98

DS: densidade do solo; MI: microporosidade; MA: macroporosidade; PT: porosidade total; CV: coeficiente de variação.

A densidade média do solo, nas três profundidades avaliadas (0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m), foram respectivamente 1,26 g cm⁻³, 1,29 g cm⁻³ e 1,33 g cm⁻³, valores tidos como adequados por Reichert *et al.* (2003), que consideram 1,55 g cm⁻³ como densidade crítica para o bom crescimento do sistema radicular em solos com textura média.

A microporosidade média foi a mesma em todas as camadas, 0,34 m³ m⁻³, e a macroporosidade e porosidade total decresceram nas camadas subsuperficiais, demonstrando correlação inversa com a densidade do solo. Essa redução do volume total de poros está associada à redução da macroporosidade, já que não se constataram diferenças na microporosidade. Segundo Kiehl (1979), valores de porosidade total de 0,50 m³ m⁻³ são ideais para o desenvolvimento das plantas, e a distribuição de poros por tamanho devem ser representadas por 1/3 de macroporos e 2/3 de microporos.

O volume total médio de poros na camada de 0-0,1 m apresentou valores adequados, acima de 50%, e nas camadas de 0,1-0,2 e 0,2 a 0,3 m, abaixo do ideal, constatando-se leve compactação que pode comprometer o desenvolvimento radicular das culturas de sucessão.

Segundo Lima *et al.* (2013) as mudanças nos atributos físicos ocorrem a longo prazo, à medida que aumentam a quantidade de resíduos vegetais na superfície e os estoques de carbono orgânico no solo. Sá *et al.* (2004) mencionam que no sistema plantio direto, onde as raízes das plantas cultivadas e sua palhada residual são responsáveis por manter a qualidade física do solo, os principais benefícios para o solo são obtidos após a fase de consolidação do sistema de plantio, que pode variar entre 11 e 20 anos, quando ocorre aumento dos teores de carbono orgânico, aumento da capacidade de troca catiônica e estabilização na densidade e porosidade do solo.

4 CONCLUSÕES

O feijão-de-porco, mucuna preta e mucuna cinza são espécies de **rápido** desenvolvimento vegetativo, cobrindo o solo no menor tempo entre as culturas avaliadas.

A crotalária juncea produz a maior quantidade de massa seca, entretanto, mais de 75% sofre decomposição até os 60 dias após o corte.

As espécies crotalária breviflora, crotalária ochroleuca, feijão-de-porco e mucunas preta e cinza possuem as maiores taxas de decomposição até os 60 dias, e o milheto a maior persistência de palhada.

O sistema radicular das plantas de cobertura, avaliadas até os 90 dias após a semeadura, não alterou os atributos físicos de Latossolos Vermelho Amarelo distrófico nas condições edafoclimáticas da Amazônia Sul Ocidental.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, J. D. A.; AMADO, T. J. C.; SILVA, L. S.; SANTI, A.; WEBER, M. A. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v. 14, n. 5, p. 801-809, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-8478.2014005.000002>.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. E. A. S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 26, n. 1, p. 27-34, 2004. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v26i1.1953>.

ARAÚJO, L. S.; CUNHA, P. C. R.; SILVEIRA, P. M.; SOUSA NETO, M.; OLIVEIRA, F. C. Potencial de cobertura do solo e supressão de tiririca (*Cyperus rotundus*) por resíduos culturais de plantas de cobertura. *Revista Ceres*, v. 62, n. 5, p. 483-488, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562050009>.

ARONSSON, H.; HANSEN, E. M.; THOMSEN, I. K.; LIU, J.; OGAARD, A. F.; KAENKAENEN, H.; ULEN, B. The ability of cover crops to reduce nitrogen and phosphorus losses from arable land in southern Scandinavia and Finland. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 71, n. 1, p. 41-55, 2016. DOI: <https://doi.org/10.2489/jswc.71.1.41>.

AZZINI, A.; SALGADO, A. L. B.; TEIXEIRA, J. P. F. Curva de maturação da crotalária juncea em função da densidade básica do caule. *Bragantia*, v. 40, n. 1, p. 1-10, 1981. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87051981000100001>.

BAETS, S. de; POESEN, J. J.; MEERSMANS, J. J.; SERLET, L. L. Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. *Catena*, v. 85, n. 3, p. 237-244, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.01.009>.

BERTOL, I.; SCHICH, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para milho e aveia preta em rotação com outras culturas em três tipos de preparo de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, n. 2, p. 545-552, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-0683.2002000200029>.

BOER, C. A.; ASSIS, R.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. B.; BARROSO, A. L.; CARGNELUTTI FILHO, A. A.; PIRES, F. R. Biomass, decomposition and soil cover by residues of three plant species in central-western Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 2, p. 843-851, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200038>.

BRUST, J.; CLAUPEIN, W.; GERHARDS, R. Growth and weed suppression ability of common and new cover crops in Germany. *Crop Protection*, v. 63, n. 3, p. 1-8, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.04.022>.

CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALÃO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milheto e sorgo em três épocas de corte. *Bragantia*, v. 69, n. 1, p. 77-86, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000100011>.

CARVALHO, W. P.; CARVALHO, G. J.; ABBADE NETO, D. O.; TEIXEIRA, L. G. V. Desempenho agrônomo de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no período de pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 2, p. 157-166, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000200005>.

CHAVARRIA, D. N.; VERDENELLI, R. A.; SERRI, D. L.; RESTOVICH, S. B.; ANDRIULO, A. E.; MERILES, J. M.; VARGAS-GIL, S. Effect of cover crops on microbial community structure and related enzyme activities and macronutrient availability. **European Journal of Soil Biology**, v. 76, n. 3, p. 74-82, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2016.07.002>.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa, 2014. 36p. (Embrapa Amazônia Oriental).

DUARTE JÚNIOR, J. B.; COELHO, F. C. Adubos verdes e seus efeitos no rendimento da cana-de-açúcar em sistema de plantio direto. **Bragantia**, v. 67, n. 3, p. 723-732, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000300022>.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 355p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2011, 225p. (Solos).

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L.; ABOUD, A. D. S. **Adubação verde com leguminosas**. Brasília: Embrapa, 2005. 49p.

FINHOLDT, R. S.; ASSIS, A. M.; BISINOTTO, F. F.; AQUINO JÚNIOR, V. M.; SILVA, L. O. Avaliação da biomassa e cobertura do solo de adubos verdes. **Fazu em Revista**, n. 6, p. 11-52, 2009. DOI: <https://www.fazu.br/ojs/index.php/fazuemrevista/article/viewArticle/36>.

HOOKE, K. V.; COXON, C. E.; HACKETT, R. R.; KIRWAN, L. E.; O'KEEFFE, E. E.; RICHARDS, K. G. Evaluation of cover crop and reduced cultivation for reducing nitrate leaching in Ireland. **Journal of Environmental Quality**, v. 37, n. 1, p. 138-145, 2008. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0547>.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia, Relações solo-planta**. São Paulo: Agrônomo Ceres, 1979. 264p.

LEÓN CASTRO, L. X.; WHALEN, J. K. Nitrogen supply from green manure enhanced with increased tillage frequency: a note. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 2, p. 935-941, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.08.0471>.

LIMA, J. S. S.; SILVA, J. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo vermelho-amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agrônoma**, v. 44, n. 1, p. 16-23, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-6902013000100003>.

MATHEIS, H. A. S. M.; AZEVEDO, F. A. de; VICTÓRIA FILHO, R. Adubação verde no manejo de plantas daninhas na cultura de citros. **Laranja**, v. 27, p. 101110, 2006. DOI: <https://citrusrtr.ccsm.br/article/5e57c9a60e88251f545d5a13>.

MISSIO, L. E.; DEBIASI, H.; MARTINS, J. D. Comportamento de leguminosas para cobertura do solo, adubação verde e controle de plantas daninhas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 10, n. 1-2, p. 129-136, 2004. DOI: <http://revistapag.agricultura.rs.gov.br/ojs/index.php/revistapag/article/view/307>.

PRESTON, C. L.; RUIZ DIAZ, D. A.; MENGEL, D. B. Corn response to long-term phosphorus fertilizer application rate and placement with strip-tillage. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 1, p. 841-850, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.07.0422>.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista de Ciência Ambiental**, v. 27, p. 29-48, 2003.

SÁ, J. C. D. M.; CERRI, C.; PICCOLO, M.; FEIGL, B.; BUCKNER, J.; FORNARI, A.; SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; VENZKEFILHO, S.; PAULETI, V. O plantio direto como base do sistema de produção visando o sequestro de carbono. **Revista Plantio Direto**, n. 84, p. 45-61, 2004.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. **Sistema radicular de plantas e qualidade do solo**. Dourados: Embrapa, 2014. 6p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 198).

SUZUKI, L. E. A. S.; ALVES, M. C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, v. 65, n. 1, p. 121-127, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052006000100016>.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milho e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 867-876, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000300021>.

WELLS, M. S.; REBERG-HORTON, S. C.; MIRSKY, S. B. Cultural strategies for managing weeds and soil moisture in cover crop based no-till soybean production. **Weed Science**, v. 62, n. 3, p. 501-511, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1614/WS-D-13-00142.1>.

ZHOU, C.; ZHAO, Z.; PAN, X.; HUANG, S.; TAN, X.; WU, J.; SHI, Q. Integration of growing milk vetch in winter and reducing nitrogen fertilizer application can improve Rice yield in double-rice cropping system. **Rice Science**, v. 23, n. 3, p. 132-143, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2015.11.003>.

ZHU, B.; YI, L.; HU, Y.; ZENG, Z.; LIN, C.; TANG, H.; YANG, G.; XIAO, X. Nitrogen release from incorporated ¹⁵N-labelled Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) residue and its dynamics in a double rice cropping system. **Plant Soil**, v. 374, n. 1, p. 331-344, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1808-88>.

ZIECH, A. R. D.; CONCEIÇÃO, P. C.; LUCHESE, A. V.; BALIN, N. M.; CANDIOTTO, G.; GARMUS, T. G. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 374-382, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000500004>.