



Atributos do Solo e Produtividade de Milho em Sistema Agroecológico após Adubação Verde e Fertilizantes Orgânicos



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Arroz e Feijão
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
62**

**Atributos do Solo e Produtividade de
Milho em Sistema Agroecológico após
Adubação Verde e Fertilizantes Orgânicos**

*Flávia Aparecida de Alcântara
Luís Fernando Stone
Alexandre Bryan Heinemann
Éder de Souza Martins*

Embrapa Arroz e Feijão
Santo Antônio de Goiás, GO
2022

Embrapa Arroz e Feijão
Rod. GO 462, Km 12, Zona Rural
Caixa Postal 179
75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO
Fone: (62) 3533-2105
Fax: (62) 3533-2100
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê de Publicações da
Embrapa Arroz e Feijão

Presidente
Roselene de Queiroz Chaves

Secretário-Executivo
Luiz Roberto Rocha da Silva

Membros
Ana Lúcia Delalibera de Faria, Luís Fernando Stone, Newton Cavalcanti de Noronha Júnior, Tereza Cristina de Oliveira Borba

Supervisão editorial
Luiz Roberto Rocha da Silva

Revisão de texto
Luiz Roberto Rocha da Silva

Normalização bibliográfica
Ana Lúcia Delalibera de Faria

Projeto gráfico da coleção
Fabiano Severino

Editoração eletrônica
Fabiano Severino

Fotos da capa
*Flávia Aparecida de Alcântara
Sebastião José de Araújo*

1ª edição
Publicação digital - PDF (2022)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Arroz e Feijão

Atributos do solo e produtividade de milho em sistema agroecológico após adubação verde e fertilizantes orgânicos / Flávia Aparecida de Alcântara ... [et al.]. - Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2022.
27 p. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9601 ; 62)

1. Milho - Manejo agroecológico. 2. Adubo verde. 3. Compostagem.
I. Alcântara, Flávia Aparecida de. II. Stone, Luís Fernando. III. Heinemann, Alexandre Bryan. IV. Martins, Éder de Souza. V. Embrapa Arroz e Feijão. VI. Série.

CDD 581.7

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução.....	7
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	13
Conclusões.....	22
Referências	23

Atributos do Solo e Produtividade de Milho em Sistema Agroecológico após Adubação Verde e Fertilizantes Orgânicos

Flávia Aparecida de Alcântara¹

Luís Fernando Stone²

Alexandre Bryan Heinemann³

Éder de Souza Martins⁴

Resumo - Apesar de práticas importantes para o manejo agroecológico do solo, há poucos estudos sobre a associação da adubação verde e do uso de fertilizantes orgânicos nos sistemas. Este trabalho objetivou avaliar os efeitos dessa associação sobre o solo e o rendimento de grãos de milho. Foi conduzido um experimento em delineamento de blocos ao acaso, parcelas subdivididas e quatro repetições, em duas safras. Nas parcelas foram testadas crotalária juncea, feijão-de-porco e mucuna-anã. Nas subparcelas, além da testemunha, foram avaliados o composto orgânico enriquecido com termofosfato, o enriquecido com remineralizador e o enriquecido com termofosfato e remineralizador. Coletaram-se amostras de solo (0-0,10 m) antes da primeira e depois da segunda safra. Os atributos físicos e biológicos não foram afetados pelos tratamentos, mas o teor de fósforo aumentou com a associação crotalária — composto enriquecido com remineralizador. Quanto ao solo inicial, houve redução do teor de matéria orgânica e aumento da densidade. O rendimento na primeira safra destacou-se após feijão-de-porco, mas não foi afetado pelos tratamentos na segunda.

Termos para indexação: Adubos verdes, compostagem, remineralizador, *Zea mays* L.

¹ Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

² Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

³ Engenheiro-agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

⁴ Geólogo, doutor em Geologia, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

Soil Attributes and Maize Yield in Agroecological System After Green Manuring and Organic Fertilizers

Abstract - Despite its importance for agroecological soil management, the combination of green manures and organic composts is still little studied in these systems. This work evaluated the effects of such combination on the soil and yield of maize. It was a randomized block design, split plot and four replications for two seasons. The plots included sunn hemp, jack bean and velvet bean. The subplots, in addition to the control, included organic compost enriched with thermophosphate, organic compost enriched with remineralizer, and organic compost enriched with thermophosphate and remineralizer. Soil samples (0-0.10 m) were collected before the first and after the second harvest. Physical and biological attributes were not changed by the treatments, but the phosphorus content increased after the combination sunn hemp — compost enriched with remineralizer. Compared to the initial soil condition, bulk density increased, and soil organic matter decreased. In the first harvest, the yield was higher after jack bean; while in the second, it was not affected by treatments.

Index terms: Green manures, composting, remineralizer, *Zea mays* L.

Introdução

A agroecologia avança internacionalmente como uma abordagem transdisciplinar para o estudo e o monitoramento de sistemas agroalimentares (Gliessman, 2013) e como forma eficiente de propiciar maior adaptabilidade às mudanças climáticas, maior resiliência a problemas fitossanitários e maior produtividade para as agriculturas familiar e campesina (Altieri, 2010).

Para o manejo em sistemas agroecológicos são preconizados processos que ocorrem naturalmente em áreas sob vegetação nativa, mas que precisam ser mimetizados no ambiente agrícola para melhorar a fertilidade e manter o solo saudável. Tais processos estão relacionados ao aumento dos teores de matéria orgânica (MO) e a reciclagem de nutrientes (Primavesi, 2016). Dentre as práticas que podem contribuir para isso estão, por exemplo, a rotação de culturas, a adubação verde e a reciclagem de materiais orgânicos da própria propriedade.

Os efeitos benéficos da adubação verde para o solo abrangem atributos químicos, físicos e biológicos, a exemplo do aumento dos teores de macro e micronutrientes e da capacidade de troca de cátions; a complexação do alumínio tóxico; a redução da densidade do solo; o aumento da porosidade e da capacidade de infiltração de água; e o fornecimento de substrato para a vida da microbiota (Ferreira et al., 2012; Mósquera et al., 2012; Padovan et al., 2013). Quanto às melhorias químicas, leva-se em consideração que, com exceção da entrada de nitrogênio (N), via fixação biológica, quando leguminosas são utilizadas como adubo verde os demais nutrientes são apenas reciclados, originários do próprio sistema. Em sistema orgânico, Cunha et al. (2011) observaram que, apesar do aumento do teor de MO, a reciclagem dos nutrientes pelos adubos verdes não foi suficiente para a manutenção dos teores de fósforo (P), potássio (K), ferro (Fe) e manganês (Mn) do solo. Portanto, é preciso considerar a associação da adubação verde ao uso de fertilizantes apropriados.

Fertilizantes orgânicos são boas opções para a manutenção e suprimento de nutrientes dos solos sob manejo agroecológico. Entretanto, ressalta-se que, devido a pesquisa agrícola, desde a revolução verde, focar muito mais em insumos para a agricultura convencional (Pereira et al., 2020), ainda há

muito espaço para avançar no conhecimento de processos de produção, materiais e efeitos desses fertilizantes sobre o solo e o rendimento das culturas.

A compostagem é o processo de transformação biológica de materiais orgânicos, tanto de origem vegetal quanto animal, em fertilizantes orgânicos utilizáveis na agricultura. As transformações nos materiais são de natureza bioquímica e ocorrem devido ao trabalho de milhões de microrganismos presentes nos próprios materiais ou adicionados a eles como pré-inóculo. São esses microrganismos que utilizam a matéria orgânica in natura como fonte de energia, nutrientes e carbono que vão promover a mineralização e a humificação de partes do material (Budziack et al., 2004).

Para a produção de compostos orgânicos, não apenas a dimensão ambiental deve ser levada em conta, a exemplo da reciclagem dos materiais, mas também os aspectos socioeconômicos da produção e da adoção, como o baixo custo do processo e a disponibilidade local de matéria-prima (Mokwunye; Bationo, 2011), gerando real sustentabilidade para seus usuários. O processo, geralmente, requer a mistura de materiais com alta relação C/N, como palhadas e serragem, com materiais ricos em N, como esterco e tortas (Leal et al., 2013), mas é importante dar preferência sempre a materiais de fácil acesso, valendo também para fontes minerais de nutrientes que podem ser adicionados aos resíduos orgânicos para enriquecer o produto final. Tais fontes devem ser materiais minerais naturais, não solúveis e não sintéticos, permitidos pela legislação brasileira para a agricultura orgânica.

Remineralizadores de solo disponíveis localmente são uma boa opção e, normalmente, coprodutos da indústria de mineração. De acordo com Martins et al. (2008) e Silva et al. (2012), os principais remineralizadores de solo encontrados no Brasil derivam-se de rochas e minerais silicatados, como biotita, feldspato e minerais máficos, que têm teores consideráveis de K, Ca, Mg e Si. Portanto, a adição desses materiais ao processo de compostagem pode complementar quimicamente o produto. Existem interações entre adubos verdes, silicatos e fosfatos que podem gerar propriedades emergentes, aumentando a eficiência do uso de nutrientes (Merwad, 2017), mas essas interações são dependentes das condições locais e dos materiais utilizados. Da mesma forma, a associação de práticas

como a adubação verde e a aplicação de compostos orgânicos gera efeitos potencializados para o solo, existindo poucos estudos sobre o tema (Souza et al., 2015). A decomposição e, conseqüentemente, os efeitos de qualquer material de origem orgânica sobre o solo é bastante complexa e dependente de vários fatores bióticos e abióticos, como as condições edafoclimáticas, a microbiota do solo e a relação C/N e C/P dos materiais (Ferreira et al., 2012; Mósquera et al., 2012; Carvalho et al., 2014). Portanto, é fundamental o avanço do conhecimento sobre essas interações para se adotar a estratégia mais apropriada, como mostram os estudos de Menezes e Silva (2008), Morais e Barbosa (2012), Souza e Guimarães (2013) e Souza et al. (2015).

Para melhor compreender os efeitos de qualquer prática ou da associação de práticas sobre o solo é necessário avaliar um conjunto de atributos para mensurar a extensão das modificações, o tempo em que acontecem e quais condições as afetam. Há extensa documentação na literatura sobre a avaliação da qualidade do solo em função do manejo, utilizando atributos químicos, físicos e biológicos (Cunha et al., 2012; Lima et al., 2013; Cherubin et al., 2015; Freitas et al., 2017), mas também é necessário levar em consideração o reflexo dos efeitos sobre o rendimento das culturas (Stone et al., 2013), principalmente das anuais como arroz, feijão-comum e milho.

O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura que tem ampla gama de uso, tanto na alimentação humana quanto na animal, empregando-se desde o consumo in natura até a industrialização, na forma de diversos produtos, motivo da importância econômica e social, principalmente para a agricultura familiar (Chieza et al., 2017).

Diversos trabalhos mostram a adequação da adubação orgânica (Primo et al., 2011, 2012; Pereira Junior et al., 2012; Favarato et al., 2013; Novakowski et al., 2013; Rebouças Neto et al., 2016) e da adubação verde (Gitti et al., 2012; Chieza et al., 2013, 2017; Padovan et al., 2013; Favarato et al., 2016) para o desempenho agrônomo do milho, com grande parte conduzidos em sistemas orgânicos ou agroecológicos; no entanto, poucos associam ambas (Favarato et al., 2014; Timossi et al., 2016) ou avaliam o efeitos das práticas, mesmo que isoladas, sobre os atributos do solo (Valadares et al., 2012; Chieza et al., 2013; Scherer; Spagnollo, 2014) ou mesmo avaliam o solo após associá-las (Favarato et al., 2014).

Este trabalho objetivou avaliar, em sistema agroecológico, os efeitos da adubação verde associada ao uso de compostos orgânicos sobre a qualidade do solo e o rendimento de grãos de milho, o qual também poderá contribuir com o meio ambiente e a saúde humana, favorecendo o aumento da sustentabilidade na produção agrícola, de acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU), dentre os quais Erradicação da Pobreza (1); Fome Zero e Agricultura Sustentável (2); Redução das desigualdades (10); Cidades e Comunidades Sustentáveis (11); e Consumo e Produção Responsáveis (12).

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em Santo Antônio de Goiás, GO (16°31'18" S e 49°18'45" W, altitude de 823 m). A denominada Fazendinha Agroecológica possui 16 hectares, manejados sob princípios agroecológicos desde 2004, antes sob pastagem, após a derrubada da vegetação original (cerradão). O clima da região é classificado como Aw, tropical de Savana, megatérmico (Alvares et al., 2013). O regime pluvial é bem definido, com período chuvoso de outubro a abril e seco de maio a setembro, e precipitação média anual de 1.460 mm (Silva et al., 2002).

O solo da área específica do experimento é um Latossolo Vermelho ácrico típico (Santos et al., 2013), com caracterização granulométrica (Teixeira et al., 2017), camada de 0-0,20 m, de 410 g kg⁻¹, 320 g kg⁻¹ e 270 g kg⁻¹ de areia, argila e silte, respectivamente, e classificação textural franco argilosa. A área é conduzida desde o verão 2013/2014, sob três faixas de adubos verdes, repetidas quatro vezes, objetivando comparar o potencial de produção de fitomassa das leguminosas: crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.) e mucuna-anã (*Mucuna deeringiana*). O manejo foi mantido nos anos agrícolas 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017, com os adubos verdes sempre semeados no início da estação chuvosa (outubro), sem adubação, no espaçamento de 0,45 m entre linhas, utilizando-se 25, sete e sete sementes por metro de crotalária, de feijão-de-porco e de mucuna, respectivamente. A partir da safra 2015/2016 foi iniciado o experimento com milho, em sucessão à adubação verde.

Em outubro de 2015, antes da instalação do experimento, uma amostragem inicial do solo foi coletada, caracterizando a época zero (E0). Para isso, em cada faixa de adubo verde e para cada uma das quatro repetições foi coletada, na camada de 0-0,10 m, uma amostra composta (deformada) proveniente de 20 amostras simples químicas e biológicas (subamostras compostas de cada foram acondicionadas em baixa temperatura, até chegar ao laboratório), uma amostra composta (com o mínimo de perturbação) de vinte amostras simples, para análise de estabilidade de agregados, e três anéis volumétricos (amostras indeformadas) na área central de cada faixa e no centro da camada de 0-0,10 m.

Os atributos físicos avaliados foram densidade do solo, determinada pelo método do anel volumétrico; porosidade total, pela relação entre densidade do solo e densidade de partículas determinada pelo método do balão volumétrico; microporosidade, considerada igual à quantidade de água retida pelo solo na tensão de 6 kPa; macroporosidade, pela diferença entre porosidade total e microporosidade e diâmetro médio ponderado dos agregados, determinado via úmida (Teixeira et al., 2017). Os atributos químicos foram o teor de MO, pelo do método de Walkley e Black; pH (em água) e teores de P-Mehlich, K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , Cu^{+2} , Zn^{+2} , Fe^{+3} , Mn^{+2} , H^+ + Al^{+3} , determinados de acordo com Teixeira et al. (2017), além do cálculo de CTC efetiva e potencial (a pH 7), saturação por alumínio, soma de bases e saturação por bases. Os atributos biológicos do solo avaliados foram C e N da biomassa microbiana, pelo método da fumigação-extração (Vance et al., 1987).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com arranjo em parcela subdividida e quatro repetições (as mesmas usadas para os adubos verdes). As parcelas principais, compostas pelos três adubos verdes existentes, mediam 80 m de comprimento e 8 m de largura. As subparcelas, medindo 10 m de comprimento e 4 m de largura cada, foram compostas por quatro tratamentos referentes à fertilização: testemunha (sem fertilização) (C1); composto orgânico enriquecido com termofosfato (C2); composto orgânico enriquecido com remineralizador (C3); e composto orgânico enriquecido com termofosfato e remineralizador (C4). Nas subparcelas C2, C3 e C4, os compostos foram aplicados a lanço, com posterior incorporação, logo antes da semeadura da respectiva cultura.

O termofosfato tinha 18% e 16%, respectivamente, de P_2O_5 total e solúvel em ácido cítrico, 18% de Ca, 7% de Mg e 10% de Si. O remineralizador utilizado foi a biotita xisto, do Grupo Araxá (Neoproterozoico) do estado de Goiás (Pimentel, 2016). O material apresentou as seguintes características e proporções: 3,2% de K_2O de biotita (21,4%) e muscovita (9,7%); 1,81% de CaO de granada (5,7%); 4,76% de MgO de biotita (21,4%) e clorita (15,8%); e 95% de partículas menores que 0,3 mm. Os conteúdos de micronutrientes foram: Co (28,5 mg kg^{-1}); Ni (87 mg kg^{-1}); Cu (66,6 mg kg^{-1}); Mo (1,5 mg kg^{-1}); Se (0,6 mg kg^{-1}); Zn (142 mg kg^{-1}); B (37 mg kg^{-1}); Cd (0,07 mg kg^{-1}); Hg (0,01 mg kg^{-1}); As (< 1 mg kg^{-1}); Pb (3,1 mg kg^{-1}); Sb (0,14 mg kg^{-1}); Bi (0,13 mg kg^{-1}); e Cr (87 mg kg^{-1}).

A formação básica do composto, produzido na estação experimental da Embrapa Arroz e Feijão, foi de uma parte de esterco bovino para três de material vegetal triturado (75% de capim-napier e 25% de folhas de bananeira). A essa composição básica foram acrescentados, ainda, na montagem das pilhas, os respectivos materiais minerais (termofosfato em C2, remineralizador em C3 e termofosfato + remineralizador em C4). Umedecimentos foram feitos no dia da montagem das pilhas e a cada 15 dias, por ocasião das reviradas (feitas até aos 60 dias). Os compostos ficaram prontos aos 90 dias (temperatura, odor e características visuais estáveis e homogêneas).

A composição química (Brasil, 2014) dos três compostos produzidos (C2, C3 e C4) ficou como se segue: No C2: 16 g kg^{-1} , 19 g kg^{-1} , 16 g kg^{-1} , 50 g kg^{-1} e 13 g kg^{-1} de N, P, K, Ca e de Mg, respectivamente; 100 mg kg^{-1} , 33.000 mg kg^{-1} , 200 mg kg^{-1} e 250 mg kg^{-1} de Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente, MO 45%, umidade 13%, relação C:N de 15:1 e pH 7. No C3: 18 g kg^{-1} , 19 g kg^{-1} , 18 g kg^{-1} , 56 g kg^{-1} e 13 g kg^{-1} de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente; 160 mg kg^{-1} , 28.000 mg kg^{-1} , 420 mg kg^{-1} e 410 mg kg^{-1} de Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente, MO 47%, umidade 15%, relação C:N de 15:1 e pH 6,5. No C4: 16 g kg^{-1} , 19 g kg^{-1} , 19 g kg^{-1} , 53 g kg^{-1} e 13 g kg^{-1} de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente, 150 mg kg^{-1} , 31.000 mg kg^{-1} , 405 mg kg^{-1} e 280 mg kg^{-1} de Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente, MO 49%, umidade 17%, relação C:N de 15:1 e pH 6,8. As doses aplicadas dos compostos foram baseadas nos teores de N e no suprimento de N para a cultura (50 kg N ha^{-1}).

O solo foi preparado convencionalmente (grade aradora e niveladora), quando incorporada a fitomassa dos adubos verdes juntamente com os compostos orgânicos nas respectivas subparcelas, utilizando-se a cultivar de milho MC 20, semeada em espaçamento de 0,90 m entre linhas, com seis sementes/metro.

O experimento foi conduzido da mesma forma nas safras 2015/2016 e 2016/2017, sendo a produtividade da cultura avaliada ao final das safras, em abril de 2016 e abril de 2017, coletando quatro linhas de 6 m de comprimento, totalizando 10,8 m² de parcela útil. Em abril de 2017, após a colheita, realizou-se nova coleta de solo (época um, E1). Para a amostragem foram retiradas na área útil de cada subparcela, profundidade de 0-0,10 m, uma amostra composta (deformada) de oito amostras simples para análise química e biológica, para as quais subamostras de cada amostra composta foram acondicionadas em baixa temperatura até chegar ao laboratório; uma amostra composta, com o mínimo de perturbação, de oito amostras simples, para análise de estabilidade de agregados e três anéis volumétricos (amostras indeformadas) no centro de cada subparcela, no meio da camada 0-0,10 m. Os atributos avaliados e as metodologias para as análises realizadas foram as mesmas descritas para as amostras de E0.

Os resultados da coleta E1 foram comparados com os obtidos na análise, E0, utilizando o teste de Dunnett, a 5% de probabilidade, e os dados submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, na mesma probabilidade. O Programa R, versão 3.5.0, (R Development Core Team, 2018) foi utilizado para todas as análises estatísticas.

Resultados e Discussão

Os atributos biológicos não foram afetados pelos tratamentos e tampouco sofreram alteração em relação à condição inicial (Tabela 1). O preparo convencional do solo, mesmo associado a aporte contínuo de MO, pode, devido à quebra de agregados e maior exposição a altas temperaturas, desfavorecer o aumento do compartimento de carbono da biomassa (Loureiro et al., 2016). Como mostrado adiante, no presente estudo o plantio convencional parece ter influenciado negativamente a qualidade física do solo.

Tabela 1. Atributos físicos e biológicos na camada de 0-0,10 m do Latossolo Vermelho ácrico submetido à adubação verde e a diferentes compostos, e cultivado com milho.

Adubo verde	Tratamento subparcela	Atributo									
		DS	PT	MIP	MAP	DMP	CBM	NBM			
Época um - 2017											
Crotalária	C1	1,49*	0,480*	0,415	0,064*	2,5	218,6	73,2			
	C2	1,51*	0,482*	0,432	0,050*	3,7	120,6	36,5			
	C3	1,45*	0,502	0,416	0,086	3,3	377,3	121,2			
	C4	1,42*	0,500	0,410	0,090	3,1	282,6	100,4			
	Média	1,46A	0,491A	0,418A	0,073A	3,1A	249,8A	82,8A			
Feijão-de-porco	C1	1,47	0,491	0,419	0,071	1,8	408,7	108,0			
	C2	1,45	0,498	0,425	0,074	3,0	190,4	161,2			
	C3	1,53*	0,468*	0,423	0,045*	2,0	314,4	84,6			
	C4	1,48	0,466*	0,421	0,046*	3,0	278,2	92,7			
	Média	1,48A	0,481A	0,422A	0,059A	2,4A	297,9A	111,6A			
Mucuna	C1	1,48*	0,486*	0,427	0,059	2,6*	188,6	86,3			
	C2	1,45*	0,489*	0,410	0,079	2,5*	363,9	105,3			
	C3	1,52*	0,471*	0,427	0,044*	1,1*	217,1	55,6			
	C4	1,61*	0,454*	0,425	0,029*	3,6	337,7	69,2			
	Média	1,52A	0,475A	0,422A	0,053A	2,4A	276,8A	79,1A			

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Adubo verde	Tratamento subparcela	Atributo						
Média	C1	1,48a	0,486a	0,421a	0,065a	2,3a	272,0a	89,2a
	C2	1,47a	0,490a	0,422a	0,068a	3,1a	225,0a	101,0a
	C3	1,50a	0,480a	0,422a	0,058a	2,1a	302,9a	87,2a
	C4	1,50a	0,474a	0,418a	0,055a	3,2a	299,5a	87,4a
Época zero - 2015								
Crotalária		1,25	0,532	0,392	0,140	5,8	161,9	42,6
Feijão-de-porco		1,31	0,532	0,398	0,134	4,8	221,4	67,9
Mucuna		1,27	0,536	0,398	0,138	5,6	260,5	67,9

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; letras maiúsculas comparam adubos verdes, e minúsculas comparam fertilizantes. As médias nas colunas seguidas por um asterisco são significativamente diferentes da análise inicial, de acordo com o teste de Dunnett, a 5% de probabilidade, considerando cada combinação de adubo verde e fertilizante. C1: Controle; C2: Composto orgânico enriquecido com termofosfato, C3: Composto orgânico enriquecido com remineralizador de solo; C4: Composto orgânico enriquecido com termofosfato e remineralizador de solo; Ds: Densidade do solo (Mg m⁻³); PT: Porosidade total (m³ m⁻³); MIP: Microporosidade (m³ m⁻³); MAP: Macroporosidade (m³ m⁻³); DMP: Diâmetro médio ponderado dos agregados (mm); CBM: Carbono da biomassa (mg kg⁻¹); e NBM: Nitrogênio da biomassa (mg kg⁻¹).

Apesar de os atributos físicos não terem sido afetados pelos adubos verdes ou pelos compostos, alterações foram encontradas em relação ao tempo (Tabela 1). De forma geral, a porosidade total e a macroporosidade diminuíram na maioria dos tratamentos, enquanto o DMP diminuiu em C1, C2 e C3, após mucuna. A Ds aumentou em quase todos os tratamentos, exceto em C1, C2 e C4, pré-cultivados com feijão-de-porco. Considerando que a densidade crítica para solos franco-argilosos se situa entre $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ e $1,50 \text{ Mg m}^{-3}$ (Reichert et al., 2003), verifica-se que a densidade do solo foi elevada para valores críticos. Aumentos na densidade do solo estão correlacionados à redução nos valores de porosidade total e macroporosidade, comprovando a importância do uso da Ds como indicador da qualidade física do solo (Torres et al., 2015) e, neste trabalho, as alterações parecem ter como causa principal o preparo convencional do solo. A redução no teor de MO quanto ao valor inicial também pode explicar, em parte, o aumento da densidade e a redução da macroporosidade e da porosidade total do solo. A densidade geralmente apresenta correlação negativa com o teor de matéria orgânica, enquanto a porosidade total e a macroporosidade apresentam correlação positiva (Andrade et al., 2009; Cunha et al., 2012). Portanto, a adição de MO pelos adubos verdes e compostos, com o tempo, não foi suficiente para melhorar os atributos físicos.

Todos os tratamentos mostraram valores de macroporosidade abaixo do valor crítico de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Xu et al., 1992), mostrando que essa condição, provavelmente relaciona-se ao preparo convencional do solo, praticado na área desde a safra 2013/2014. Aguiar et al. (2010), na mesma estação experimental deste estudo, também encontraram MAP abaixo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, caracterizando compactação na camada de 0-0,10 m de parcelas pré-cultivadas com crotalária juncea e guandu, em preparo convencional.

Os resultados dos atributos químicos são apresentados nas Tabelas 2 e 3. Independentemente da aplicação ou não de composto e do tipo de composto aplicado, o pH foi maior nas parcelas com crotalária juncea do que nas com mucuna-anã (Tabela 2). Os teores de nutrientes (Tabela 2), MO, t, T e V (Tabela 3) não sofreram influência dos adubos verdes. Avaliando a sucessão adubos verdes/milho, e utilizando crotalária juncea, feijão-de-porco, nabo forrageiro e um coquetel com os três, Valadares et al. (2012) também não encontraram efeitos sobre os teores de nutrientes do solo.

Tabela 2. Atributos químicos (pH, acidez potencial e teores de macro e micronutrientes) na camada de 0-0,10 m em Latossolo Vermelho ácrico, submetido à adubação verde e diferentes compostos e cultivado com milho.

Adubo verde	Composto	pH	H+Al	Ca	Mg	P	K	Cu	Zn	Fe	Mn
Época 1 - 2017											
Crotalária	C1	5,5	2,8*	2,1	0,7	3,2Ab	87,3	1,3*	5,2*	38,7*	26,3*
	C2	5,5	2,9	2,2	0,8	3,5Ab	180,8	1,1*	6,5*	38,6*	27,8*
	C3	5,9	2,3*	3,1	1,0	11,1Aa*	154,5	1,3*	7,9*	42,8*	32,7*
	C4	5,5	3,0	2,2	0,8	5,8Ab	95,5	1,5*	6,1*	44,8*	30,9*
	Média	5,6A	2,7A	2,4A	0,8A	5,9A	129,5A	1,3A	6,4A	41,2a	29,4A
Feijão-de- porco	C1	5,5	2,9	2,6	1,0	7,3Aa	168,5	1,3*	6,6	43,0*	32,4*
	C2	5,6	2,8	2,4	0,9	7,2Aa	219,5	1,3*	6,0	43,1*	31,6*
	C3	5,7	2,4	3,1	1,1	3,0Ba	199,0	1,2*	6,2	38,2*	31,6*
	C4	5,4	3,1	2,4	0,8	4,7Aa	171,3	1,2*	5,3	34,7*	28,5*
	Média	5,5AB	2,8A	2,6A	0,9A	5,6A	189,6A	1,2A	6,0A	39,8a	31,0A
Mucuna	C1	5,3	3,5	2,3	0,8	3,9Aa	117,3	1,3*	5,2*	39,5*	29,3*
	C2	5,2*	3,5	2,2	0,7	2,2Aa	139,5	1,2	4,1*	35,3*	29,5*
	C3	5,6	2,7*	2,8	0,9	5,2Ba	151,0	1,2	5,8*	36,6*	30,7*
	C4	5,5	2,8*	3,0	1,0	7,4Aa*	144,3	1,1	6,4*	35,4*	31,2*
	Média	5,4B	3,1A	2,6A	0,8A	4,7A	138,0A	1,2A	5,4A	36,7a	30,2A
Média	C1	5,4a	3,0a	2,3a	0,8a	4,8a	124,3a	1,3a	5,7a	40,4a	29,3a
	C2	5,4a	3,0a	2,3a	0,8a	4,3a	179,9a	1,2a	5,5a	39,0a	29,6a
	C3	5,7a	2,4a	3,0a	1,0a	6,4a	168,2a	1,2a	6,6a	39,2a	31,7a
	C4	5,5a	2,9a	2,5a	0,8a	6,0a	137,0a	1,2a	5,9a	38,3a	30,2a

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Adubo verde	Composto	pH	H+Al	Ca	Mg	P	K	Cu	Zn	Fe	Mn
Época 0 - 2015											
Crotalária		5,5	3,7	2,3	0,9	2,4	176,8	0,5	1,5	13,7	51,1
Feijão-de-porco		5,5	3,7	2,6	1,0	3,0	166,7	0,5	2,1	12,9	59,2
Mucuna		5,5	3,8	2,3	1,0	2,4	156,5	0,5	1,7	14,3	55,1

Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; letras maiúsculas comparam adubos verdes e minúsculas comparam fertilizantes. As médias nas colunas seguidas por um asterisco são significativamente diferentes da análise inicial pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade, considerando cada combinação de adubo verde e fertilizante. C1: Controle; C2: Composto orgânico enriquecido com termofosfato; C3: Composto orgânico enriquecido com remineralizador de solo; C4: Composto orgânico enriquecido com termofosfato e remineralizador de solo; pH: Potencial hidrogeniônico; Ca, Mg e H+Al: Cálcio, magnésio e acidez potencial, em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; P, K, Cu, Zn, Fe e Mn: Fósforo, potássio, cobre, zinco, ferro e manganês, em mg dm^{-3} .

Tabela 3. Atributos químicos (teor de matéria orgânica e parâmetros de fertilidade) na camada de 0-0,10 m do Latossolo Vermelho ácrico, submetido à adubação verde e diferentes compostos, e cultivado com milho.

Adubo verde	Composto	MO	t	T	V
Época 1 - 2017					
Crotalária	C1	30,6*	3,0*	5,8*	52,3
	C2	30,2*	3,6*	6,4*	54,9
	C3	28,5*	4,5*	6,8*	65,8
	C4	28,7*	3,3*	6,2*	51,6
	Média	29,5A	3,6A	6,3A	56,2a
Feijão-de-porco	C1	29,8*	4,1*	6,9*	58,0
	C2	30,3*	3,9*	6,7*	57,4
	C3	29,8*	4,8*	7,1*	65,1
	C4	37,6	3,7*	6,7*	54,5
	Média	31,9A	4,1A	6,9A	58,8a
Mucuna	C1	30,2*	3,5*	6,9*	49,0*
	C2	29,9*	3,4*	6,7*	48,0*
	C3	27,9*	4,0*	6,7*	60,3
	C4	31,8*	4,4*	7,1*	60,9
	Média	30,0A	3,8A	6,9A	54,6 ^a
Média	C1	30,2a	3,6a	6,5a	53,1a
	C2	30,2a	3,6a	6,6a	53,4a
	C3	28,7a	4,4a	6,9a	63,8a
	C4	32,7a	3,8a	6,7a	55,7a
Época 0 - 2015					
Crotalária		45,7	7,0	10,7	65,1
Feijão-de-porco		46,9	7,4	10,9	66,6
Mucuna		46,0	7,2	10,9	65,0

Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; letras maiúsculas comparam adubos verdes e minúsculas comparam fertilizantes. As médias nas colunas seguidas por um asterisco são significativamente diferentes da análise inicial pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade, considerando cada combinação de adubo verde e fertilizante. C1: Controle; C2: Composto orgânico enriquecido com termofosfato; C3: Composto orgânico enriquecido com remineralizador de solo; C4: Composto orgânico enriquecido com termofosfato e remineralizador de solo; MO: Matéria orgânica do solo, em g kg⁻¹; t e T: Capacidade trocável de cátions efetiva e potencial, respectivamente, em cmol_c dm⁻³; V: Saturação por bases, em %.

Em relação à aplicação ou não dos compostos e do tipo de composto aplicado, independentemente da espécie de adubo verde, não houve diferença para os atributos químicos. Tal resultado pode estar associado à avaliação apenas de duas safras. Scherer e Spagnollo (2014), avaliando em sistema orgânico os efeitos de diferentes adubos (cama de aviário, composto de esterco de aves, composto de esterco de suínos, composto de esterco de bovinos e esterco líquido de suínos) sobre a produtividade de milho e feijão e sobre a fertilidade do solo, concluíram que após nove anos de fertilização formou-se um gradiente de nutrientes com maior acúmulo na camada superficial do solo.

A associação adubo verde e composto orgânico não foi significativa para a maioria dos atributos químicos, assim como encontrado por Favarato et al. (2014) que testaram presença ou ausência de crotalária juncea associadas a diferentes tipos de composto. Neste trabalho apenas o P foi influenciado pela associação, que depois da crotalária juncea, o teor foi maior em C3 que sob controle e C2 (Tabela 2). A presença de remineralizador nos compostos C3 e C4 pode ter contribuído para uma maior disponibilidade de P, possivelmente devido à interação entre rizosfera e microrganismos (Sarikhani, 2016; Merward, 2017; Rawat et al., 2018). Por outro lado, a crotalária também pode ter favorecido essa atuação, pois é capaz de mobilizar o P de camadas profundas, conforme sugerem Souza e Guimarães (2013).

Quanto ao solo inicial houve alteração em alguns atributos químicos após o manejo da área por duas safras. De forma geral, P, Fe, Cu e Zn aumentaram e H+Al diminuiu (Tabela 2). No caso do P, a associação entre o pré-cultivo de crotalária juncea e a adoção dos compostos C3 ou C4, foi positiva para esse aumento no sistema. A informação é de grande relevância para os solos tropicais, altamente intemperizados que, além da deficiência do nutriente, apresentam alta capacidade de fixação de fosfato (adsorção e precipitação), limitando a produtividade das culturas. Notadamente, para solos sob manejo agroecológico, é imprescindível que se conheçam opções para aumentar os teores e a disponibilidade de P no solo condizentes com os princípios agroecológicos e a legislação para a agricultura orgânica, visto que fertilizantes fosfatados sintéticos não são opção de uso. Além dos fosfatos naturais, os tratados termicamente, como termofosfatos, são fontes adequadas e bastante utilizadas (Silva et al., 2009).

Houve diminuição de t, T e do teor de MO em todos os tratamentos, com exceção do C4, após feijão-de-porco (Tabela 3). O preparo convencional do solo pode ter contribuído para acelerar a decomposição do carbono orgânico (Vezzani; Mielniczuck, 2011; Hickmann; Costa, 2012). Favarato et al. (2015) relataram que o preparo do solo com revolvimento intenso elevou a taxa de mineralização de MO em relação ao sistema plantio direto com presença da palhada de leguminosas.

Na safra 2015/2016, a produtividade do milho foi maior após feijão-de-porco do que após mucuna, mas semelhante à obtida após crotalária juncea; entretanto a aplicação dos compostos não afetou o rendimento de grãos (Tabela 4). Os efeitos dos adubos verdes sobre a produtividade das culturas são bastante variáveis e dependem fortemente de condições edafoclimáticas. No estudo de Collier et al. (2011), por exemplo, o feijão-de-porco em pré-cultivo de milho não afetou a produtividade da cultura. Na safra 2016/2017, não houve qualquer alteração (Tabela 4). Vários trabalhos encontraram efeito positivo da adubação orgânica sobre a produtividade de grãos de milho (Cancellier et al., 2011; Pereira Junior et al., 2012; Primo et al., 2012), mas dependem das doses aplicadas, do tipo de adubo orgânico e da fertilidade inicial do solo da área experimental. Neste trabalho, a ausência de efeito da aplicação dos compostos orgânicos sobre o rendimento do milho pode ser devido aos bons índices de fertilidade inicial do solo (Tabelas 2 e 3), sendo possível resultado do manejo agroecológico com adubação verde desde o verão 2013/2014. Na análise inicial, apenas o teor de P pode ser classificado como muito baixo, enquanto os teores de Ca e Mg são adequados e os de K e MO são altos, nos solos de Cerrado (Sousa; Lobato, 2004).

O rendimento de grãos de milho para a variedade MC 20 foi, em média, de 7,6 t ha⁻¹ em 2015/2016, e de 6 t ha⁻¹ em 2016/2017 (Tabela 4). Machado et al. (2011) avaliando esse material em três diferentes ambientes na região do Cerrado encontraram produtividade média de 7,6 t ha⁻¹, a mesma encontrada neste estudo, na safra 2015/2016. Tal produtividade também se aproxima da média para Goiás, em 2019/2020 de 7,89 t ha⁻¹ (Conab, 2021).

Tabela 4. Produtividade de grãos de milho em razão de adubos verdes e compostos orgânicos.

Adubo verde	Composto	Rendimento (t ha ⁻¹)	
		2015/2016	2016/2017
<i>Crotalária juncea</i>	C1	7,32	5,15
	C2	7,62	5,38
	C3	7,66	5,97
	C4	7,92	5,85
	Média	7,64AB	5,58A
Feijão-de-porco	C1	7,70	6,00
	C2	7,83	6,74
	C3	8,34	5,94
	C4	8,14	6,98
	Média	8,00A	6,41A
Mucuna	C1	7,24	6,74
	C2	7,29	5,93
	C3	7,37	6,14
	C4	7,14	5,78
	Média	7,26B	6,14A
Média	C1	7,42a	5,96a
	C2	7,59a	6,01a
	C3	7,79a	6,01a
	C4	7,72a	6,21a

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; letras maiúsculas comparam adubos verdes e minúsculas comparam fertilizantes. C1: Controle, sem fertilizante; C2: Composto orgânico enriquecido com termofosfato; C3: Composto orgânico enriquecido com remineralizador de solo; C4: Composto orgânico enriquecido com termofosfato e remineralizador de solo.

Conclusões

- a) No sistema agroecológico em estudo, os atributos físicos e biológicos do solo não foram afetados pela associação adubos verdes – compostos, nem pelos fatores isolados. Dentre os atributos químicos, maiores teores de fósforo ocorreram após a associação *crotalária juncea* e o composto enriquecido com remineralizador;

- b) Em relação à condição inicial do solo, houve redução do teor de matéria orgânica, da porosidade total e da macroporosidade, e aumento da densidade do solo para a maioria dos tratamentos, após as duas safras;
- c) O rendimento de grãos foi afetado somente pelos adubos verdes e na primeira safra, sendo maior após o feijão-de-porco do que após mucuna-anã.

Referências

- AGUIAR, R. A.; MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; BERNARDES, T. G.; JESUS, R. P. Sustentabilidade de sistemas orgânicos com plantas de cobertura na cultura do arroz, por meio de alterações físicas no solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 2, p. 142-149, abr./jun. 2010. DOI: <https://doi.org/10.5216/pat.v40i2.4843>.
- ALTIERI, M. Agroecologia, agricultura camponesa e soberania alimentar. **Revista Nera**, v. 13, n. 6, p. 22-32, jan./jun. 2010.
- 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://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 411-418, jul./ago. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000400007>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Brasília, DF, 2014. 220 p.
- BUDZIACK, C. R.; MAIA, C. M. B. F.; MANGRICH, A. S.; Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos da indústria madeireira. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p. 399-403. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422004000300007>.
- CANCELLIER, L. L.; AFFÉRI, F. S.; ADORIAN, G. C.; RODRIGUES, H. V. M.; MELO, A. V. M.; PIRES, L. P. M.; CANCELLIER, E. L. Adubação orgânica na linha de semeadura no desenvolvimento e produtividade do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, p. 527-540, abr./jun. 2011. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n2p527>.
- CARVALHO, A. M.; MARCHÃO, R. L.; BUSTAMANTE, M. M. C.; ALCÂNTARA, F. A.; COSER, T. R. Characterization of cover crops by NMR spectroscopy: impacts on soil carbon, nitrogen and phosphorus under tillage regimes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 968-975, 2014.
- CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S. W.; SILVA, R. F.; SILVA, V. R.; BASSO, C. J. Qualidade física, química e biológica de um latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 615-625, mar./abr. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcscs20140462>.
- CHIEZA, E. D.; GUERRA, J. G. M.; ARAUJO, E. S.; ESPÍNDOLA, J. A.; FERNANDES, R. C. F. Produção e aspectos econômicos de milho consorciado com *Crotalaria juncea* L. em diferentes intervalos de semeadura, sob manejo orgânico. **Revista Ceres**, v. 64, n. 2, p. 189-196, mar./abr. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764020012>.

- CHIEZA, E. D.; LOVATO T.; ARAÚJO, E. S.; TONIN, J. Propriedade físicas do solo em área sob milho em monocultivo ou consorciado com leguminosas de verão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1393-1401, out. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000500028>.
- COLLIER, L. S.; KIKUCHI, F. Y.; BENÍCIO, L. P.; SOUSA, S. A. Consórcio e sucessão de milho e feijão-de-porco como alternativa de cultivo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 306-313, set. 2011. DOI: <https://doi.org/10.5216/pat.v41i3.8706>.
- CONAB. **Safra brasileira de grãos**: tabela de dados - produção e balanço de oferta e demanda de grãos. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra>. Acesso em: 19 ago. 2021.
- CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; DIDONET, A. D.; FERREIRA, E. P. B.; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W. M. Atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo do solo e por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 10, p. 1021-1029, out. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001000005>.
- CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 56-63, jan. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000100008>.
- FAVARATO, L. F.; GALVÃO, J. C.; SOUZA, C. M.; FERNANDES, H. C.; CUNHA, D. N.; PAULA, G. S. Incorporação mecânica de composto orgânico e produtividade do milho em sistema de plantio direto orgânico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 2, p. 138-151, 2013. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v12n2p138-151>.
- FAVARATO, L. F.; SOUZA, J. L.; GALVÃO, J. C. C.; SOUZA, C. M.; GUARÇONI, R. C. Atributos químicos do solo com diferentes plantas de cobertura em sistema de plantio direto orgânico. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 5, n. 2, p. 19-28, dez. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.21206/rbas.v5i2.312>.
- FAVARATO, L. F.; SOUZA, J. L.; GALVÃO, J. C. C.; SOUZA, C. M.; GUARÇONI, R. C.; BALBINO, J. M. S. Crescimento e produtividade do milho-verde sobre diferentes coberturas de solo no sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 75, n. 4, p. 497-506, out./dez. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.549>.
- FAVARATO, L. F.; SOUZA, J. L.; GUIMARÃES, G. P. Alterações químicas do solo após sucessão crotalária/milho-verde associadas a níveis de N em compostos. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 2, p. S2226-S2233, jul. 2014.
- FERREIRA, L. E.; SOUZA, E. P.; CHAVES, A. F. Adubação verde e seu efeito sobre os atributos do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 1, p. 33-38, jan./mar. 2012.
- FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Unimar Ciências**, v. 26, n. 1-2, p. 8-25, 2017.
- GITTI, D. C.; ARF, O.; VILELA, R. G.; PORTUGAL, J. R.; KANEKO, F. H.; RODRIGUES, R. A. P. Épocas de semeadura de crotalária em consórcio com milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 2, p. 156-168, 2012. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v11n2p156-168>.
- GLIESSMAN, S. Agroecology, trans disciplinary and climate change. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 37, n. 10, p. 1101-1102, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1080/21683565.2013.835762>.

- HICKMANN, C.; COSTA, L. M. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 10, p. 1055-1061, out. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001000004>.
- LEAL, M. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ESPINDOLA, J. A. A.; ARAÚJO, E. S. Compostagem de misturas de capim-elefante e torta de mamona com diferentes relações C:N. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 11, p. 1195-1200, nov. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001100010>.
- LIMA, A. C. R.; BRUSSAARD, L.; TOTOLA, M. R.; HOOGMOED, W. B.; GOEDE, R. G. M. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 64, n. 2, p. 194-200, Feb. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.12.009>.
- LOUREIRO, D. C.; DE-POLLI, H.; AQUINO, A. M.; SÁ, M. M. F.; GUERRA, J. G. M. Influência do uso do solo sobre a conservação de carbono em sistemas orgânicos de produção. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 11, n. 1, p. 1-10, mar. 2016.
- MACHADO, A. T.; MACHADO, C. T. T.; NASS, L. L. Manejo da diversidade genética e melhoramento participativo de milho em sistemas agroecológicos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 6, n. 1, p. 127-136, 2011.
- MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G.; RESENDE, A. V.; MATOS, M. S. F. Agrominerais - rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In: LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. (ed.). **Rochas e minerais industriais: usos e especificações**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2008. p. 205-221.
- MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. Mudanças na fertilidade de um Neossolo Regolítico após seis anos de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 251-257, jun. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000300005>.
- MERWAD, A. M. Wheat response to potassium fertilization in sandy soil as affected by organic amendments and silicate dissolving bacteria. **Egyptian Journal of Soil Science**, v. 57, n. 3, p. 371-383, Sept. 2017. DOI: <https://doi.org/10.21608/ejss.2017.531.1072>.
- MOKWUNYE, A. U.; BATIONO, A. Meeting the demands for plant nutrients for an African green revolution: the role of indigenous agrominerals. In: BATIONO, A.; WASWA, B.; OKEYO, J. M.; KIHARA, J. M. (ed.). **Innovations as key to the green revolution in Africa: exploring the scientific facts**. Dordrecht: Springer, 2011. p. 19-29.
- MORAIS, L. A. S.; BARBOSA, A. G. Influência da adubação verde e diferentes adubos orgânicos na produção de fitomassa aérea de atoveran (*Ocimum selloi* Benth.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 14, p. 246-249, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722012000500020>.
- MÓQUERA, M. P.; REYES, O. E. S.; PRAGER, M. S.; GALLEGOS, J. M.; SÁNCHEZ, D. I. A. Abonos verdes: tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. **Agroecología**, v. 7, n. 1, p. 53-62, 2012.
- NOVAKOWISKI, J. H.; SANDINI, I. E.; FALBO, M. K.; MORAES, A.; NOVAKOWISKI, J. H. Adubação com cama de aviário na produção de milho orgânico em sistema de integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1663-1672, jul./ago. 2013. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n4p1663>.
- PADOVAN, M. P.; MOTTA, I. S.; CARNEIRO, L. F.; MOITINHO, M. R.; SALOMÃO, G. B.; RECALDE, K. M. G. Pré-cultivo de adubos verdes ao milho em agroecossistema submetido a manejo ecológico no Cone Sul de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 8, n. 3, p. 3-11, 2013.

PEREIRA JUNIOR, E. B.; HAFLE, O. M.; OLIVEIRA, F. T.; OLIVEIRA, F. H. T.; GOMES, E. M. Produção e qualidade de milho-verde com diferentes fontes e doses de adubos orgânicos.

Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 7, n. 2, p. 277-282, abr./jun. 2012.

PEREIRA, M. M. A.; MORAIS, L. C.; MARTINS, A. D.; LUZ, J. M. Q.; PASQUAL, M.; OLIVEIRA, R. C.; DÓRIA, J. Challenges of organic agriculture for the production of composts and vermicompost for the production of medicinal plants - a socioeconomic demand. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 1, p. 71-82, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14393/BJ-v36n0a2020-53565>.

PIMENTEL, M. M. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil: a geochronological and isotopic approach. **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, n. 1, p. 67-82, jun. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-4889201620150004>.

PRIMAVESI, A. **Manual do solo vivo: solo sadio, planta sadia, ser humano sadio**. São Paulo: Expressão Popular, 2016. 205 p.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O.; ALVES, R. N.; CABRAL, P. K. T. Biomassa e extração de nutrientes pelo milho submetido a diferentes manejos de adubos orgânicos na região semiárida. **Scientia Plena**, v. 7, n. 8, p. 1-8, ago. 2011.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O.; GARRIDO, M. S.; CABRAL, P. K. T. Contribuição da adubação orgânica na absorção de nutrientes e na produtividade de milho no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 1, p. 81-88, jan./mar. 2012. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v7i1a1519>.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, 2018. Disponível em: <http://www.R-project.org>. Acesso em: 25 maio 2018.

RAWAT, J.; SANWAL, P.; SAXENA, J. Towards the mechanisms of nutrient solubilization and fixation in soil system. In: MEENA, V. S. (ed.). **Role of rhizospheric microbes in soil: stress management and agricultural sustainability**. Singapore: Springer, 2018. p. 229-257.

REBOUÇAS NETO, M. O.; LEITE, D. N. P.; CAMPOS, J. R.; VERAS, C. L.; SOUZA, I. R.; MONTEIRO FILHO, L. R. Crescimento inicial do milho sob diferentes concentrações de biofertilizante bovino. **Cadernos Cajuína**, v. 1, n. 3, p. 4-14, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.52641/cadcaj.v1i3.100>.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v. 27, p. 29-48, 2003.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SARIKHANI, M. R. Increasing potassium (K) release from K-containing minerals in the presence of insoluble phosphate by bacteria. **Biological Journal of Microorganism**, v. 4, n. 16, p. 87-96, Mar. 2016.

SCHERER, E. E.; SPAGNOLLO, E. Propriedades químicas do solo e produtividade de milho e feijão no sistema orgânico com uso de diferentes fontes de adubo. **Revista Agropecuária Catarinense**, v. 27, n. 1, p. 80-85, mar./jun. 2014.

SILVA, D. J.; FARIA, C. M. B.; PINTO, J. M.; COSTA, N. D.; GAVA, C. A. T.; DIAS, R. C. S.; GOMES, T. C. A.; ARAÚJO, J. L. P. Cultivo de melão orgânico: fosfatos naturais como fontes alternativas de fósforo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 2, p. 559-566, jun. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452009000200034>.

- SILVA, D. R. G.; MARCHI, G.; SPEHAR, C. R.; GUILHERME, L. R. G.; REIN, T. A.; SOARES, D. A.; ÁVILA, F. W. Characterization and nutrient release from silicate rocks and influence on chemical changes in soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 951-962, jun. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300025>.
- SILVA, S. C.; XAVIER, L. S.; SANTANA, N. M. P.; CARDOSO, G. M.; PELEGRINI, J. C. **Informações meteorológicas para pesquisa e planejamento agrícola, referentes ao município de Santo Antônio de Goiás, GO - 2001**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 21 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 136). <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/210460>.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/555355>.
- SOUZA, J. L.; GUIMARÃES, G. P. Rendimento de massa de adubos verdes e o impacto na fertilidade do solo em sucessão de cultivos orgânicos. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, p. 1796-1805, nov./dez. 2013.
- SOUZA, J. L.; GUIMARÃES, G. P.; FAVARATO, L. F. Desenvolvimento de hortaliças e atributos do solo com adubação verde e compostos orgânicos sob níveis de N. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 1, p. 19-26, jan./mar. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620150000100004>.
- STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; HEINEMANN, A. B.; OLIVEIRA, J. P. Correlação entre a produtividade do feijoeiro no sistema de produção orgânica e atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 19-25, jan. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000100003>.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.
- TIMOSSI, P. C.; SILVA JUNIOR, H. R.; LIMA, S. F.; CASTRO, R.; ALMEIDA, D. P. Adubação antecipada com fertilizantes orgânico e mineral associados à crotalárias na cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 3, p. 500-509, 2016. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v15n3p499-508>.
- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; FABIAN, A. J.; POLIDORO, J. C. Propriedades físicas de um solo de cerrado cultivado com diferentes coberturas vegetais em sistema de semeadura direta. **Agronomia**, v. 39, n. 1-2, p. 55-64, 2005.
- VALADARES, R. V.; DUARTE, R. F.; MENEZES, J. B. C.; FERNANDES, L. A.; TUFFI SANTOS, L. D.; SAMPAIO, R. A.; MOTA, T. C.; ALMEIDA, R. M. Fertilidade do solo e produtividade de milho em sistemas de adubação verde no norte de Minas Gerais. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 505-516, set. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582012000300006>.
- VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90052-6](https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6).
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUCK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 213-223, fev. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000100020>.
- XU, X.; NIEBER, J. L.; GUPTA, S. C. Compaction effect on the gas diffusion coefficient in soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 6, p. 1743-1750, Nov./Dec. 1992. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600060014x>.



Arroz e Feijão