UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL

BRUNO EUSTÁQUIO CIRILO SILVA

CULTIVO INTERCALAR DE PLANTAS DE COBERTURA NA CULTURA DA PIMENTA-DO-REINO

São Mateus - ES
Fevereiro de 2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL

CULTIVO INTERCALAR DE PLANTAS DE COBERTURA NA CULTURA DA PIMENTA-DO-REINO

BRUNO EUSTÁQUIO CIRILO SILVA

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para a obtenção do título de mestre em Agricultura Tropical.

Orientador: Prof. D.Sc. Ivoney Gontijo

São Mateus - ES

Fevereiro de 2020

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

Silva, Bruno Eustáquio Cirilo, 1988-
S586c Cultivo intercalar de plantas de cobertura na cultura da pimenta-do-reino / Bruno Eustáquio Cirilo Silva. - 2020.
47 f. : il.

Orientador: Ivoney Gontijo.
Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo.

1. Ciência do solo. 2. Física do solo. 3. Química do solo. I. Gontijo, Ivoney. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Universitário Norte do Espírito Santo. III. Título.

CDU: 63

CULTIVO INTERCALAR DE PLANTAS DE COBERTURA NA CULTURA DA PIMENTA-DO-REINO

BRUNO EUSTÁQUIO CIRILO SILVA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Aprovada em 20 de fevereiro de 2020.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Ivoney Gontijo
Universidade Federal do Espírito Santo Orientador

Prof. Dr. Fábio Ribeiro Pires
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Joabe Martins de Souza
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior/Universidade Federal do Espírito Santo

Este documento foi assinado digitalmente por IVONEY GONTIJO
Para verificar o original visite: https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/34339?tipoArquivo=O

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA

O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
IVONEY GONTIJO - SIAPE 1441887
Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas - DCAB/CEUNES
Em 30/06/2020 às 09:42

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/34339?tipoArquivo=O

Este documento foi assinado digitalmente por IVONEY GONTIJO
Para verificar o original visite: https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/34339?tipoArquivo=O

Sumário

RESUMO III

ABSTRACT v

1. CAPÍTULOS 7

1.1. ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO SOB DIFERENTES PLANTAS DE COBERTURA CONSORCIADA COM PIMENTA-DO-REINO. 8

Resumo 8

Abstract 9

Introdução 9

Material e métodos 11

Resultados e discussão 15

Conclusões 23

Referências 23

1.2. ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO CULTIVADO COM PIMENTA-DO-REINO CONSORCIADO COM PLANTAS DE COBERTURA 28

Resumo 28

Abstract 29

Introdução 29

Material e Métodos 31

Resultados e discussão 34

Conclusões 42

Referências 42

Anexo 46

RESUMO

SILVA, Bruno Eustáquio Cirilo; M.Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; Fevereiro de 2020; **CULTIVO INTERCALAR DE PLANTAS DE COBERTURA NA CULTURA DA PIMENTA-DO-REINO**; Orientador: D.Sc. Ivoney Gontijo.

O Espírito Santo destaca-se no cenário nacional como maior produtor de pimenta-do-reino do país. Nesta região, observa-se frequentemente o solo exposto, o que predispõe o solo à erosão hídrica e decréscimo do teor de matéria orgânica. O uso de plantas de cobertura pode provemover melhorias na qualidade física e química dos solos, promovendo a sustentabilidade das lavouras. Objetivou-se nesse estudo avaliar diferentes espécies utilizadas como plantas de cobertura sob os atributos físicos e químicos do solo, em lavouras de pimenta-do-reino localizadas na região norte do estado do Espírito Santo. O experimento foi conduzido por três ciclos em uma lavoura comercial de pimenta-do-reino da variedade Bragantina, instalada no ano de 2014, plantada no espaçamento 3,0 x 2,0 m (1.667 plantas ha^{-1}), irrigação por gotejamento, localizada no município de São Mateus, norte do Espírito Santo. O experimento foi instalado em abril de 2017, com os tratamentos foram dispostos em blocos casualizados, com quatro repetições, totalizando 24 parcelas experimentais, sendo utilizadas quatro espécies de plantas de cobertura e mais um tratamento em que não havia plantas de cobertura na entrelinha na entrelinha (cultivo solteiro). Foram utilizadas como plantas de cobertura crotalária (*Crotalaria spectabilis*), feijão guandu anão (*Cajanus cajan*), milheto (*Pennisetum glaucum* L.) e braquiária ruziziensis (*Brachiaria ruziziensis*). Foram avaliados dados referentes à massa fresca e seca das plantas de cobertura, produtividade das plantas de pimenta-do-reino, análise físico-hidrica do solo (água disponível no solo, condutividade hidráulica, densidade do solo, estabilidade de agregados, macroporosidade, microporosidade, resistência à penetração em laboratório e no campo). Foram coletadas folhas das plantas de cobertura e da pimenta-do-reino para avaliar o teor de nutrientes e coletadas amostras de solo para avaliar dados referentes aos atributos químicos do solo nas profundidades de 0-10 cm e de 10-20 cm (pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, MO, Zn, Cu, Mn, Fe). O tratamento com a sequencia de braquiária (BBB) foi o que apresentou melhor estabilidade de agregados e condutividade hidráulica. As plantas de cobertura

promoveram aumento significativo no teor de matéria orgânica e fósforo com o uso de plantas de cobertura. O cultivo de plantas de cobertura proporcionou uma grande produção de palhada e, consequentemente, um grande acúmulo de nutrientes, sendo assim uma prática conservacionista de grande importância para a sustentabilidade e rentabilidade da lavoura de pimenta-do-reino.

Palavras chave: manejo do solo, adubos verdes, fertilidade do solo, ciclagem de nutrientes.

ABSTRACT

SILVA, Bruno Eustáquio Cirilo; M.Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; Fevereiro de 2019; **INTERIM CULTIVATION OF COVER PLANTS IN THE CULTURE OF PEPPER** ; Advisor: D.Sc. Ivoney Gontijo.

Espírito Santo stands out on the national scene as the largest black pepper producer in the country. In this region, the exposed soil is often observed, which predisposes the soil to water erosion and a decrease in the organic matter content. The use of cover crops can provide improvements in the physical and chemical quality of the soil, promoting the sustainability of crops. The objective of this study was to evaluate different species used as cover plants under the physical and chemical attributes of the soil, in black pepper crops located in the northern region of the state of Espírito Santo. The experiment was conducted for three cycles in a commercial black pepper crop of the Bragantina variety, installed in 2014, planted at 3.0 x 2.0 m (1,667 plants ha-1), drip irrigation, located in the municipality of São Mateus, north of Espírito Santo. The experiment was installed in April 2017, with the treatments arranged in randomized blocks, with four replications, totaling 24 experimental plots, using four species of cover plants and another treatment in which there were no cover plants between the lines between the lines. (single cultivation). Crotalaria cover plants (Crotalaria spectabilis), dwarf pigeon pea (Cajanus cajan), millet (Pennisetum glaucum L.) and brachiaria ruziziensis (Brachiaria ruziziensis) were used. Data regarding the fresh and dry mass of cover plants, productivity of black pepper plants, soil physical-hydraulic analysis (available water in the soil, hydraulic conductivity, soil density, aggregate stability, macroporosity, microporosity) were evaluated resistance to penetration in the laboratory and in the field). Leaves of cover plants and black pepper were collected to evaluate the nutrient content and soil samples were collected to evaluate data regarding the chemical attributes of the soil at depths of 0-10 cm and 10-20 cm (pH, P, K, Ca, Mg, Al, H + Al, MO, Zn, Cu, Mn, Fe). The treatment with the brachiaria sequence (BBB) showed the best aggregate stability and hydraulic conductivity. The cover plants promoted a significant increase in the content of organic matter and phosphorus with the use of cover plants. The cultivation of cover crops provided a large production of straw and, consequently, a large accumulation of nutrients, thus being a conservation practice of great importance for the sustainability and profitability of the

black pepper crop.

Key words: soil management, green manure, soil fertility, nutrient cycling.

1. CAPÍTULOS

1.1. ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO SOB DIFERENTES PLANTAS DE COBERTURA CONSORCIADA COM PIMENTA-DO-REINO

Resumo

No norte do estado do Espírito Santo, observa-se frequentemente o solo exposto, o que o predispõe à erosão hídrica e decréscimo do teor de matéria orgânica. O uso de plantas de cobertura pode provemover melhorias na qualidade física e química dos solos, promovendo a sustentabilidade das lavouras. Objetivou-se neste estudo avaliar o efeito do cultivo intercalar de diferentes espécies utilizadas como plantas de cobertura sobre atributos físico-hídricos de solo em lavoura de pimenta-do-reino localizada na região norte do estado do Espírito Santo. O trabalho foi desenvolvido em uma lavoura comercial, instalada no ano de 2014, com espaçamento 3,0 x 2,0 m, em São Mateus-ES. Iniciou-se a pesquisa em abril de 2017, com a semeadura das plantas de cobertura, em DBC, com quatro espécies e um controle sem o cultivo de planta de cobertura, com quatro repetições. Foram utilizadas como plantas de cobertura, crotalária (*Crotalaria spectabilis*), feijão guandu (*Cajanus cajan*), milheto (*Pennisetum glaucum* L.) e braquiária (*Brachiaria ruziziensis*). Análises físicas do solo foram: a agregação e densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, água disponível, resistência à penetração, condutividade hidráulica e produtividade da pimenta-do-reino. As plantas de cobertura na entre linha da pimenta-do-reino proporcionam melhorias na agregação e na condutividade hidráulica, com destaque para o tratamento BBB, contudo, a produtividade não foi alterada.

Palavras-chave: Manejo do solo, adubo verde, física do solo.

Abstract

In the north of the state of Espírito Santo, the exposed soil is often observed, which predisposes it to water erosion and a decrease in the organic matter content. The use of cover crops can provide improvements in the physical and chemical quality of soils, promoting the sustainability of crops. The objective of this study was to evaluate the effect of intercropping of different species used as cover crops on soil physical-hydric attributes in black pepper fields located in the northern region of the state of Espírito Santo. The work was developed in a commercial field, installed in 2014, with 3.0 x 2.0 m spacing, in São Mateus-ES. The research started in April 2017, with the sowing of cover plants, in DBC, with four species and a control without the cultivation of cover plant, with four replications. They were used as cover plants, crotalaria (Crotalaria spectabilis), pigeon pea (Cajanus cajan), millet (Pennisetum glaucum L.) and brachiaria (Brachiaria ruziziensis). Physical soil analyzes were: soil aggregation and density, total porosity, macroporosity, microporosity, available water, resistance to penetration, hydraulic conductivity and black pepper productivity. Coverage plants between the black pepper line provide improvements in aggregation and hydraulic conductivity, with emphasis on the BBB treatment, however, productivity has not changed.

Key words: Soil management, green manure, soil physics.

Introdução

O Brasil figura entre os maiores produtores de pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) do mundo, oscilando entre a segunda e a terceira posição mundial segundo dados da FAO (2017). Segundo dados do IBGE (2018), o estado do Espirito Santo é o maior produtor nacional de pimenta-do-reino com 60,4 mil toneladas, tendo o estado uma área colhida de 15.208 ha e uma produtividade média de 3,97 mil toneladas por hectare, a pimenta-do-reino é cultivada principalmente na região norte do estado destacando-se os municípios de São Mateus que é o maior produtor nacional, Jaguaré e Nova Venécia (IBGE, 2018). Nessa região ocorrem predominantemente solos de Tabuleiros costeiros. Os Tabuleiros Costeiros se distribuem como uma faixa litorânea e parte da faixa sublitorânea em quase toda a costa do Brasil, ocupando a maior área do Estado, cerca de 29% (COELHO et al., 2012). Uma das características desta formação geomorfológica é a presença de solos com baixa fertilidade natural e

horizonte subsuperficial coeso que afeta os processos e fenômenos físicos no solo com destaque para drenagem, teor de água disponível, aeração, temperatura, penetração radicular e absorção de nutrientes (OLIVEIRA et al., 2014). Frequentemente, observa-se o solo exposto, no qual o manejo inadequado de controle de plantas daninhas favorece o processo erosivo comprometendo a sustentabilidade da atividade. A erosão em um processo mais avançado não transporta somente os sedimentos, mas também remove nutrientes, matéria orgânica e agroquímicos do sistema de produção (AVANZI et al., 2013).

O uso de plantas de cobertura de solo, em especial as de verão, é uma prática conservacionista que pode prover melhorias na qualidade física dos solos, por meio de seu potencial efeito sobre a densidade volumétrica, porosidade, condutividade hidráulica, agregação etc, sendo que essas exercem influência direta sobre a estrutura desses solos (ARGENTON et al., 2005). Estudos recentes têm destacado o efeito benéfico de plantas de cobertura nas propriedades edáficas e no rendimento de culturas, decorrentes da ciclagem de nutrientes e da decomposição da palhada, alterando as condições físicas do solo (ALMEIDA et al., 2018). De maneira isolada, a presença da cobertura do solo por resíduos vegetais é o fator mais importante na dissipação da energia de impacto das gotas da chuva na superfície do solo, visto que ela pode evitar a desagregação de suas partículas. Os resíduos vegetais protegem a superfície do solo dos impactos das gotas de chuva e reduzem a erosão, aumentando assim o armazenamento de água no perfil do solo (OLIVEIRA et al., 2016).

A determinação dos atributos físicos do solo é de grande importância para o monitoramento da condição das lavouras, pois ela permite a caracterização da qualidade estrutural do solo, o que é determinante para a manutenção e aumento da produtividade, possibilitando um manejo mais sustentável. Um índice de qualidade do solo deve integrar propriedades físicas, químicas e biológicas, para assim permitir a obtenção de um índice confiável. Um atributo indicador da qualidade do solo deve ser sensível às variações do manejo ao qual o solo está submetido (MOTA et al., 2013). Alguns destes atributos físicos tem sido utilizados com frequência para aferir os impactos causado pelos diferentes manejos, como: densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt), capacidade de retenção de água e estabilidade de agregados (PEZARICO et al., 2013).

Já a condutividade hidráulica do solo representa a facilidade com que a água flui no solo, sendo um atributo físico-hídrico do solo que assume relevância por

fornecer informações imprescindíveis da capacidade de transporte de água (TREVISAN et al., 2009). Diferentes estudos têm mostrado o impacto negativo da redução da disponibilidade de água nos índices produtivos da cultura, sendo que a disponibilidade hídrica é a maior causa de variação da produtividade nos diferentes solos brasileiros (SILVA et al., 2013).

Entre as diferentes propriedades o solo que podem ser utilizadas para avaliar sua estrutura, a infiltração de água é uma das mais importantes, visto que integra diferentes fatores, como a distribuição do tamanho e continuidade de poros, poros biológicos e a cobertura do solo (REICHERT et al, 2003). A decomposição das raízes produz macroporos contínuos e com maior estabilidade, o que favorece a infiltração de água e trocas gasosas e reduz o escoamento superficial. Espécies com raízes profundas, com alta densidade e que possuem capacidade de romper camadas compactadas são preferíveis por formar bioporos, os quais são responsáveis por aumentar a condutividade hidráulica do solo e reduzir o potencial de gerar o escoamento (YU et al., 2016).

Como os atributos físico-hídricos do solo têm importante influência no crescimento e desenvolvimentos das plantas, e diante do número reduzido de investigações científicas associadas à cultura da pimenta-do-reino. Objetivou-se neste estudo avaliar o efeito das plantas consorciadas com a pimenta-do-reino nos atributos físicos do solo.

Material e métodos

O experimento foi conduzido por três ciclos em uma lavoura comercial de pimenta-do-reino da variedade Bragantina, instalada no ano de 2014, plantada no espaçamento 3,0 x 2,0 m (1.667 plantas ha^{-1}), por gotejamento, localizada no município de São Mateus, norte do Estado do Espírito Santo. A área experimental está localizada nas coordenadas geográficas: 18° 42’ de Latitude Sul e 39° 51 de Longitude Oeste de Greenwich com altitude média de 36 metros. O solo é um Latossolo Amarelo distrófico (LAd), textura franco-argiloarenosa (EMBRAPA, 2014), com teores de argila, silte e areia de 344, 113 e 543 g kg^{-1} , respectivamente, determinado na profundidade de 0-20 cm. O clima do município de São Mateus é Aw, conforme classificação de Koppen, caracterizado por clima tropical úmido, com inverno seco e chuvas máximas

no verão (ALVARES et al., 2013). Foi mantida a adubação de rotina da propriedade, visando manter a produtividade da lavoura, nas doses de 50 g planta^{-1} do formulado NPK 22-00-22, feita via fertirrigação a cada sete dias durante toda a condução do experimento.

O experimento foi instalado em abril de 2017, com os tratamentos dispostos em blocos casualizados, com quatro repetições, totalizando 24 parcelas experimentais, sendo utilizadas quatro espécies de plantas de cobertura e mais um tratamento onde não havia plantas de cobertura na entre-linha na entre-linha (cultivo solteiro), sendo elas: crotalária (*Crotalaria spectabilis*), feijão guandu anão (*Cajanus cajan*), milheto (*Pennisetum glaucum* L.) e braquiária ruziziensis (*Brachiaria ruziziensis*). Foi realizada uma sucessão de plantas de cobertura de acordo com a tabela 1. Cada parcela experimental foi composta por cinco plantas de pimenta-do-reino. Para as avaliações foram consideradas as três centrais como plantas úteis, e as duas laterais como bordadura.

Tabela 1. Sequência do esquema de plantas de cobertura

	Período de cultivo		
Tratamentos	2017/1	2017/2	2018/2
CMF	Crotalária	Milheto	Feijão guandu
FBC	Feijão guandu	Braquiária	Crotalária
BCM	Braquiária	Crotalária	Milheto
MFB	Milheto	Feijao guandu	Braquiária
BBB	Braquiária	Braquiária	Braquiária
SSS	Solteiro	Solteiro	Solteiro

As plantas de cobertura foram semeadas manualmente na entrelinha da lavoura, em abril/2017, outubro/2017 e outubro/2018. Foram semeadas 4 linhas de plantas de cobertura por parcela de cultivo de pimenta-do-reino, com espaçamento de 0,33 m entre elas. Foi mantida uma distância de 1 m das plantas de cobertura e as plantas de pimenta-do-reino, para minimizar qualquer tipo de competição por água, luz e nutrientes. As plantas foram manejadas com roçadeira, aproximadamente aos 100 dias, no estádio de pleno florescimento, sendo realizada a ceifa de todas as plantas de cobertura para facilitar o manejo. Devido ao grande potencial de rebrota da braquiária, o tratamento BBB foi conduzido durante todo o ano com roçadas a cada 120 dias.

As amostras para a determinação da densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, água disponível, resistência à penetração em bancada e estabilidade de agregados foram coletadas no mês de março de 2019, na linha do rodado do trator (Trator Agritech modelo 1145-4, 33 cv de potência, pneus dianteiros 4.00x15 e pneus traseiros 9.5x24) considerado o ponto mais crítico da lavoura, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

A macroporosidade, microporosidade e porosidade total foram determinadas pelo método da mesa de tensão (EMBRAPA, 2017). Após atingirem o equilíbrio, as amostras foram pesadas e em seguida submetidas ao teste de resistência a penetração (RP) em laboratório, utilizando o penetrógrafo eletrônico de bancada, da marca Marconi, modelo MA 933, composto por uma célula de carga com capacidade nominal de 20 kg acoplada à extremidade de um braço mecânico, movimentando verticalmente. Uma haste de 4 mm e ponteira cônica foi utilizada para penetrar as amostras. A velocidade de deslocamento vertical da haste foi de 40 mm min^{-1} até a profundidade de 4 cm. As medidas obtidas a partir da superfície da amostra até a profundidade de 1,0 cm foram descartadas conforme recomendado por Tormena et al. (1988). As leituras de RP foram obtidas por meio de um sistema automatizado de aquisição de dados e armazenadas em arquivos de extensão txt. Logo após o teste de RP, as amostras foram secas em estufa, a 105°C por 48h, e pesadas novamente para determinação da densidade por meio do metódo do anel volumétrico (EMBRAPA, 2017).

As amostras em torrões foram coletadas com auxílio de enxadão, acondicionadas em sacos de plástico e, posteriormente, secas ao ar. No preparo das amostras, os torrões foram destorroados manualmente, tomando-se cuidado para não destruir os agregados. Em seguida, os agregados foram tamisados em peneiras de 8 mm e 4,75 mm, e os agregados retidos na menor peneira foram selecionados para a análise laboratorial via úmida (EMBRAPA, 2017). O tamisamento via úmida foi utilizado para a determinação da distribuição das classes de agregados, utilizando-se, o aparelho preconizado por Yoder (1936), que foi calibrado para funcionar durante 4 minutos, com 32 oscilações por minuto. Para a separação entre as classes de agregados determinaram-se as seguintes classes: agregados > 2,0 mm; agregados entre 2,0-1,0 mm; agregados entre 1,0-0,5 mm; agregados entre 0,5-0,25 mm e agregados < 0,25 mm. Após a separação das classes de agregados foi calculado o

diâmetro médio ponderado (DMP e DMG, em mm), conforme Kemper e Chepil (1965). As equações utilizadas foram as seguintes:

$$DMP = \sum_{1}^{n} (ai \times wi)$$ Eq. (1)

em que:

wi = proporção em massa de cada classe em relação ao total;

ai = diâmetro médio das classes (mm).

$$DMG = e^{\sum_{i=1}^{n} wp.\ln ai / \sum_{i=1}^{n} wp}$$ Eq. (2)

em que:

wp = massa dos agregados de cada classe (g)

O índice de estabilidade de agregados (IEA) representa uma medida da agregação total do solo e não considera a distribuição por classe de agregados; logo, quanto maior a quantidade de agregado, < 0,25 mm, menor será o IEA. Este índice foi calculado conforme a equação 3:

IEA= [(PA - wp<0,25) / (PA)] × 100 Eq. (3),

em que PA é o peso da amostra; wp<0,25 corresponde ao peso dos agregados da classe <0,25 mm, dado em g (DEMARCHI et al., 2011).

As medidas de condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat) foram realizadas com o uso de um permeâmetro de Guelph, de acordo com os procedimentos descritos no manual de instruções operacionais do equipamento (SOIL MOISTURE, 2005). As medidas das taxas de infiltração foram realizadas em cargas constantes de 0,05 m (R1) e 0,10 m (R2) de água em intervalos de tempo de 10 minutos, na profundidade de 15 cm, sendo o aparelho instalado na linha do rodado a 90 cm da linha de plantio. Por meio da Eq.4 foi possível calcular a condutividade hidráulica do solo saturado.

Ksat = (0,0041) (X) (R2) – (0,0054)(X) (R1) Eq. (4)

em que: Ksat - condutividade hidráulica do solo saturado (cm s^{-1}); R1 e R2 - taxas de infiltração de água determinadas pelo permeâmetro para as cargas constantes de 0,05 e 0,10 m, respectivamente.

X - constante fornecida pelo fabricante do permeâmetro, 35,22 para o reservatório combinado.

Para a determinação da água disponível no solo para as plantas foi determinada a umidade do solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente segundo metodologia da Embrapa (2017). A subtração entre CC – PMP resulta na água disponível (AD) para as plantas.

Foi quantificada a produtividade da lavoura afim de se verificar o sistema de manejo de planta de cobertura com melhor resposta.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste de F e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p<0,05$), utilizando-se o programa estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2003).

Resultados e discussão

A avaliação da estabilidade de agregados do solo mostrou que as classes de agregados, assim como o DMP e o DMG, variaram em função dos diferentes tratamentos de planta de cobertura (Tabelas 2 e 3). De acordo com Moreira et al. (2009), diferentes plantas de cobertura influenciam, de forma diferenciada, as características físicas do solo, como: estabilidade de agregados, diâmetro de poros e densidade do solo. As raízes de plantas aceleram a agregação, tanto pela liberação de exsudados orgânicos que servem de energia para a atividade microbiana, como pela sua atuação na aproximação das partículas minerais pelas pressões exercidas durante seu crescimento e na absorção de água, favorecendo a coesão entre as partículas do solo (BRANDÃO e SILVA, 2012).

Tabela 2. Distribuição dos agregados (%) em classes sob diferentes culturas de coberturas.

Tratamentos	>2mm	2-1 mm	1-0,5 mm	0,5-0,25 mm	<0,25mm
			Camada de 0-10 cm		
SSS	27,06 b	16,80 a	22,41 a	19,77 a	13,96 a
CMF	45,87 b	14,43 a	16,27 ab	12,69 ab	10,74 ab
MFB	49,04 ab	11,16 ab	13,64 ab	14,75 ab	11,41 ab
FBC	45,44 b	12,47 ab	15,56 ab	14,92 ab	11,61 ab
BCM	50,80 ab	11,13 ab	13,67 ab	12,89 ab	11,51 ab
BBB	74,04 a	6,00 b	6,90 b	7,11 b	5,95 b
CV (%)	23,22	24,89	30,15	30,03	27,68
			Camada de 10-20 cm		
SSS	32,92 ab	15,95 a	20,16 a	16,85 a	14,12 a
CMF	26,03 b	17,27 a	22,14 a	17,42 a	15,92 a
MFB	43,93 ab	11,49 a	16,37 a	15,00 a	13,21 a
FBC	36,00 ab	17,30 a	19,41 a	15,90 a	11,37 a
BCM	48,38 ab	12,78 a	15,15 a	11,24 a	12,45 a
BBB	57,35 a	10,10 a	12,53 a	9,63 a	10,40 a
CV (%)	30,98	29,07	28,91	29,12	44,75

*Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem, significativamente, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.
*B- Braquiária; C- Crotalária; F- Feijão guandu; M- Milheto; S- Solteiro.

Para a camada de 0-10 cm, todos os tratamentos com plantas de cobertura propiciaram maiores valores tanto para a classe >2 mm e para DMG e DMP quando comparados ao cultivo de pimenta-do-reino solteiro. Wohlenberg et al. (2004), avaliando a estabilidade dos agregados sob a influência dos sistemas de culturas em Argissolo Vermelho-Amarelo, observaram relação direta das culturas na formação e estabilização de agregados, em que a estabilidade e distribuição do tamanho dos agregados maiores em sistemas de cultivo que fornecem material orgânico e cobertura do solo o ano todo. Calonego e Rosolem (2008) verificaram que a

escarificação do solo e a ausência do cultivo de plantas de cobertura proporcionaram menores porcentagens de agregados maiores que 2 mm.

O tratamento com a sequência de braquiária (BBB) foi o que apresentou a maior estabilidade de agregados, apresentando maiores valores para IEA, DMG e DMP (Tabela 3) e classe > 2mm (Tabela2) para ambas as camadas. Para a camada superficial foram encontrados os valores de 74,04%, 94,05%, 3,14 e 3,87 respectivamente para classe >2 mm, IEA, DMG e DMP para o tratamento BBB. Em estudo semelhante, Demarchi et al. (2011) compararam cinco sistemas de manejo, avaliaram DMP e DMG e IEA e >2mm e observaram os melhores índices na área de pastagem (*Urochloa brizantha*), que apresentaram os valores de 4,12 e 2,96 mm; e 92,9 e 79,7%, valores bem próximos aos encontrados no presente estudo. Assim, pode-se inferir que a elevada porcentagem de agregados maiores que 2 mm de diâmetro e DMP, DMG e IEA observados na área sob o tratamento com sequência de braquiária se devem a dois fatores principais: à presença do sistema radicular abundante e agressivo desta gramínea e à exsudação de compostos orgânicos por suas raízes (SANTOS et al. 2012), que possivelmente devem ter contribuído para a formação de agregados mais estáveis. Outro fato que pode ser considerado fundamental na maior estabilidade de agregados do tratamento BBB é a permanência da cultura na área o ano todo, sendo controlada por meio de roçadas a cada 120 dias, o que propiciou um grande acúmulo de material orgânico na área, uma grande quantidade de raízes em decomposição e consequente proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva e o escoamento superficial.

Outro fator importante a ser considerado em relação à agregação do solo é a relação C/N das plantas de cobertura. Segundo Alvarenga et al., (2001), as gramíneas por possuírem maior relação C/N e mais lenta decomposição da sua biomassa vegetal, proporcionam um maior tempo de cobertura em relação às leguminosas e, consequentemente, uma melhor agregação.

Os elevados valores de IEA obtidos são decorrentes da proteção proporcionada pelos resíduos vegetais das diferentes coberturas do solo, que protegem o solo contra a desagregação causada pelo impacto das chuvas e variações bruscas de umidade do solo e fornecem energia da matéria orgânica para a atividade microbiana, que produz substâncias responsáveis pela formação e estabilização dos agregados, além do efeito agregador das raízes dessas plantas (WENDLING et al.,

2005; TORRES et al., 2015). BERTOL et al. (2004) destacaram que o C orgânico é um dos principais fatores de formação e estabilização dos agregados, que, na ausência de preparo, os ciclos de umedecimento e secagem do solo são potencializados e consolidam a agregação.

Quanto à relação entre a matéria orgânica e a estabilidade dos agregados, os resultados destes corroboraram aqueles apresentados por Salton et al. (2008), os quais mostraram os efeitos positivos da matéria orgânica, representada pelo teor de carbono orgânico, sobre a agregação do solo.

Tabela 3. Índice de Estabilidade de Agregados (IEA), Diâmetro Médio Geométrico (DMG), Diâmetro Ponderado (DMP) e teor de matéria orgânica (MO).

Tratamentos	IEA (%)	DMG (mm)	DMP (mm)	MO (dag dm^{-3})
		Camada de 0-10 cm		
SSS	85,03 b	1,08 c	2,08 c	2,00 b
CMF	89,26 ab	1,32 bc	2,41 bc	2,18 ab
MFB	88,59 ab	1,35 bc	3,02 b	2,68 a
FBC	88,10 ab	1,30 bc	2,64 bc	2,10 b
BCM	88,49 ab	1,60 b	2,81 bc	2,58 ab
BBB	94,05 a	3,14 a	3,87 a	2,43 ab
CV (%)	3,17	10,16	12,34	10,98
		Camada de 10-20 cm		
SSS	86,64 a	1,06 b	2,07 cd	2,15 a
CMF	82,70 a	1,08 b	1,96 a	2,35 a
MFB	86,81 a	1,35 ab	2,56 abc	2,18 a
FBC	88,63 a	1,24 ab	2,28 bcd	2,30 a
BCM	87,55 a	1,55 a	2,78 ab	2,43 a
BBB	88,16 a	1,55 a	2,91 a	2,43 a
CV (%)	4,83	12,55	9,17	12,63

*Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem, significativamente, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.
*B- Braquiária; C- Crotalária; F- Feijão guandu; M- Milheto; S- Solteiro.

Analisando os dados da tabela 4 observa-se que não houve diferença significativa para os atributos de densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, o que corrobora com os trabalhos de Silva et al., 2009; Cardoso et al., 2013; Borges et al., 2016, onde os autores utilizaram diferentes tipos de plantas

de cobertura. O fato de não apresentar diferença significativa nesses atributos pode ser explicado pelo curto período de execução de experimento que foi de apenas 2 anos, considerado curto para recuperar a qualidade física do solo, como observado por Genro Junior et al. (2004).

Tabela 4. Valores de densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt).

Tratamentos	Ds	Ma	Mi	Pt
	kg dm^{-3}	---------- m^3 m^{-3}----------		
		Camada de 0-10 cm		
SSS	1,60 a	0,14 a	0,30 a	0,44 a
CMF	1,58 a	0,16 a	0,30 a	0,46 a
MFB	1,74 a	0,07 a	0,33a	0,40 a
FBC	1,65 a	0,14 a	0,30 a	0,44 a
BCM	1,59 a	0,16 a	0,29 a	0,45 a
BBB	1,71 a	0,11 a	0,32 a	0,43 a
CV (%)	5,77	34,67	8,59	7,66
		Camada de 10-20 cm		
SSS	1,52 a	0,20 a	0,27 a	0,47 a
CMF	1,65 a	0,15 a	0,30 a	0,45 a
MFB	1,63 a	0,15 a	0,32 a	0,47 a
FBC	1,68 a	0,14 a	0,29 a	0,43 a
BCM	1,60 a	0,19 a	0,28 a	0,47 a
BBB	1,68 a	0,16 a	0,29 a	0,45 a
CV (%)	5,86	24,49	7,30	8,68 a

*Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem, significativamente, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.
*B- Braquiária; C- Crotalária; F- Feijão guandu; M- Milheto; S- Solteiro.

A ausência de diferenças estatísticas entre valores de densidade do solo nos tratamentos de cobertura avaliados sugere o efeito do sistema radicular das plantas. Os dados obtidos para a área com cultivo solteiro, semelhantes ao uso de plantas de cobertura, também indicam efeito dessa prática sobre os valores de densidade, ainda que se espere no longo prazo, maior efeito dos vegetais manejados.

Azevedo e Dalmolin (2006) preconizaram níveis de microporosidade acima de 0,33 m^3 m^{-3} e valores de 0,50 m^3 m^{-3} como limite inferior de porosidade total, para o

solo agrícola ideal, no entanto, à medida que a vegetação natural é retirada e o solo manejado visando à produtividade de grãos, fibras, entre outros, há alterações nos seus atributos. Cada tipo de solo tem a sua capacidade de suporte, portanto, as alterações dependem da constituição de cada um. O Latossolo estudado tem a textura franco argilo-arenosa. Isso explica o fato de a microporosidade dos diferentes tratamentos ter sido encontrada abaixo de 0,33 m^3 m^{-3}. Bonini et al. (2015), relataram que a microporosidade do solo é um atributo pouco influenciado pelo manejo do solo. Com degradação ou melhoria da sua estrutura a macroporosidade é afetada diretamente; já a microporosidade altera pouco, pois esta está mais relacionada a sua textura.

Valores de macroporosidade inferiores a 0,10 m^3 m^{-3} constituem limitação ao crescimento radicular (VOMOCIL e FLOCKER, 1961), porém, no presente estudo, nas duas camadas avaliadas, apenas o tratamento MFB na camada superficial propiciou macroporosidade inferior a 0,10 m^3 m^{-3}. O valor de 0,10 m^3 m^{-3} é um indicador de degradação do solo, cujo valor abaixo deste pode causar restrições ao desenvolvimento radicular devido à baixa aeração e aumento da resistência à penetração do solo. Para Effgen et al. (2012), as partículas dispersas pelo impacto das gotas de chuvas em solos desnudos são carregadas e rearranjadas nos poros maiores, reduzindo principalmente a macroporosidade, o que não foi observado no presente trabalho, mas que é um resultado esperado em trabalhos a longo prazo.

Analisando os dados tabela 5, observa-se que não houve diferença significativa entre as coberturas em ambas as camadas para a resistência a penetração com a utilização do penetrômetro de bancada. Para Tormena e Roloff (1996), estes valores não causam restrições ao crescimento radicular, o mesmo considera que valores acima de 2,0 Mpa são considerados limitantes ao pleno crescimento das raízes das plantas. Espera-se que ao longo do tempo, o tratamento sem cobertura venha a ter um aumento nos valores de resistência a penetração.

Tabela 5. Resistência á penetração com o uso do penetrômetro bancada em Mpa.

	Camada de 0-10 cm	Camada de 10-20 cm
	Mpa	Mpa
SSS	1,55 a	1,37 a
CMF	1,54 a	1,43 a
BCM	1,17 a	1,14 a

MFB	1,54 a	1,27 a
FBC	1,39 a	1,25 a
BBB	1,37 a	1,38 a
CV (%)	24,03	19,9

*Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem, significativamente, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.
*B- Braquiária; C- Crotalária; F- Feijão guandu; M- Milheto; S- Solteiro.

A não significância da CC, PMP e CC (Tabela 6) mesmo em camada superficial sugere a expressiva contribuição da matéria orgânica do solo, mesmo o cultivo solteiro apresentando um teor abaixo dos outros, este ainda se encontra dentro de uma faixa adequada conforme verificado em Prezotti (2007).

Tabela 6. Capacidade de campo (CC), Ponto de murcha permanente (PMP) e Água disponível (AD).

Tratamentos	CC	PMP	AD
	Camada de 0-10 cm		
	----------kg kg^{-1}----------		
SSS	0,12 a	0,09 a	0,03 a
CMF	0,12 a	0,11 a	0,01 a
BCM	0,12 a	0,10 a	0,02 a
MFB	0,13 a	0,10 a	0,03 a
FBC	0,12 a	0,09 a	0,03 a
BBB	0,12 a	0,10 a	0,02 a
CV (%)	8,29	14,75	14,76
	Camada de 10-20 cm		
SSS	0,10 a	0,09 a	0,02 a
CMF	0,11 a	0,10 a	0,01 a
BCM	0,10 a	0,09 a	0,01 a
MFB	0,11 a	0,10 a	0,01 a
FBC	0,11 a	0,09 a	0,02 a
BBB	0,10 a	0,09 a	0,01 a
CV (%)	8,16	8,13	23,13

*Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem, significativamente, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.
*B- Braquiária; C- Crotalária; F- Feijão guandu; M- Milheto; S- Solteiro.

Com relação a condutividade hidráulica (Tabela 7), observa-se que o tratamento BBB apresenta uma condutividade hidráulica superior aos demais tratamentos, isso provavelmente devido ao robusto sistema radicular. As inserções de culturas que apresentem raízes robustas e profundas instigam efeitos biológicos positivos que ampliam a porosidade do solo, contribuindo com a destruição das camadas compactadas, propiciando a formação de bioporos, aumentando a porosidade e a capacidade de infiltração de água no perfil do solo (CALEGARI e COSTA, 2009).

Tabela 7. Condutividade hidráulica e produtividade, em peso seco.

Tratamentos	Ksat	Produtividade
	mm h^{-1}	kg ha^{-1}
SSS	4,71 c	4311 a
CMF	5,60 bc	4691 a
BCM	12,69 bc	4274 a
MFB	15,6 bc	5394 a
FBC	19,27 b	5256 a
BBB	66,23 a	5623 a
CV (%)	29,31	18,60

*Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem, significativamente, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.
*B- Braquiária; C- Crotalária; F- Feijão guandu; M- Milheto; S- Solteiro.

Segundo Lanzanova et al. (2010), a macroporosidade e os poros deixados pelas raízes mortas de plantas aumenta o fluxo preferencial da água elevando a quantidade de água infiltrada e consequentemente maior drenagem, isso justifica a infiltração no tratamento BBB ser quase quinze vezes maior que no tratamento SSS. Souza et al. (2014) trabalhando com café Conilon na região de tabuleiros costeiros, encontrou os respecivos valores 124,5; 163,33 e 153,56 mm h^{-1} para os café com idades de 11 , 7 e 3 anos na camada de 0-20 cm, sendo estes valores medidos na entrelinha da cultura.

Embora não tenha encontrado alguns efeitos mais marcantes em alguns atributos, é possível observar com o pouco tempo de experimento alguns beneficios com o uso dessa prática conservacionista, como a infiltração de água no solo, sendo esta importante para abastecer o lençol freático. Uma maior infiltração de água é

consequência de um menor escoamento superficial e consequentemente menor perda de solo e nutrientes.

Além do efeito direto das práticas agrícolas sobre os indicadores físicos, considerações acerca da matéria orgânica do solo também são relevantes nesse tipo de estudo, já que perdas e acréscimos desse constituinte orgânico podem ser influenciadas pelas práticas de manejo do solo, assim como a escolha das espécies vegetais para cobertura do solo (SILVA et al., 2009). O incremento de matéria orgânica no solo atua positivamente no processo de recuperação, quer seja por fornecer nutrientes a partir da mineralização e também na melhor estruturação do solo (qualidade física) que vai interferir na porosidade e aeração do solo (BONINI et al., 2015). O tempo de ação das raízes e do material orgânico incorporado é importante no processo de alterações da estrutura do solo e consequentemente nos atributos físicos estudados.

Com relação a produtividade, não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos, embora as médias absolutas de produtividade dos tratamentos com plantas de cobertura sejam superiores aos do cultivo solteiro, chegando o cultivo com sequência e braquiária ter 30% a mais de produtividade que o cultivo solteiro.

Conclusões

O uso de plantas de cobertura promoveu melhorias na agregação do solo e na condutividade hidráulica, com destaque para o cultivo de braquiária em sequência.

O uso de plantas de cobertura na entrelinha da pimenta-do-reino não proporcionou ganhos em produtividade.

O uso da braquiária em cultivos sucessivos destacou-se com o melhor desempenho.

Referências

ALMEIDA, W. S.; PANACHUKI, E.; DE OLIVEIRA, P. T. S.; DA SILVA MENEZES, R.; SOBRINHO, T. A.; DE CARVALHO, D. F. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil and Tillage Research**, v.175, n.1, p.130-138, 2018.

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

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift,** v. 22, n. 6, p.711-728, 2013.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n.3, p.425-435, 2005.

AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; NORTON, L. D.; BESKOW, S.; MARTINS, S. G. Spatial distribution of water erosion risk in a watershed with eucalyptus and Atlantic Forest. **Ciência e Agrotecnologia,** v.37, n.5, p.427-434, 2013.

AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D. **Solos e ambiente: uma introdução**. 2. ed. Santa Maria: Pallotti, 2006. 100 p.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; Leite, D.; AMARA, A. J.; ZOLDAN J. W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.1, p.155-65, 2004.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C.; MONTANARI, R. Recuperação da estrutura de um Latossolo vermelho degradado utilizando lodo de esgoto. **Agrária,** v.10, n.1, p.34-42, 2015.

BORGES, W. L. B.; SOUZA, I. M. D. ; SÁ, M. E.; ALVES, M. C. Alterações físicas em Latossolos cultivados com plantas de cobertura em rotação com soja e milho. **Agrária** (Recife. Online), v.11, n.3, p. 149-155, 2016.

BRANDÃO, E. D.; SILVA, I. F. Formação e estabilização de agregados pelo sistema radicular de braquiária em um Nitossolo Vermelho. **Ciência Rural**, v.42, n.7, p.1193-1199, 2012.

CALEGARI, A.; COSTA, A. Manutenção da cobertura melhora atributos do solo. **Revista Visão Agrícola**, v.1, n.9, p. 13-16, 2009.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v.32, n.4, p.1399-1407, 2008.

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

COELHO, A. L. N; GOULART, A. C. O.; BERGAMASCHI, R. B; TEUBNER JUNIOR, F. J. **Mapeamento geomorfológico do estado do Espírito Santo.** Vitória, ES, 19 p. (Nota Técnica, 28). 2012.

DEMARCHI, J. C.; PERUSI, M. C.; PIROLI, E. L. Análise da estabilidade de agregados de solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo – SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.4, n.2, p.7-29, 2011.

EFFGEN, T. A. M.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V.; LIMA, J. S. de S.; REIS, E. F.; BORGES, E. N. Propriedades físicas do solo em função de manejos em lavouras de cafeeiro conilon. **Revista Ceres,** v.59, n.3, p.414-421, 2012.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 4ª ed. Brasília: EMBRAPA, 2014.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª ed. Brasília. Embrapa, 2017.

FAO. Food And Agriculture Organization of the United Nations: Statistical Division (FAOSTAT), 2016. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em out. 2019.

FERREIRA, D. F. **Sisvar**: Sistema de análise de variância versão 4.6. Lavras: UFLA/DEX, 2003.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola-Lavoura permanete ano 2018**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/15/11863>. Acesso em: nov. 2019.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.3, p. 477-484, 2004.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates: In: Blake, C.A.; Evans, D.D.; White, J.L.; Ensminger, L.E.; Clark, F.E. (Eds.). Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. **Madison: American Society of Agronomy**, p.499-510,1965.

LANZANOVA, M. E.; ELTZ, F. L. F.; NICOLOSO, R. S.; AMADO, T.J.C.; REINERT, D. J.; ROCHA, M. R. Atributos físicos de um Argissolo em sistemas de culturas de longa duração sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v.34, n.4, p. 1333-1342, 2010.

MOREIRA, J. A. A.; AGUIAR, R. A.; STONE, L. F.; BERNARDES, T. G.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. Efeito de diferentes plantas de cobertura do solo sobre alguns atributos do solo em sistema de produção orgânico. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.4, n.2, p.3748-3751, 2009.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. de. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.5, p. 1196-1206, 2013.

OLIVEIRA, A. P. P.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. ZONTA, E.; PEREIRA, M. G. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: Conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de Tabuleiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.9, p.939-947, 2014.

OLIVEIRA, R. A.; BRUNETTO, G.; LOSS, A.; GATIBONI, L. C.; KURTZ, C.; MULLER JÚNIOR, V.; LOVATO, P. E.; OLIVEIRA, B. S.; SOUZA, M.; COMIN, J. J. Cover crops effects on soil chemical properties and onion yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.40, n.3, p.1-17, 2016.

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista Ciência Agronômica,** v.7, n.1, p.40-56, 2013.

PREZOTTI, L. C; GOMES, J. A; DADALTO, G. G; OLIVEIRA, J. A (2007). **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação.** SEEA/Incaper/Cedagro 305p.

RAMOS, F. T; MONARI, Y. C; NUNES, M. C. M; CAMPOS, D. T. S, RAMOS, D. T. Indicadores de qualidade em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagem extensiva no pantanal matogrossense. **Caatinga,** v.23, n.1, p.112-20, 2010.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental,** v.27, n.1, p.29-48, 2003.

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

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

SILVA, M. M.; ALVES, M. C.; SOUZA, A. P.; FERNANDES, F. C. S. Plantas de cobertura e sistemas de preparo: impactos na qualidade física de um solo de Cerrado. **Revista Ceres,** v.56, n.1, p.103-111, 2009.

SILVA, V. P. R.; DA SILVA, B. B.; ALBUQUERQUE, W. G.; BORGES, C. J. R.; DE SOUSA, I. F.; NETO, J. D. Crop coefficient, water requirements, yield and water use efficiency of sugarcane growth in brazil. **Agricultural Water Management,** v.128, n.13, p.102- 109, 2013.

Soil Moisture Equipment Corp. **Guelph Permeameter model 2800K 1** (operating instructions), Santa Bárbara: Soil Moisture Equipment Corp, 2005.

SOUZA, J. M.; BONOMO, R.; PIRES, F. R.; BONOMO, D. Z. Curva de retenção de água e condutividade hidráulica do solo em lavoura de café conilon submetida à subsolagem. **Coffee Science**, v. 9, n. 2, p. 226-236, 2014.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n.2, p.333-339, 1996.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.4, p.573-581, 1998.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ASSIS, R. L.; SOUZA, Z. M. Atributos físicos de um latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v.39, n.2, p. 428-437, 2015.

TREVISAN, R.; SALEM, L. F.; MORAES, J. M.; OLIVEIRA, J. C. M. Condutividade hidráulica do solo saturado na zona vadosa in situ e em laboratório. **Irriga**, v.14, n.3, p.413-422, 2009.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MNDONÇA, E.S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.5, p.487-494, 2005.

VOMOCIL, J. A.; FLOCKER, W. J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers,** v.4, n.1, p.242-246, 1961.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of America Society of Agronomy,** v.28, n.5, p.337-357, 1936.

YU, Y; LOISKANDL, W; KAUL, H. P.; HIMMELBAUER, M; WEI, W.; CHEN, L. D.; BODNER, G. Estimation of runoff mitigation by morphologically differente cover crop root systems. **Journal of Hydrology**, v.538, p.667-676, 2016.

1.2. ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO CULTIVADO COM PIMENTA-DO-REINO CONSORCIADA COM PLANTAS DE COBERTURA

Resumo

Os solos do estado do Espírito Santo apresentam baixa fertilidade natural, o que frequentemente limita a produção das lavouras. Objetivou-se neste estudo avaliar o potencial dos tratamentos de plantas de cobertura nos atributos químicos do solo, no teor e acúmulo de nutrientes e na produtividade da pimenta-do-reino em lavoura localizada na região norte do estado do Espírito Santo. O trabalho foi desenvolvido em uma lavoura comercial, instalada no ano de 2014, com espaçamento 3,0 x 2,0 m, em São Mateus-ES. Iniciou-se a pesquisa em abril de 2017, com a semeadura das plantas de cobertura, em DBC, com quatro espécies e um controle sem o cultivo de planta de cobertura, com quatro repetições. Foram utilizadas como plantas de cobertura, crotalária, feijão guandu, milheto e braquiária. Foram avaliados dados referentes aos atributos químicos do solo, que consistiram de valores de pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, MO, Zn, Cu, Mn, Fe, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, o teor e acúmulo de nutrientes nas folhas das plantas de cobertura e o teor de nutrientes nas folhas de pimenta-do-reino, além da produtividade da pimenta-do-reino. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste de F e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p<0,05$). As plantas de cobertura na entre linha da pimenta-do-reino proporcionam um incremento inicialmente de fósforo e de matéria orgânica na camada de 0-10 cm e, posteriormente um acúmulo de outros nutrientes no solo. A produtividade não foi alterada.

Palavras-chave: Fertilidade do solo, ciclagem de nutrientes, leguminosas, gramíneas.

Abstract

The soils of the state of Espírito Santo have low natural fertility, which often limits crop production. The objective of this study was to evaluate the potential of cover crops treatments in the chemical attributes of the soil, in the content and accumulation of nutrients and in the productivity of black pepper in crops located in the northern region of the state of Espírito Santo. The work was developed in a commercial field, installed in 2014, with 3.0 x 2.0 m spacing, in São Mateus-ES. The research started in April 2017, with the sowing of cover plants, in DBC, with four species and a control without the cultivation of cover plant, with four replications. They were used as cover plants, crotalaria, pigeon pea, millet and brachiaria. Data were evaluated regarding the chemical attributes of the soil, which consisted of pH, P, K, Ca, Mg, Al, H + Al, MO, Zn, Cu, Mn, Fe values, at depths of 0-10 and 10- 20 cm, the content and accumulation of nutrients in the leaves of cover plants and the content of nutrients in the leaves of black pepper, in addition to the productivity of black pepper. The results were subjected to analysis of variance by the F test and the means were compared by the Tukey test ($p < 0.05$). The cover plants in between the black pepper line provide an increase of phosphorus and organic matter in the 0-10 cm layer initially and, later on, an accumulation of other nutrients in the soil. Productivity has not changed.

Keywords: Soil fertility, nutrient cycling, legumes, grasses.

Introdução

O Brasil figura entre os maiores produtores de pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) do mundo, oscilando entre a segunda e a terceira posição mundial segundo dados da FAO (2017). Segundo dados do IBGE (2018), o estado do Espírito Santo é o maior produtor nacional de pimenta-do-reino com 60,4 mil toneladas, tendo o estado uma área colhida de 15.208 ha e uma produtividade média de 3,97 mil toneladas por hectare, superando a média nacional que é de 2,9 mil toneladas por hectare. Com relação à safra 2017, o estado apresentou um incremento de 74,68% na produção e de 56,76% na área colhida. No estado do Espírito Santo, a pimenta-do-reino é cultivada principalmente na região norte, em uma área superior a 10 mil hectares,

destacando-se os municípios de São Mateus, maior produtor nacional, Jaguaré e Nova Venécia (IBGE, 2018). Nesta região, frequentemente, observa-se o solo exposto, no qual o manejo inadequado de controle de plantas daninhas compromete a sustentabilidade da atividade. Este manejo predispõe o solo à erosão hídrica, degradação e decréscimo do teor de matéria orgânica e, consequentemente, da produtividade da lavoura.

Os solos do estado do Espírito Santo apresentam baixa fertilidade natural, o que frequentemente limita a produção das lavouras devido às deficiências de alguns elementos no solo, especialmente os micronutrientes e a matéria orgânica, porém, apresentam alto potencial de produção, sendo necessária a utilização de práticas adequadas de correção e manejo para minimizar suas limitações (PREZOTTI et al., 2007). Uma das práticas que podem ser utilizadas para minimizar essa baixa fertilidade natural, é a utilização de plantas de cobertura.

Segundo Osterroht (2002), entre os efeitos do uso de plantas de cobertura sobre a fertilidade do solo estão a adição de carbono orgânico, a maior capacidade de troca de cátions e a menor acidez; o aumento do fósforo disponível pela ação combinada de micorrizas e exsudatos das raízes; a complexação orgânica do Al e Mn que encontram-se em níveis tóxicos no solo; a adição de N ao sistema pela fixação biológica; a disponibilização de micronutrientes, fixados e indisponíveis devido ao uso excessivo de calagem e adubos químicos e a melhoria no desenvolvimento dos cultivos, aumentando a estabilidade nas produções, ao longo dos anos. A partir da decomposição da fitomassa há aumento no teor de matéria orgânica, desse modo a fitomassa proporciona proteção à superfície do solo, otimiza o uso de fertilizantes devido à ciclagem de nutrientes, e proporciona a disponibilização de nutrientes em momentos adequados para as culturas sucessoras (PACHECO et al., 2011).

É crescente a busca por alternativas de manejo que contribuam para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo com incrementos na produtividade, benéficos ao meio ambiente e com menores custos pela redução do uso de fertilizantes químicos (TEIXEIRA et al., 2012). Além disso algumas plantas possuem efeitos alelopáticos, auxiliando no controle de agentes fitopatogênicos.

Dentre as plantas chamadas de adubos verdes, as leguminosas possuem a capacidade de fixar biologicamente o nitrogênio disponibilizando-o assim para a cultura sucessora, seja por meio da fixação biológica ou pela ciclagem do N absorvido das camadas mais subsuperficiais com a incorporação de biomassa, o que

proporciona economia em fertilizantes nitrogenados (ALBUQUERQUE et al., 2013). Porém, a quantidade de nutrientes liberados pelas gramíneas pode ser igual ou maiores que as leguminosas, a depender da produção de fitomassa produzida e das concentrações de celulose, hemicelulose, lignina e nitrogênio presentes na parte aérea (CARVALHO et al., 2012; DONEDA et al., 2012). Devido sua elevada relação C/N, contribui para redução na taxa de decomposição e para a liberação mais lenta de nutrientes no solo (SILVA et al., 2012).

Dentre as plantas de cobertura utilizadas como adubos verdes, destacam-se: braquiária ruziziensis (*Brachiaria ruziziensis),* crotalária (*Crotalaria spectabilis*), feijão guandu anão (*Cajanus cajan*) e o milheto (*Pennisetum glaucum* L.). A crotalária auxilia na melhoria das características físicas do solo, além de apresentar bom aporte de macronutrientes na massa seca da parte aérea (LEAL et al*.,* 2013). O feijão guandu-anão apresenta sistema radicular profundo e possibilita a reciclagem de nutrientes em camadas mais profundas do solo (FARIAS et al*.,* 2013), apresenta grande ciclagem de nutrientes, com elevado retorno de nitrogênio, fosforo e potássio para o solo, chegando a valores de 100 kg ha^{-1} de N, 18 kg ha^{-1} de P e 100 kg ha^{-1} de K (ARF, et al., 2018). O milheto proporciona características relacionadas à ciclagem de nutrientes, com sistema radicular vigoroso e abundante, permitindo a recuperação de nutrientes que se encontram até a profundidade de 2,0 m (CAZETTA et al., 2005). De maneira geral, espécies do gênero braquiária são importantes cicladoras de nutrientes, pois podem ser capazes de aumentar a eficiência de utilização de P a partir de algumas estratégias como: 1) maior crescimento de raízes; 2) manutenção do P na forma solúvel por mais tempo, através da liberação de ácidos orgânicos (como o citrato, malato e oxalato) que competem com os ortofosfatos pelos sítios de adsorção e minimizam a fixação (PAVINATO et al., 2009); 3) aumento da atividade da fosfatase ácida; mobilização de formas menos disponíveis de P (ROSOLEM et al., 2014)

Objetivou-se, neste estudo, avaliar o potencial de plantas de cobertura no incremento dos atributos químicos do solo, na produção de massa seca, no teor e no acúmulo de nutrientes e na produtividade da pimenta do reino.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido por três ciclos em uma lavoura comercial de pimenta-do-reino da variedade Bragantina, instalada no ano de 2014, plantada no

espaçamento 3,0 x 2,0 m (1.667 plantas ha^{-1}), em regime de irrigação por gotejamento, localizada no municipio de São Mateus, norte do Espírito Santo. A área experimental está localizada nas coordenadas geográficas: 18° 42' de Latitude Sul e 39° 51 de Longitude Oeste de Greenwich com altitude média de 36 metros. O solo é um Latossolo Amarelo distrófico (LAd), textura franco-argiloarenosa (EMBRAPA, 2014), com teores de argila, silte e areia de 344, 113 e 543 g kg^{-1} , respectivamente, determinado na proundidade de 0-20 cm. O clima do município de São Mateus é Aw, conforme classificação de Koppen, caracterizado por clima tropical úmido, com inverno seco e chuvas máximas no verão (ALVARES et al., 2013). Foi mantida a adubação de rotina da propriedade, visando manter a produtividade da lavoura, nas doses de 50 g $planta^{-1}$ do formulado NPK 22-00-22, feita via fertirrigação, a cada sete dias, durante toda a condução do experimento.

Tabela 1. Sequência do esquema de plantas de cobertura

Tratamentos	Período de cultivo		
	2017/1	2017/2	2018/2
CMF	Crotalária	Milheto	Feijão guandu
FBC	Feijão guandu	Braquiária	Crotalária
BCM	Braquiária	Crotalária	Milheto
MFB	Milheto	Feijao guandu	Braquiária
BBB	Braquiária	Braquiária	Braquiária
SSS	Solteiro	Solteiro	Solteiro

As plantas de cobertura foram semeadas manualmente na entrelinha da lavoura, em abril/2017, outubro/2017 e outubro/2018. Foram semeadas 4 linhas de plantas de cobertura por parcela de cultivo de pimenta-do-reino, com espaçamento de 0,33 m entre elas. Foi mantida uma distância de 1 m das plantas de cobertura e as plantas de pimenta-do-reino, para minimizar qualquer tipo de competição por água, luz e nutrientes. As plantas foram manejadas com roçadeira, aproximadamente aos 100 dias, no estádio de pleno florescimento, sendo realizada a ceifa de todas as plantas de cobertura para facilitar o manejo. Devido ao grande potencial de rebrota da braquiária, quando esta foi cultivada em sucessão com outras plantas de cobertura, a mesma foi dessecada após a roçagem. O tratamento BBB foi conduzido durante todo o ano com roçadas a cada 120 dias.

Com 100 dias após o plantio, foram retiradas 4 amostras de cobertura verde de cada parcela para determinação da massa seca total da parte aérea produzida na área. Para essa amostragem foi utilizado um quadrado de 0,25 m², e as plantas foram cortadas ao nível do solo. As amostras coletadas foram adicionadas em sacos de papel identificados e posteriormente colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar, mantendo-se a temperatura em 65 °C por 72 horas. Essas amostras foram pesadas em uma balança semi-analítica após estarem devidamente secas, e os resultados encontrados foram convertidos para kg ha^{-1}.

Foram avaliados em conjunto dados referentes aos atributos químicos do solo, que consistiram de valores de pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, MO, Zn, Cu, Mn, Fe, determinados de acordo com Embrapa (2017). Foram coletadas 3 amostras simples de solo em cada parcela 60 dias após o corte das plantas de cobertura, na projeção da copa de cada planta de avaliação, formando uma amostra composta, em duas profundidades amostrais, 0-10 cm e 10-20 cm de profundidade.

As folhas de pimenta-do-reino foram coletatas no mês de junho, em torno de 120 dias após a retirada das plantas de cobertura, período que possibilitou a mineralização de parte da palhada. Nesse período a pimenta-do-reino estava no final de seu ciclo, com poucos frutos nas plantas. Foram coletadas 4 folhas em três plantas centrais de cada parcela, excluindo-se as bordaduras, formando assim uma amostra composta com 12 folhas. Foram amostradas as folhas em plantas com desenvolvimento normal, sem presença de doenças ou pragas na parte média da planta, sendo uma em cada um dos pontos cardeais, para avaliação do equilíbrio nutricional da lavoura (OLIVEIRA e CRUZ, 1999). Ao serem colhidas, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel e identificados e levados ao laboratório, no mesmo dia de coleta. Posteriormente secas em estuda de circulação forçada de ar, trituradas em moinho do tipo Willey. Analisaram-se os macronutrientes N, P, K, Ca, Mg, S e os micronutrientes Zn, Cu, Mn, B, tanto nas plantas de cobertura quanto nas da pimenta-do-reino.

Os acúmulos de macronutrientes e micronutrientes foram obtidos pela multiplicação da massa seca e do teor dos nutrientes da parte aérea das plantas de cobertura (MALAVOLTA et al., 1997).

Os resultados das variáveis estudadas foram submetidos à análise de variância pelo teste de F e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando-se o programa estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2003).

Resultados e discussão

Na tabela 2 são apresentados resultados dos atributos químicos do solo submetidos aos diferentes tratamentos. Observa-se que houve diferença significativa apenas para o fósforo e para a matéria orgância, na camada superficial. Para os demais atributos não houve diferença significativa. Tal efeito deve ser explicado pelo fato de as parcelas do experimentos receberem adubação química de rotina da propriedade, bem como calagem.

Almeida et al. (2008), após três anos de implantação da semeadura direta e com preparo convencional do solo, não verificaram efeito significativo das plantas de cobertura guandu, crotalária, mucuna-preta, milheto e do pousio sobre o pH e acidez potencial. Favarato et al. (2015), em experimento com plantas de cobertura não verificaram diferenças no pH, o que pode ser explicado devido a adição de N via sulfato de amônio, capaz de promover a acidificação do solo (SOUSA e SILVA, 2009).

Tabela 2. Médias dos resultados das análises químicas do solo.

Tratamentos	**pH**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**Al**	**H+Al**	**MO**	**Fe**	**Cu**	**Zn**	**Mn**
		------mg dm^{-3}------		----------$cmol_c$ dm^{-3}----------				dag dm^{-3}	----------mg dm^{-3}----------			
Camada de 0-10 cm												
CMF	7,0^{ns}	126,3 b	58,3^{ns}	7,6^{ns}	0,78^{ns}	0^{ns}	1,0^{ns}	2,18 abc	18,0^{ns}	4,0^{ns}	23,8^{ns}	89,4^{ns}
BCM	7,2	180,0 ab	100,0	8,6	0,93	0	0,7	2,58 ab	25,5	3,6	26,0	86,1
MFB	7,2	212,1 a	116,0	7,9	0,80	0	1,1	2,68 a	15,0	3,6	22,5	107,7
BBB	7,2	158,8 ab	84,3	6,9	0,80	0	0,6	2,43 abc	15,8	2,7	16,2	81,9
FBC	7,2	151,9 b	108,3	8,1	0,90	0	0,7	2,05 bc	24,3	4,33	20,0	95,8
SSS	7,3	142,7 b	111,3	7,5	0,78	0	0	2,0 c	17,5	3,2	19,4	96,0
CV (%)	**6,28**	**16,1**	**26,86**	**19,58**	**23,83**	**0**	**224,2**	**10,47**	**27,95**	**43,14**	**47,17**	**28,35**
Camada de 10-20 cm												
CMF	7,0^{ns}	95,9^{ns}	68,0^{ns}	8,0^{ns}	0,83^{ns}	0^{ns}	0,95^{ns}	2,35	18,8^{ns}	4,77^{ns}	13,1^{ns}	88,7^{ns}
BCM	7,1	149,6	104,5	7,1	0,78	0	0,70	2,43	21,8	2,8	18,1	91,7
MFB	7,1	148,9	111,0	7,4	0,80	0	1,02	2,18	19,3	2,8	20,7	113,5
BBB	7,1	99,20	96,0	7,6	0,83	0	1,43	2,42	23,0	3,3	14,9	90,5
FBC	7,2	99,7	95,5	8,5	0,90	0	1,35	2,78	23,8	4,3	14,8	85,9
SSS	7,1	149,2	109,8	7,9	0,73	0	1,52	2,15	17,5	3,1	18,3	92,8
CV (%)	**5,64**	**20,67**	**20,13**	**18,64**	**21,7**	**0**	**120,56**	**21,63**	**24,26**	**27,65**	**28,67**	**27,31**

ns- não houve diferença significativa. **Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem, significativamente, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.
*B- Braquiária; C- Crotalária; F- Feijão guandu; M- Milheto; S- Solteiro.

O aumento da matéria orgânica do solo está associado, entre outros fatores, aos níveis de resíduos vegetais depositados ao solo. Contudo, depende também da qualidade desses resíduos sobretudo no que se refere à relação C/N e de constituintes mais recalcitrantes à decomposição microbiana, como ligninas, ceras e compostos fenólicos de alto peso molecular (CUNHA, et al.,2011). Quanto mais rápida for a sua decomposição, maior será a velocidade de liberação dos nutrientes, diminuindo, entretanto, a proteção do solo/matéria orgânica do solo. Por outro lado, quanto mais altos forem os conteúdos de lignina e a relação C/N nos resíduos, tanto mais lenta será a sua decomposição (FLOSS 2000). É provável ser devido a esses fatores que os tratamentos que tiveram leguminosas no terceiro ciclo de cultivo, apesar da sua maior produção de massa seca ser respectivamente para feijão guandu, crotalária, braquiária e milheto (Tabela 3), não tenham obtido maior conteúdo de matéria orgânica.

Segundo Floss (2000), as palhadas de gramíneas são fornecedoras de nutrientes às culturas sucessoras, a médio e longo prazo, especialmente na camada superficial. Como exemplo, pode-se citar o significativo aumento dos teores de fósforo nas camadas superficiais do solo sob sistema plantio direto. De acordo com Pavinato & Rosolem (2008), é normal se observar o aumento na disponibilidade de fósforo no solo com resíduos vegetais, tanto pelo fósforo presente no resíduo como por competição de compostos orgânicos dos resíduos pelos sítios de troca no solo.

Na tabela 3 são apresentados dados referentes a matéria fresca e seca apenas do terceiro ciclo de cultivo, ou seja, o tratatamento CMF corresponde ao cultivo de feijão guandu, o BCM ao cultivo de milheto, MFB e BBB correspondem a braquiária e FBC a crotalária.

Tabela 3. Massa fresca e seca (t ha^{-1}) da parte aérea de plantas de cobertura no terceiro ciclo de cultivo.

Tratamentos	Massa fresca	Massa seca
	---------- t ha^{-1}	----------
CMF	28,45 ab	9,76 a
BCM	17,40 b	5,50 b
MFB	27,90 ab	7,00 ab
BBB	27,90 ab	7,44 ab
FBC	35,08 a	8,67 ab

CV (%)	**18,20**	**18,96**

*Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem, significativamente, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.
*B- Braquiária; C- Crotalária; F- Feijão guandu; M- Milheto; S- Solteiro.

Conforme os dados apresentados na Tabela 4, os maiores teores e conteúdo de nitrogênio foram encontrados para o tratamento com feijão (37,5 g kg^{-1} e 367 kg ha^{-1}) e crotalária (29,5 g kg^{-1} e 256 kg ha^{-1}). Este resultado indica a capacidade que as leguminosas possuem de fixar o nitrogênio atmosférico através da associação simbiótica com bactérias do gênero *Rhizobium* (PERIN et al., 2004) e confirma que, geralmente, as leguminosas possuem elevado teor deste nutriente na matéria seca da parte aérea. O grande acúmulo de N pelas leguminosas deve-se aos altos teores do nutriente e da elevada produção de matéria seca dessa espécie, o que credencia a utilização da crotalária como adubo verde pelo elevado acúmulo de nutrientes em curto espaço de tempo (PEREIRA et al., 2017).

Os maiores teores de fósforo e potássio foram observados nas gramíneas. Menezes e Leandro (2004), comparando oito culturas de cobertura, verificaram que o milheto e a braquiária acumularam as maiores quantidades de fósforo. Silveira et al. (2010), verificaram maior acúmulo de fosforo pelo tratamento com milheto, e maior acúmulo de potássio com braquiária. Conforme relatado por Procópio et al. (2005), qualquer diferença no comportamento entre plantas em relação à absorção de P pode ser atribuída à baixa mobilidade desse elemento no solo, de modo que plantas de maior sistema radicular apresentam vantagem na sua captura. A maior eficiência das gramíneas poderia ser explicada por diferenças na morfologia do sistema radicular, na absorção de fósforo por unidade de raiz e na concentração de fósforo no sistema radicular. No presente trabalho não foi verificada diferença no acúmulo de fósforo e potássio. Embora braquiária e milheto possuíssem maiores teores em suas folhas, o conteúdo de massa seca é menor que o das leguminosas, não havendo assim diferença significativa no acúmulo.

As leguminosas destacaram-se nos teores de cobre, manganês e boro. De acordo com Faquin (2001), em geral, a concentração de boro nos tecidos das dicotiledôneas é maior do que nas monocotiledôneas.

Tabela 4. Teor e acúmulo de nutrientes na parte aérea de plantas de cobertura.

Tratamentos	Teor Foliar									
	N	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**	**Zn**	**Cu**	**Mn**	**B**
	---------- g kg^{-1}----------						----------mg kg^{-1}----------			
CMF	37,5 a	1,9 c	12,5 c	9,9 b	2,4 bc	1,8 a	29,5 c	9,5 b	119 ab	29,8 b
BCM	25,4 bc	3,1 a	24,4 a	6,4 c	2,1 c	1,8 a	62,5 a	8,8 bc	124 ab	13,3 c
MFB	23,4 c	2,4 b	24,2 a	5,4 c	3,5 a	1,8 a	49,3 b	6,5 cd	70,0 bc	16,8 bc
BBB	21,1 c	2,7 ab	23,6 a	5,5 c	3,0 ab	1,7 ab	39,5 bc	5,8 d	51,8 c	17,0 bc
FBC	29,5 b	1,4 d	15,9 b	20,9 a	3,1 ab	1,4 b	49,5 b	12,8 a	141 a	52,8 a
CV (%)	**8,89**	**7,73**	**6,95**	**8,73**	**13,44**	**7,53**	**11,56**	**12,88**	**24,81**	**24,99**
	Acúmulo Foliar									
	----------kg ha^{-1}----------						---------- g ha^{-1}----------			
CMF	367 a	18,7^{ns}	122^{ns}	96,4 b	23,5 a	177,5 a	286,5^{ns}	92,4 a	1147,8 a	291,6 b
BCM	142 c	17,2	134,8	34,9 c	11,4 b	96,9	341,1	48,7 b	670,1 b	73,4 c
MFB	164 bc	16,8	168,7	38,3 c	24,9 a	123,2	348,6	45,6 b	489,9 b	114,3 c
BBB	155 bc	20,3	173,5	40,0 c	21,9 ab	123,9	297,9	42,0 b	363,4 b	121,6 c
FBC	256 b	12,4	137,3	180,2 a	26,9 a	124,8	433,5	111,7a	1211,7 a	458,1 a
CV (%)	**21,1**	**21,48**	**19,2**	**17,92**	**22,9**	**20,44**	**26,24**	**27,05**	**19,01**	**32,12**

*Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem, significativamente, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.
*B- Braquiária; C- Crotalária; F- Feijão guandu; M- Milheto; S- Solteiro.

.

Analisando os dados da tabela 5, observa-se diferença significativa apenas para o zinco. O resultado observado é devido à coleta das folhas ter sido realizada no final da época de produção de pimenta-do-reino, tendo assim grande parte dos nutrientes exportados com os grãos de pimenta-do-reino.

Os nutrientes de maneira geral, encontram-se dentro da faixa recomendada para o teor foliar de acordo com Prezotti et al. (2007), ou muito próximos dela, exceto o manganês que está bem acima da faixa ideal que é de 60 mg kg^{-1}, o que pode ser atribuído ao elevado teor do nutriente nas folhas das plantas de cobertura e o consequente acúmulo do mesmo no solo (Tabela 4), vindo a ser absorvido pelas plantas de pimenta-do-reino.

Tabela 5. Média dos teores foliares dos nutrientes em pimenta-do-reino.

Tratamentos	N	P	Ca	K	Mg	S	Zn	Cu	Mn	B
	----------g kg^{-1}----------					----------mg Kg^{-1}----------				
CMF	26,7^{ns}	1,58^{ns}	23,6^{ns}	15,3^{ns}	3,16^{ns}	2,19^{ns}	12,0 b	10,0^{ns}	302,0^{ns}	37,8^{ns}
BCM	26,4	1,43	24,9	14,2	3,00	2,27	13,5 ab	9,0	406,7	41,0
MFB	27,1	1,65	18,9	14,8	3,64	2,30	12,3 b	9,5	405,0	34,5
BBB	27,5	1,71	20,0	13,4	2,72	2,22	13,3 ab	10,0	451,8	36,3
FBC	27,5	1,70	18,9	14,7	2,74	2,3	15,0 a	11,3	422,8	35,8
SSS	27,0	1,75	20,5	13,8	2,49	2,35	13,3 ab	10,8	278,8	39,3
CV (%)	**5,26**	**9,59**	**17,82**	**8,86**	**24,07**	**4,91**	**8,98**	**11,64**	**36,39**	**10,02**

*Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem, significativamente, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.
*B- Braquiária; C- Crotalária; F- Feijão guandu; M- Milheto; S- Solteiro.

Na tabela 6, observa-se que não houve diferença significativa na produtividade de pimenta-do-reino entre os diferentes tratamentos de planta de cobertura. Apesar desse resultado, ressalta-se a grande importância da utilização das plantas de cobertura, pois as mesmas promovem a cobertura do solo, impedindo a sua degradação, a perda de nutrientes e ao mesmo tempo fornecem grande quantidade de nutrientes, minimizando assim os gastos com fertilizantes e consequentemente promovendo uma maior preservação do meio ambiente e sustentabilidade da lavoura. Os resultados do presente estudo mostram que, de maneira geral, o manejo com plantas de cobertura na entrelinha da pimenta-do-reino proporcionou, de modo geral, teores adequados de nutrientes tanto no solo quanto em tecido foliar, capazes de sustentar a pimenta-do-reino em produção.

Tabela 6. Produtividade de pimenta-do-reino em peso seco.

Tratamentos	Produtividade (kg ha^{-1})
SSS	4311^{ns}
CMF	4691
BCM	4274
MFB	5394
FBC	5256
BBB	5623
CV (%)	18,60

ns- não houve diferença significativa.

*B- Braquiária; C- Crotalária; F- Feijão guandu; M- Milheto; S- Solteiro.

Ragozo et al. (2006), trabalhando com quatro plantas de cobertura (braquiária, feijão-de-porco, feijão guandu e labe-labe) na entrelinha da laranja pêra, não verificaram diferenças significativas destas com a testemunha, o que vem a corroborar com resultados encontrados no presente trabalho. Espera-se que com o decorrer dos anos, os valores de produtividade possam ser incrementados, porém tal

fato não pode ser verificado no presente estudo em virtude do curto tempo de realização da pesquisa.

Conclusões

As plantas de cobertura proporcionaram incremento em matéria orgânica para BCM e MFB e fosforo para o tratamento MFB, proporcionaram diferentes teores e acúmulo de nutrientes na matéria seca. As leguminosas proporcionaram maior acúmulo de matéria seca em relação as gramíneas. As plantas de cobertura não proporcionaram incremento significativo na produção da pimenta-do-reino.

Referências

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

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

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart**, v. 22, n. 6, p.711-728, 2013.

ARF, O.; MEIRELLES, F. C.; PORTUGAL, J. R.; BUZETTI, S.; SÁ, M. E.; RODRIGUES, R. A. F.; Benefícios do milho consorciado com gramínea e leguminosas e seus efeitos na produtividade em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Ilha Solteira, v.17, n.3, p. 431-444, 2018.

CARVALHO, A. M.; COELHO, M. C.; DANTAS, R. A.; FONSECA, O. P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; FIGUEIREDO, C. C. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. **Crop and Pasture Science**, v.63, n.12, p.1075-1081, 2012.

CAZETTA, D. A.; FORNASIERI FILHO, D.; GIROTTO, F. Composição, produção de matéria seca e cobertura do solo em cultivo exclusivo e consorciado de milheto e crotalária. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.27, n.4, p. 575-580, 2005.

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 e por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.10, p.1021-1029, 2011.

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

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 4ª ed. Brasília: EMBRAPA, 2014.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo.** 3ª ed. Brasília. Embrapa, 2017.

FAO. Pepper (piper spp.), Production/Crops". Food And Agriculture Organization of the United Nations: Statistical Division (FAOSTAT), 2016. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em out. 2019.

FARIAS, L. N.; BONFIM-SILVA, E. M.; PIETRO-SOUZA, W.; VILARINHO, M. K. C.; SILVA, T. J. A. & GUIMARÂES, S. L. Características morfológicas e produtivas de feijão guandu anão cultivado em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 17, n. 5, p. 497-503, 2013.

FAQUIN, V.Nutrição mineral de plantas. Lavras, UFLA/Faepe. 186 p, 2001.

FAVARATO, L. F.; SOUZA, J. L. ; GALVÃO, J. C. C. ; SOUZA, M. C. ; GUARCONI, R. C. Atributos quimicos do solo sobre diferentes plantas de cobertura no sistema de plantio direto orgânico. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v. 5, n.2, p. 19-28, 2015.

FERREIRA, D. F. **Sisvar – programa estatístico**. Versão 5.7 (Build 91). Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2003.

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

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola-Lavoura permanente ano 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/15/11863>. Acesso em: nov. 2019.

LEAL, A. J. F.; LAZARINI, E.; RODRIGUES, L. R.; MARCANDALLI, L. H. Adubação nitrogenada para milho com o uso de plantas de cobertura e modos de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 37, n. 2, p. 491-501, 2013.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; Oliveira, A. S. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ª ed. Piracicaba, Potafós. 319 p, 1997.

MENEZES, L. A. S.; LEANDRO, W. M. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**,

v. 34, n. 3, p. 173-180, 2004.

OLIVEIRA, R. F.; CRUZ, E. S. Manual de coleta de amostras de folhas de pimenta-do-reino para diagnose nutricional. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 11 p., 1999.

OSTERROHT, M. V. O que é uma adubação verde: Princípios e ações. **Agroecologia Hoje**, v.2, n.14, p.9-11, 2002.

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

PAVINATO, P. S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C. A. Phosphorusfractions in Brazilian Cerrado soils as affected by tillage. **Soil and Tillage Research**, v.105, n.1, p.149-55, 2009.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostosorgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 911-920, 2008.

PEREIRA, A. P.; SCHOFFEL, A.; KOEFENDER, J.; CAMERA, J. N.; GOLLE, D. P.; HORN, R. C. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 4, P. 120-129, 2017.

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J.G.M.; CCON, P.R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 39, n. 1, p. 35-40, 2004.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo** – 5ª aproximação. Vitória: SEEA/INCAPER/ CEDAGRO, 305p, 2007.

PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; PIRES, F. R.; SILVA, A. A. & MENDONÇA, E.S. Absorção e utilização do fósforo pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n.6, p.911-921, 2005.

RAGOZO, C. R. A.; LEONEL, S.; CROCCI, A. J. Adubação verde em pomar cítrico. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal**, v. 28, n. 1, p. 69-72, 2006.

ROSOLEM, C. A.; MERLIN, A.; BULL, J. C. L. Soil phosphorus dynamics as affected by congo grass and P fertilizer. **Scientia Agricola**, v.71, n.4 p.309-15,2014.

SILVA, J. A. N.; SOUZA, C. M .A.; SILVA, C. .; BOTTEGA, S. P. Crescimento e produção de espécies forrageiras consorciadas com pinhão-manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.6, p.769-775, 2012.

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

SOUSA, R. A.; SILVA, T. R. B. Acidificação de um Latossolo Vermelho Distroférrico em função da aplicação de nitrogênio oriundo de uréia, sulfato de amônio e sulfammo. **Cultivando o Saber**, v.2, n.3, p. 78-83, 2009.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; Pimentel, C. Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo. **Idesia**, vol. 30, n. 1, p. 55-64, 2012.

Anexo

Anexo 1. Milheto na entre-linha da pimenta-do-reino (A); Feijão guandu na entre-linha da pimenta-do-reino (B); Crotalária na entre-linha da pimenta-do-reino (C); Braquiária ruziziensis na entre-linha da pimenta-do-reino (D).