



Plantas de cobertura em ambiente semiárido: produção de biomassa, adição de Carbono e de nutrientes ao solo

Cover crops in semi-arid environment: dry biomass production, add Carbon and nutrients

DOI: 10.55905/rdelosv16.n43-022

Recebimento dos originais: 05/05/2023

Aceitação para publicação: 06/06/2023

Alessandra Monteiro Salviano

Doutora em Solos e Nutrição de Plantas

Instituição: Embrapa Semiárido

Endereço: Petrolina – PE, Brasil,

CEP: 56302-970

E-mail: alessandra.salviano@embrapa.br

Augusto Miguel Nascimento Lima

Doutor em Solos e Nutrição de Plantas

Instituição: Universidade Federal do Vale do São Francisco

Endereço: Petrolina – PE, Brasil

E-mail: augusto.lima@univasf.edu.br

Maria Raphaela Severo Rafael

Mestre em Engenharia Agrícola

Instituição: Universidade Federal do Vale do São Francisco (CPGEA)

Endereço: Juazeiro - BA, Brasil

E-mail: mariaph1201@gmail.com

Jailson Cavalcante Cunha

Doutor em Solos e Nutrição de Plantas

Instituição: PlantSoil Laboratório

Endereço: Petrolina – PE, Brasil

E-mail: Jailson.c.c@gmail.com

Priscila Gomes Silva

Graduada em Agronomia

Instituição: Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAST)

Endereço: Serra Talhada - PE, Brasil

E-mail: priscila20.agro@gmail.com



Nelci Olszewski

Doutora em Solos e Nutrição de Plantas
Instituição: Universidade Federal do Vale do São Francisco
Endereço: Juazeiro - BA, Brasil
E-mail: nelci.olszewski@univasf.edu.br

Vanderlise Giongo

Graduada em Agronomia, Doutora em Solos
Instituição: Embrapa Trigo
Endereço: Passo Fundo – RS, Brasil
E-mail: vanderlise.giongo@embrapa.br

RESUMO

O uso de plantas de cobertura, em cultivo solteiro e/ou consorciadas, pode ser uma estratégia para melhorar a qualidade do solo e a ciclagem de nutrientes no Semiárido brasileiro. O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de fitomassa e o acúmulo de nutrientes pela parte aérea sob diferentes sistemas de plantas de cobertura com cultivos solteiros e combinados de espécies gramíneas, leguminosas e plantas espontâneas, nas condições edafoclimáticas do Vale do Submédio São Francisco. Os tratamentos foram compostos por 7 sistemas de plantas de cobertura com cultivos solteiros e combinados de espécies gramíneas e leguminosas, e plantas espontâneas (Guandu: *Cajanus cajan* L.; Milheto: *Penisetum americanum* L.; Guandu + Milheto; Milheto + Sorgo: *Sorghum vulgare* Pers. + Guandu + Crotalária: *Crotalaria juncea*; Milheto + Milho: *Zea mays* L. + Sorgo + Guandu; Guandu + Crotalária + Feijão-de-Porco: *Canavalia ensiformes* + Milheto). Foram quantificadas as fitomassas fresca (FF) e seca (FS) da parte aérea, os teores de C e macronutrientes e calculados seus acúmulos. O cultivo de leguminosas e gramíneas como adubos verdes na entrelinha de mangueira irrigada mostrou-se eficiente em aumentar a FS e acumular nutrientes nos resíduos em comparação à vegetação espontânea. O coquetel vegetal com três leguminosas (Milheto + Guandu + Crotalária + Feijão-de-porco) apresentou maior capacidade de adicionar N ao solo. Já o cultivo solteiro ou consorciado de milheto foi uma estratégia eficiente para aumentar os estoques de C no solo. O cultivo de guandu solteiro não se mostrou uma alternativa para uso como adubo verde.

Palavras-chave: leguminosas, gramíneas, adubação verde.

ABSTRACT

The use of cover crops in single and intercropping can be a strategy to improve soil quality and nutrient cycling in the Brazilian semi-arid region. Thus, the objective of this work was to evaluate the biomass production and nutrient accumulation of the aerial part of different types of vegetation cover cultivated in the. The treatments were composed by 7 systems of cover crops with single crops and combined grasses and legumes and spontaneous plants (Guandu: *Cajanus cajan* L.; Millet: *Penisetum americanum* L.; Guandu and millet; Millet + Sorghum: *Sorghum vulgare* Pers. + Guandu + Crotalaria: *Crotalaria juncea*; Millet + Maize: *Zea mays* L + Sorghum + Guandu; Guandu + Crotalaria + Feijão-de-porco: *Canavalia ensiformes* + Millet and spontaneous plants). The green matter was evaluated in an area of 1 m² in the flowering of each species and the biomass was dried in a greenhouse at 65 °C until reaching a constant mass to obtain the dry matter, in which the contents of macro and micronutrients were extracted. The cultivation of legumes and grasses as green manure in the irrigated hose line was efficient in



increasing dry biomass and accumulating C and nutrients in the waste compared to spontaneous vegetation. Vegetable cocktail with three legumes (Guandu + Milheto + Crotalaria + Pig Bean) was more accumulation of N. The single or intercropped cultivation of millet was an efficient strategy to increase C stocks in the soil. The cultivation of pigeon pea did not prove to be a viable green manure alternative to the irrigated hose area.

Keywords: legumes, grasses, green manure

1 INTRODUÇÃO

A produção de frutas é uma das alternativas mais rentáveis para as áreas agrícolas da região do Vale do São Francisco. No entanto, pode ser fortemente afetada por condições climáticas desfavoráveis (Carvalho et al., 2017).

Algumas práticas agrícolas podem ser utilizadas para auxiliar na manutenção de água no solo e ciclagem de nutrientes; o uso de plantas de cobertura do solo (PCS) tende a aumentar resíduos orgânicos na superfície do solo, contribuindo para o aumento dos teores de matéria orgânica, nitrogênio e demais nutrientes (Zhang et al., 2019; Couëdel et al., 2018), e aumentar a disponibilidade de água (Sastre et al., 2018).

A escolha ideal de planta de cobertura deve levar em consideração a adaptabilidade da espécie às condições adversas, produzir maiores volumes de biomassa, apresentar decomposição e liberação de nutrientes de forma sincronizada com as necessidades da cultura (Campos, 2014).

O uso de espécies leguminosas e gramíneas mostra-se uma alternativa viável e ecológica, por serem capazes, em simbiose, de fixarem nitrogênio atmosférico, com auxílio de bactérias diazotróficas. Geralmente as leguminosas, apresentam biomassa rica em N, P, K e Ca (Gama-Rodrigues et al., 2007). O uso de espécies gramíneas é importante para a manutenção do carbono no sistema (Silva et al., 2009). O uso consorciado de plantas de cobertura é uma alternativa para aproveitar os benefícios promovidos por cada espécie (Summers et al., 2014).

Usando plantas de cobertura do solo, Brandão et al. (2017), Freitas et al. (2019), Pereira Filho et al. (2019) e Giongo et al. (2020) alcançaram produções de biomassa de 4,0 a 9,0 Mg ha⁻¹ na região semiárida brasileira. A produção de biomassa depende da espécie, fertilidade do solo, condições climáticas, razão C:N e razão lignina:N total (Pariz et al., 2011; Teixeira et al., 2011). Entretanto, a liberação de nutrientes pelo PCS depende da interação entre as espécies utilizadas, manejos da fitomassa, época de semeadura e corte, composição química e razão C:N e condições edafoclimáticas, dentre elas: pluviosidade, aeração, temperatura, atividade macro e microbiológica do solo e do tipo de solo (Crusciol et al., 2008).



Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de fitomassa e o acúmulo de nutrientes pela parte aérea diferentes sistemas de plantas de cobertura com cultivos solteiros e combinados de espécies gramíneas, leguminosas e plantas espontâneas, nas condições edafoclimáticas do Vale do Submédio São Francisco.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em Petrolina-PE, no Campus de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco, no período de setembro a novembro de 2016. A área está localizada nas coordenadas geográficas 9°19'10,47" de latitude Sul e 40°33'48,91" de longitude Oeste e altitude média de 375 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima local é do tipo BSw^h, semiárido, precipitação inferior a 500 mm concentrada em três a quatro meses do ano, com médias anuais de temperaturas variando entre 18,7 e 33,6 °C. O solo da área é classificado, de acordo com Silva et al. (2017), como Argissolo Amarelo Distrófico coeso típico (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do solo na profundidade de 0-20 cm antes da instalação do experimento

pH em água	COT ^{1/}	P ^{2/}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	CTC ^{2/}	V ^{2/}
1:2,5	g kg ⁻¹	—mg dm ⁻³ —				—cmol _c dm ⁻³ —		(%)
7,51	5,1	196,12	182,91	1,94	0,80	0,043	3,25	100
CE ^{3/}	Dp ^{2/}	Ds ^{2/}	Pt ^{2/}	AG ^{2/}	AF ^{2/}	Silte ^{2/}	Argila ^{2/}	
dS m ⁻¹	—kg dm ⁻³ —		%			—g kg ⁻¹ —		
0,21	2,77	1,59	42,59	580	270	10	140	

*COT: Carbono orgânico total; CTC: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação por bases; CE: Condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação; Dp: Densidade de partículas; Ds: Densidade do solo; Pt: Porosidade total; AG: Areia grossa; AF: Areia fina. ^{1/}Yeomans e Bremner (1988). ^{2/}Donagema (2017).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com quatro repetições, sendo os tratamentos compostos por 7 sistemas de plantas de cobertura: Guandu (*Cajanus cajan* L.) solteiro (G); Milheto (*Penisetum americanum* L.) solteiro (Mt); consórcio Guandu + Milheto (G+Mt); consórcio Guandu + Milheto + Sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.) + Crotalária (*Crotalaria juncea*) (G+Mt+S+C); consórcio Guandu + Milheto + Sorgo + Milho (*Zea mays* L.) (G+Mt+S+M); consórcio Guandu + Milheto + Crotalária + Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformes*) (G+Mt+C+F); vegetação espontâneas (E).

As principais espécies de plantas espontâneas identificadas na área foram: *Cenchrus ciliaries*, *Waltheria indica*, *Kallstroemia tribuloides*, *Herissantia crispa*, *Desmodium tortuosum*,



Diodella teres, *Richardia scabra*, *Mollugo verticillata*, *Datura stramonium*, *Macroptilium martii*, *Merremia aegyptia* e *Boerhavia diffusa*.

Cada unidade experimental foi composta por 80 m², totalizando 2240 m² de área experimental total. Para semeadura das plantas de cobertura realizou-se o preparo do solo, com uma aração e uma gradagem, utilizando-se arado de disco tipo fixo (3 discos com diâmetro de 26”), com largura de trabalho de 90 cm, espaçamento entre discos de 55 cm e profundidade de trabalho de 20 cm e grade hidráulica Off-set (14 discos com diâmetro de 22”), com espaçamentos entre discos de 22,8 cm e profundidade de trabalho de 20 cm.

A lâmina de irrigação foi calculada com base na evapotranspiração de referência para o município de Petrolina-PE, resultando em uma lâmina média aplicada de 3,1 mm planta⁻¹ de mangueira durante o período experimental.

A semeadura das plantas de cobertura foi realizada em linhas espaçadas em 0,50 m, totalizando 6 linhas de plantas de cobertura nas entrelinhas das mangueiras. Para garantir a uniformidade de germinação das sementes, inicialmente, foram semeadas as de maior tamanho, na profundidade de 4 cm, e, posteriormente, as de menor tamanho, na profundidade de 2 cm (Tabela 2).

O transplântio das mudas de mangueira cv. Palmer (hipobioto: manga rosa), foi realizado 55 dias após o corte das plantas de cobertura, com espaçamento de 5,0 x 4,0 m. A área experimental foi anteriormente ocupada com remanescente de caatinga e, como adubação de plantio das mangueiras, aplicou-se apenas 20 litros cova⁻¹ de esterco bovino curtido.

Tabela 2. Quantidade de sementes das espécies de adubos verdes utilizadas na composição dos tratamentos em quilogramas por hectare (kg ha⁻¹)

Tratamentos	Guandu	Milheto	Sorgo	Crotalária	Milho	FP
Guandu	5,10					
Milheto		1,65				
Guandu + Milheto	5,10	1,65				
Guandu+Milheto+Sorgo+Crotalária	5,10	1,65	1,88	3,38		
Guandu+Milheto+Sorgo+Milho	5,10	1,65	1,88		13,50	
Guandu+Milheto+Crotalária+FP	5,10	1,65		3,38		28,50

*FP= Feijão-de-porco

Aos 75 dias após a semeadura (DAS), quando as plantas de cobertura atingiram o pleno florescimento, realizou-se a avaliação da produção de fitomassa de parte aérea. Em cada parcela,



foram abertos dois quadrantes de 1,0 m² e a parte aérea das plantas de cobertura foram cortadas rente ao solo, com roçadeira portátil, e separada por espécie, de acordo com os tratamentos, e pesadas em balança de precisão (0,01 g).

A produção de fitomassa fresca foi determinada a partir da pesagem, utilizando-se balança de precisão 0,01 g. Com base nos dados de fitomassa fresca da parte aérea, foram calculados os percentuais de composição de cada espécie dentro de cada coquetel vegetal. A fitomassa seca foi determinada por pesagem, após secagem em estufa de circulação forçada de ar (65 °C) por 72 horas.

Posteriormente, a fitomassa seca das amostras foi passada em moinho tipo Willey, e em seguida determinou-se os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), conforme metodologia descrita em (Miyazawa et al., 2009). Sendo o teor de N determinado por combustão seca em analisador elementar-LECO, modelo TRUSPEC CN. O teor de P determinado por espectrofotometria com injeção em fluxo (FIA) após calcinação em mufla elétrica a 550 °C, e os teores de K, Ca e Mg foram determinados após digestão úmida em solução ácida nítrico-perclórica (3:1), sendo as leituras do K obtidas por fotometria de chama, e, Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica.

Com base nos teores dos nutrientes e na matéria seca das plantas, calculou-se o acúmulo dos nutrientes na parte aérea das plantas de cada tratamento.

Utilizou-se análise de componentes principais (ACP) observando os autovalores das componentes, bem como o gráfico de *scree-plot*, adotando as componentes que apresentaram valores acima de 1,00 e conseguiram alcançar uma variância acumulada acima de 70% (Hair Junior et al., 2009). Serão apresentados os gráficos referentes às componentes 1 e 2. A ACP foi fundamental para determinar quais as variáveis mais importantes (maior peso no gráfico das componentes). O critério adotado para excluir as variáveis foi selecionar aquelas com carga fatorial negativa ou positiva abaixo de 0,65 (Arcoverde et al., 2015).

As hipóteses de normalidade dos dados foram verificadas pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$). Os seis graus de liberdade dos diferentes sistemas de manejo adotados (cultivo solteiro e consorciado de adubos verdes e manutenção de vegetação espontânea) foram analisados por meio de contrastes ortogonais (Tabela 3).



Tabela 3. Desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos (sistemas de cultivo) em contrastes ortogonais^{1/}

Cultivo	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Guandu	-1	-1	-1	0	0	4
Milheto	-1	1	-1	0	4	0
Guandu+Milheto	-1	0	2	0	-1	-1
Guandu+Milheto+Sorgo+Crotalária	-1	0	0	0	-1	-1
Guandu+Milheto+Sorgo+Milho	-1	0	0	-1	-1	-1
Guandu+Milheto+Crotalária+Feijão-de-Porco	-1	0	0	1	-1	-1
Espontâneas	6	0	0	0	0	0

^{1/}C1, Plantas cultivadas vs Plantas espontâneas; C2, Guandu vs Milheto; C3, Guandu ou Milheto solteiro vs Guandu e Milheto consorciado; C4, Guandu+Milheto+Sorgo+Milho vs Guandu+Milheto+Crotalária+Feijão-de-Porco; C5, Milheto vs Milheto consorciado; C6, Guandu vs Guandu consorciado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As componentes principais 1 (CP1) e 2 (CP2) explicam 75,89% da variância dos dados (Figura 1A), que somadas com as CP3 (11,95%) e CP4 (5,71%) (Figura 1C) também significativas, explicam 93,55% da variância total. Às variáveis de maior peso (>0,80) dentro da CP1, que explicou 52,14% da variância, foram os acúmulos de fitomassa seca (FS), C, N, P, K, Ca e Mg, teores de P e Ca, e relação C:P. Isso indica que as maiores diferenças entre as misturas de plantas de cobertura testadas se devem a sua capacidade de acumular nutrientes.

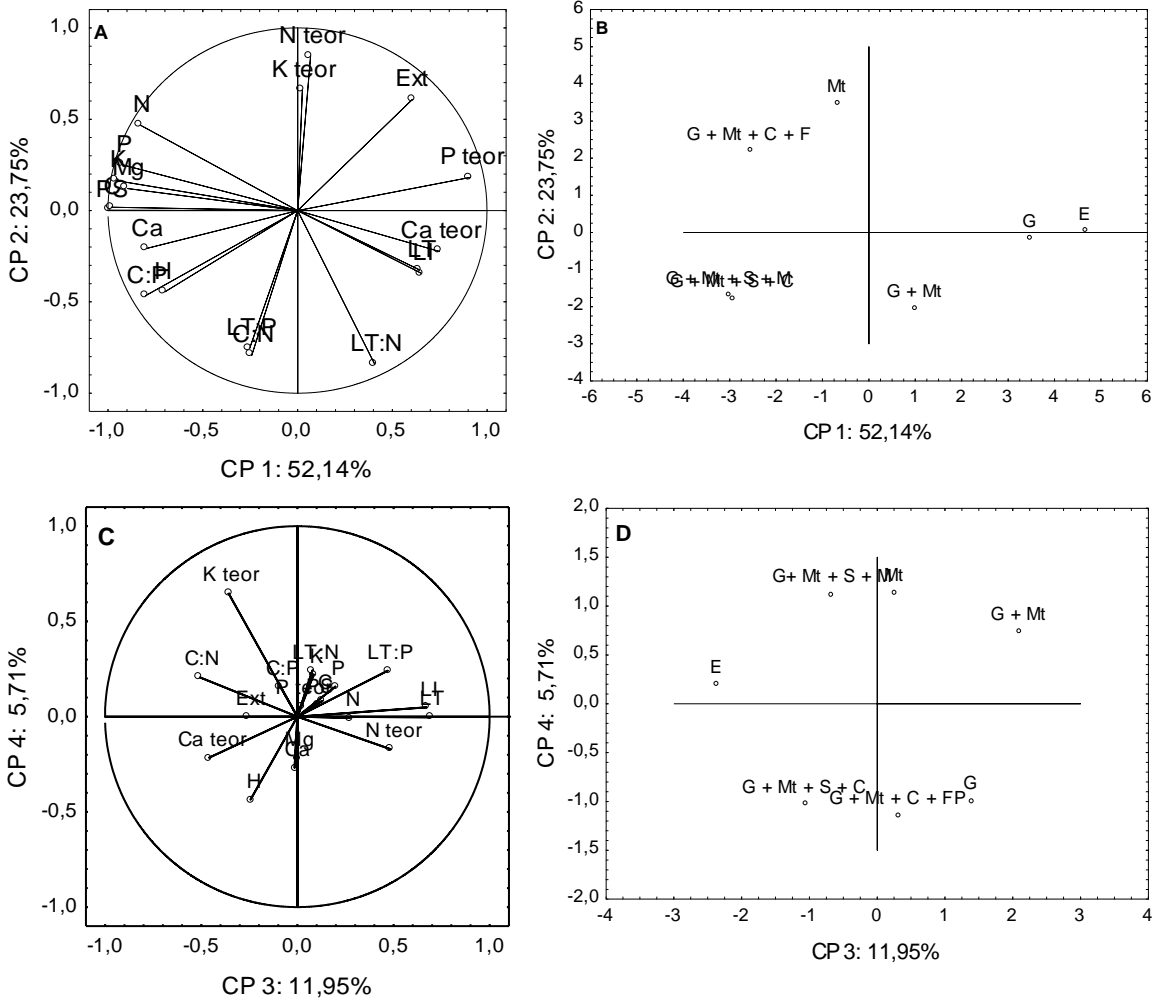
Na CP2 (23,75%) as variáveis significativas foram as relações C:N, LT:N, LT:P, teor de N e extrativos, que estão mais relacionadas com a recalcitrância do material vegetal depositado no solo.

Observando a disposição das plantas de cobertura na projeção biplot (Figura 1B) foi possível separar os tratamentos em três grupos: grupo 1, composto pelos tratamentos Guandu+Milheto+Crotalária+Feijão-de-porco e Milheto solteiro; grupo 2, Guandu+Milheto+Sorgo+Milho e Guandu+Milheto+Sorgo+Crotalária; e grupo 3, Guandu solteiro, vegetação espontânea e Guandu+Milheto.

O grupo 1 é caracterizado pelo maior acúmulo de: fitomassa seca, C, N, P, K e Mg, e menores teores de P, Ca, LI e LT, bem como a relação LT:N, que indicam menor recalcitrância do material vegetal. Enquanto o grupo 2, caracteriza-se por maiores relações C:P, C:N, LT:P, e teores de Ca e H. Assim, esse grupo provavelmente apresentará uma maior resistência à decomposição. Por outro lado, o grupo 3, apresenta maiores teores de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg), extrativos, LT e LI, e relação LT:N, fatores que também podem ser relacionados a uma velocidade de decomposição do material vegetal mais lenta. No entanto, os maiores teores de nutrientes (Figura 2) não expressam maiores acúmulos, devido à baixa produção de fitomassa nessas composições (Figura 3).



Figura 1. Gráficos biplot das variáveis (A e C) e tratamentos (B e D), respectivamente, para os tratamentos avaliados, (G, Guandu; Mt, Milheto; G+Mt, Guandu+Milheto; G+Mt+S+C, Guandu+Milheto+Sorgo+Crotalária; G+Mt+S+M, Guandu+Milheto+Sorgo+Milho; G+Mt+C+F, Guandu+Milheto+Crotalária+Feijão-de-porco; E, Vegetação espontânea). CP1=componente principal 1; CP2=componente principal 2; CP3=componente principal 3; CP4=componente principal 4



As componentes principais de 1 a 4 foram necessárias para explicar 93,55% da variância total dos dados, pois estas apresentaram autovalores superiores a um, segundo Freddi (2008), as CPs que apresentam autovalores superiores a um podem ser utilizadas para uma ordenação bidimensional dos acessos e das variáveis, o que permitiu a construção dos gráficos biplot.

As estimativas dos contrastes ortogonais - plantas cultivadas vs vegetação natural (C1), *Cajanus cajan* vs *Penissetum americanum* (C2), *C. cajan* ou *P. americanum* vs *C. cajan* + *P. americanum* (C3), *C. cajan* + *P. americanum* + *Sorghum vulgare* + *Zea mays* vs *C. cajan* + *P. americanum* + *Crotalaria juncea* + *Canavalia ensiformes* (C4), *P. americanum* vs *P. americanum* consorciado (C5), *C. cajan* vs *C. cajan* consorciado (C6) - e suas respectivas



significâncias são mostradas na Tabela 5. Considerando os contrastes e as médias significativas encontradas (Figura 2 e 3), fitomassa fresca (FF) e seca da parte aérea (FS), teores de K, Ca, Mg e extrativos, acúmulo de C, N, P, K e Ca das plantas de cobertura do solo (PCS) foram superiores aos da vegetação espontânea (C1; plantas cultivadas vs vegetação espontânea) (Tabela 5).

Independente do coquetel vegetal, os macronutrientes minerais mais acumulados na fitomassa seca foram K e N (Figura 3).

Na comparação entre guandu e milho (C2) (Tabela 4), a gramínea foi mais eficiente na produção de FF, FS e acúmulo de C (Figura 2), N, P, K e Mg (Figura 3), bem como os teores de K e Ca. A produção de FF de milho (34,55 t ha⁻¹) chega a ser aproximadamente 2,5 vezes maior que a produção de guandu (13,70 t ha⁻¹).

De acordo com o contraste C3, o cultivo solteiro de guandu ou milho versus o consorciado desses dois adubos verdes, apresentaram resultados semelhantes para a maioria das variáveis avaliadas (Figura 2 e 3); apenas a produção de FF e FS, e os teores de N e extrativos, relação LT:N foram significativamente diferentes. O milho contribuiu com aproximadamente 80% da produção de FF do consórcio (Figura 2). A estatística descritiva para os dados de acúmulo de macronutrientes consta na Tabela 5.

Tabela 4. Estimativas dos contrastes^{1/} ortogonais da Fitomassa Fresca (FF), Fitomassa Seca (FS), teor e acúmulo de C e macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg), e teores de Extrativos, Holocelulose, lignina solúvel, insolúvel e total, e relações C:P, C:N, LTotal:N, LTotal:P, dos diferentes adubos verdes

Variáveis	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Fitomassa fresca	-128,68*	20,85*	18,29*	-2,12 ^{ns}	-10,37 ^{ns}	-93,76*
Fitomassa seca	-33,81*	4,32*	2,51*	0,27 ^{ns}	-4,66 ^{ns}	-21,93*
	Teor (g kg ⁻¹)					
Carbono	-128,10 ^{ns}	8,96 ^{ns}	7,68 ^{ns}	-1,81 ^{ns}	17,20 ^{ns}	-18,66 ^{ns}
Nitrogênio	-23,14 ^{ns}	1,41 ^{ns}	-12,30*	-8,47*	28,66*	23,03*
Fósforo	6,68 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,44 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	2,55 ^{ns}	2,30 ^{ns}
Potássio	23,60*	4,85*	-4,38 ^{ns}	0,42 ^{ns}	19,35*	-0,05 ^{ns}
Cálcio	72,43*	-6,97*	2,29 ^{ns}	-2,00 ^{ns}	-16,05*	11,83*
Magnésio	6,55*	0,12 ^{ns}	0,50 ^{ns}	-0,89*	-1,46 ^{ns}	-1,96*
	Acúmulo (kg ha ⁻¹)					
Carbono (t ha ⁻¹)	-15,68*	2,03*	1,21 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-1,84 ^{ns}	-9,98*
Nitrogênio	-715,33*	116,23*	-25,85 ^{ns}	-76,17*	134,29 ^{ns}	-330,61*
Fósforo	-74,90*	13,33*	3,21 ^{ns}	-2,39 ^{ns}	6,71 ^{ns}	-46,60 ^{ns}
Potássio	-698,85*	129,98*	12,79 ^{ns}	15,53 ^{ns}	55,15 ^{ns}	-464,77*
Cálcio	-150,74*	1,05 ^{ns}	48,53 ^{ns}	-15,14 ^{ns}	-158,97*	-163,18*
Magnésio	-57,11 ^{ns}	8,08*	7,10 ^{ns}	-8,33*	-21,68 ^{ns}	-54,01*
	Componentes químicos estruturais (%)					
Extrativos	58,45*	-1,59 ^{ns}	-21,30*	-4,51 ^{ns}	27,80 ^{ns}	34,16*
Holocelulose	-52,24 ^{ns}	-4,85 ^{ns}	-1,37 ^{ns}	4,08 ^{ns}	-45,74 ^{ns}	-26,32 ^{ns}
Lignina solúvel	-1,86 ^{ns}	-1,18 ^{ns}	0,42 ^{ns}	-0,73 ^{ns}	-1,31 ^{ns}	3,42 ^{ns}
Lignina insolúvel	-1,29 ^{ns}	-8,59 ^{ns}	11,90 ^{ns}	0,43 ^{ns}	-7,90 ^{ns}	26,46 ^{ns}



Lignina total	-3,15 ^{ns}	-9,77 ^{ns}	12,32 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	-9,20 ^{ns}	29,88 ^{ns}
	Relações					
C:P	-374,11 ^{ns}	7,92 ^{ns}	34,95 ^{ns}	86,55 ^{ns}	-198,32 ^{ns}	-229,99 ^{ns}
C:N	19,72 ^{ns}	-0,71 ^{ns}	14,04 ^{ns}	11,35*	-33,25*	-30,40 ^{ns}
LT:N	1,57 ^{ns}	-0,45 ^{ns}	1,43*	0,50 ^{ns}	-2,00*	-0,18 ^{ns}
LT:P	-17,21 ^{ns}	-2,83 ^{ns}	6,95 ^{ns}	4,27 ^{ns}	-13,17 ^{ns}	-1,86 ^{ns}

^{1/}C1, Plantas cultivadas vs Plantas espontâneas; C2, Guandu vs Milheto; C3, Guandu ou Milheto solteiro vs Guandu e Milheto consorciado; C4, Guandu+Milheto+Sorgo+Milho vs Guandu+Milheto+Crotalária+Feijão-de-porco; C5, Milheto vs Milheto consorciado; C6, Guandu vs Guandu consorciado. ^{ns} não significativo, * significativo a 5% de probabilidade.

Figura 2. Produção de fitomassa fresca e seca e acúmulo de carbono em plantas de cobertura semeadas em cultivo solteiro e consorciado na entrelinha de um pomar de mangueiras. Gráfico em plano de fundo indica a proporção de cada planta de cobertura nos sistemas de cultivo (G (Guandu); Mt (Milheto); G+Mt (Guandu+Milheto); G+Mt+S+C (Guandu+Milheto+Sorgo+Crotalária); G+Mt+S+M (Guandu+Milheto+Sorgo+Milho); G+Mt+S+F (Guandu+Milheto+Crotalária+Feijão-de-porco); E (Vegetação espontânea).

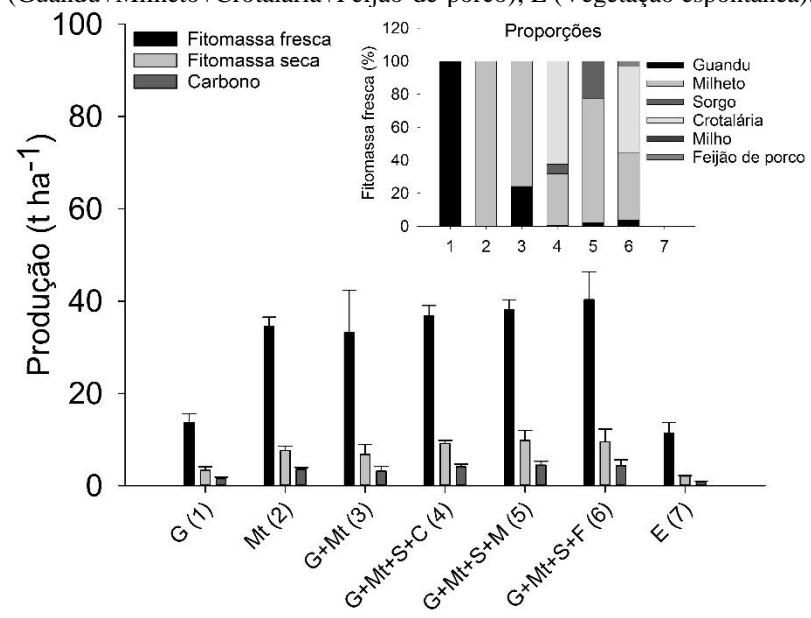




Figura 3. Acúmulo de macronutrientes na fitomassa seca em plantas de cobertura semeadas em cultivo solteiro e consorciado na entrelinha de um pomar de mangueiras (G (Guandu); Mt (Milheto); G+Mt (Guandu+Milheto); G+Mt+S+C (Guandu+Milheto+Sorgo+Crotalária); G+Mt+S+M (Guandu+Milheto+Sorgo+Milho); G+Mt+C+F (Guandu+Milheto+Crotalária+Feijão-de-Porco); E (Vegetação espontânea).

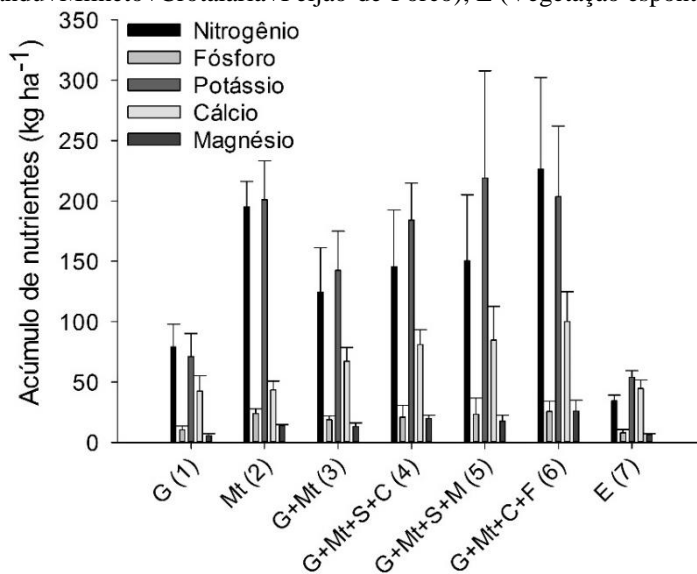


Tabela 5. Estatística descritiva para os macronutrientes dos tratamentos avaliados

	G	Mt	G+Mt	G+Mt+S+C	G+Mt+S+M	G+Mt+C+FP	E
Nitrogênio							
CV (%)	23,73	10,74	30,00	32,32	36,51	33,40	14,19
DP	18,76	20,97	37,26	47,07	54,89	75,66	4,86
Vmax	94,18	219,47	157,72	186,08	210,34	278,27	157,72
Vmin	58,05	182,77	84,09	93,97	102,61	139,69	84,09
Fósforo							
CV (%)	29,18	17,45	16,12	47,45	57,64	33,28	34,14
DP	3,05	4,15	3,02	9,92	13,38	8,52	2,72
Vmax	13,54	27,06	20,73	32,15	33,40	31,15	20,73
Vmin	7,43	19,12	15,26	13,43	8,06	15,79	15,26
Potássio							
CV (%)	26,81	16,02	22,83	16,68	40,52	28,82	10,57
DP	19,06	32,21	32,52	30,71	88,75	58,64	5,68
Vmax	92,86	236,36	179,18	210,43	313,12	245,29	179,18
Vmin	57,36	173,28	117,27	150,38	136,83	136,46	117,27
Cálcio							
CV (%)	30,46	16,94	16,82	15,45	32,99	25,08	16,08
DP	12,92	7,36	11,30	12,51	27,96	25,06	7,18
Vmax	56,44	49,23	80,17	88,41	116,23	120,87	80,17
Vmin	31,02	35,17	59,51	66,50	62,77	72,15	59,51
Magnésio							



CV (%)	30,71	7,53	23,10	13,55	28,68	35,23	13,75
DP	1,71	1,03	3,04	2,68	5,02	9,10	0,88
Vmax	7,48	14,56	16,61	21,76	21,93	31,99	16,61
Vmin	4,22	12,53	10,96	16,73	12,05	15,37	10,96

CV = coeficiente de variação; DP = desvio padrão; Vmax = valor máximo; Vmin = valor mínimo. G (Guandu); Mt (Milheto); G+Mt (Guandu+Milheto); G+Mt+S+C (Guandu+Milheto+Sorgo+Crotalária); G+Mt+S+M (Guandu+Milheto+Sorgo+Milho); G+Mt+C+F (Guandu+Milheto+Crotalária+Feijão-de-porco); E (Vegetação espontânea).

O milheto também foi a espécie que mais contribuiu, proporcionalmente, para a produção de FF no consórcio Guandu + Milheto + Sorgo + Milho (Figura 2). No consórcio com três leguminosas (Guandu + Milheto + Crotalária + Feijão de porco), o milheto contribuiu com 41% da FF, enquanto a crotalária foi o adubo que mais contribuiu para a produção de FF (52%). O contraste entre esses dois coquetéis vegetais (C4), mostrou que o consórcio com 3 leguminosas favoreceu o incremento de N e Mg nos resíduos (teor e acúmulo), assim como a relação C:N (Figura 3).

Comparando o cultivo solteiro de milheto versus o cultivo consorciado (C5), não foram encontradas diferenças significativas para a maioria das variáveis, exceto para os teores de N, K e Ca, e acúmulo de Ca, além das relações C:N e ligT:N (Tabela 4). Houve tendência de redução de K e aumento de Ca nos resíduos no cultivo consorciado (Figura 3). Essa mesma comparação com o cultivo de guandu (C6), mostrou que seu uso consorciado proporcionou maior produção de FF, FS, teores de N, Ca, Mg e extrativos, acúmulo de C, N, K, Ca e Mg nos resíduos dos adubos verdes (Figura 2 e 3).

Estatisticamente os arranjos testados são claramente mais eficientes na produção de FF, FS, acúmulo de carbono e nutrientes. Guandu + Milheto + Sorgo + Crotalária resultou em maior acúmulo de carbono ($4,46 \text{ t ha}^{-1}$), $3,55 \text{ t ha}^{-1}$ a mais que o da vegetação natural ($0,91 \text{ t ha}^{-1}$).

A manutenção de vegetação espontânea nas entrelinhas de plantio de mangueira irrigada, embora tenha apresentado bom comportamento para algumas variáveis, não possui o potencial de incremento de fitomassa fresca e seca, e nutrientes oferecidos pelos cultivos de gramíneas e leguminosas intencionalmente utilizadas para adubação verde. Esse potencial de uso de adubos verdes em pomar de mangueira irrigada ficou evidente também no trabalho de Brandão et al. (2017).

O aumento de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, especialmente em regiões semiáridas, é muito importante em função dos vários papéis que a matéria orgânica desempenha



para melhorar as propriedades físicas do solo, sobretudo àqueles que apresentam camadas adensadas, como é o caso especial dos solos sob esse pomar de mangueira irrigada (Silva et al., 2017). Sob tais condições, a estratégia de utilizar espécies vegetais como adubo verde pode favorecer o aumento da taxa de infiltração de água, inclusive sob sistemas de uso de vegetação espontânea (García-Díaz et al., 2018).

A manutenção de vegetação nas entrelinhas de cultivo de mangueira irrigada contribui significativamente para o sequestro de C no solo, considerando que a área de vegetação espontânea contribuiu com 0,91 t ha⁻¹ de C, podendo adicionar 41.078 t ha⁻¹ ano⁻¹ de C ao solo. Isso corresponde a 150.619 t ha⁻¹ ano⁻¹ de CO₂ fixado em mangueiras no Nordeste brasileiro. Considerando o tratamento com adubo verde de maior contribuição de C (Guandu + Milheto + Sorgo + Milho), esses números seriam 201.333 t ha⁻¹ ano⁻¹ de C adicionado ao solo.

O C no coquetel vegetal Guandu + Milheto + Sorgo + Crotalária tem origem em mais de 90% nas espécies *Crotalaria juncea* (~62%) e *Penissetum americanum* L. (~31%) (Figura 2). A crotalária possui rápido crescimento e, juntamente com o arranjo populacional do coquetel vegetal, possivelmente, proporcionou melhores condições para o desenvolvimento desta leguminosa.

Além disso, a crotalária possui elevado potencial alelopático, apresentando efeito inibitório para várias espécies de plantas daninhas (Javaid et al., 2015) e na germinação e desenvolvimento inicial de plantas da espécie *Zea mays* (Cruz-Silva et al., 2015), o que pode ter influenciado, eventualmente, na redução do crescimento do Guandu e Sorgo no coquetel vegetal 4, e Guandu e Feijão-de-porco no coquetel vegetal 6 (Figura 2). Não obstante, a forte associação entre as plantas de crotalária e organismos fixadores de N permite que haja maior eficiência em acumular biomassa (Eo et al., 2015).

Houve uma contribuição significativa do milheto para matéria fresca nos diferentes coquetéis vegetais, assim como maior produção de fitomassa seca dessa espécie em relação ao Guandu. Esse comportamento também foi observado por Rodrigues et al. (2012) na comparação entre os cultivos solteiros de milheto, guandu, crotalária, feijão-de-porco e mucuna e no consórcio milheto + leguminosa (guandu ou crotalária ou feijão-de-porco ou mucuna). De maneira geral, o milheto apresenta potencial para ser cultivado nas entrelinhas de mangueira irrigada no Semiárido, já que, além de potencializar o incremento de biomassa no solo, contribui significativamente com a lenta liberação de nutrientes para a cultura de interesse comercial ao



longo do cultivo. Essa gramínea foi eficiente tanto no cultivo solteiro quanto nos coquetéis vegetais, permitindo acumular elevadas quantidades de nutrientes nos resíduos e, conseqüentemente, evitando a perda de nutrientes por lixiviação.

Considerando o acúmulo de N, foi evidente a eficiência do coquetel vegetal com 3 espécies leguminosas (Guandu + Milheto + Crotalária + Feijão-de-porco). Pelo contraste 4, observa-se que o maior acúmulo de N neste coquetel vegetal foi reflexo da fixação biológica de N (FBN), já que não houve alteração significativa na produção de biomassa entre os consórcios comparados. Alguns trabalhos mostram a contribuição da FBN de aproximadamente 81% (Partelli et al., 2011) e 43% (Sousa et al., 2017) para o N acumulado em plantas de feijão-de-porco sob cultivo solteiro; de 37% para crotalária em cultivo consorciado com girassol, feijão caupi, feijão-de-porco, milheto, milho e sorgo (Ferreira Neto et al., 2017) e 64,5% para cultivo solteiro (Paulino et al., 2009), valor próximo ao encontrado por Perin et al. (2004) (57%); e 45% em cultivo solteiro de guandu (Paulino et al., 2009).

As diferentes contribuições da FBN para o N nas espécies utilizadas como adubo verde indicam que a fixação é extremamente dependente das condições locais de cultivo, podendo variar em função da disponibilidade de N mineral no solo (Ambrosano et al., 2011), da presença de estirpes de microrganismos que fazem simbiose com os adubos verdes (Santos et al., 2017) e até mesmo se o cultivo é consorciado ou solteiro (Couëdel et al., 2018). Em outros casos, as sementes das espécies de adubo verde são inoculadas com bactérias que promovem a fixação de N (Santos et al., 2017), o que potencializa a incorporação do nutriente atmosférico no solo.

Já o cultivo solteiro de guandu em relação ao consorciado (C6), neste trabalho, não se mostrou efetivo em aumentar o acúmulo de N, em função da menor quantidade de matéria seca do cultivo solteiro. A menor eficiência do cultivo solteiro de guandu foi visualizada também nos menores acúmulos dos outros nutrientes avaliados. Nesse sentido, o guandu em cultivo isolado não apresenta vantagens significativas para as áreas cultivadas com mangueira irrigada na região semiárida do Brasil.

4 CONCLUSÕES

1. O cultivo de leguminosas e gramíneas como adubos verdes na entrelinha de mangueira irrigada é eficiente em aumentar biomassa seca e acumular nutrientes nos resíduos em comparação à vegetação espontânea;



2. O consórcio de plantas de cobertura com 3 espécies leguminosas e uma gramínea (Guandu + Milheto + Crotalária + Feijão-de-porco) foi mais eficiente no acúmulo de N;
3. O cultivo solteiro ou consorciado de milheto é uma estratégia eficiente para adicionar C e macronutrientes ao solo;
4. O cultivo solteiro de feijão guandu não se mostrou uma alternativa eficiente de planta de cobertura para a área de mangueira irrigada.



REFERÊNCIAS

AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O., CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T. & ROSSI, F. (2011) 15N-labeled nitrogen from green manure and ammonium sulfate utilization by the sugarcane ratoon. *Scientia Agricola*, 68: 361–368

ARCOVERDE, S. N. S.; SALVIANO, A. M.; OLSZEWSKI, N.; MELO, S. B.; CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V. & PEREIRA, J. S. (2015) Qualidade física de solos em uso agrícola na região semiárida do estado da Bahia. *Rev Bras Cienc Solo*, 39 (5): 1473-1482

BRANDÃO, S. S.; SALVIANO, A. M.; OLSZEWSKI, N. & GIONGO, V. (2017) Adubação verde contribuindo para ciclagem de nutrientes em ambientes irrigados no semiárido brasileiro. *J Environ Anal Prog*, 2: 519–525

CAMPOS, L. F. C. *Plantas de cobertura do solo e épocas de poda na videira em região tropical*. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água). Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 80 f. 2014

COUËDEL, A.; ALLETTO, L.; TRIBOUILLOIS, H. & JUSTES, E. (2018) Cover crop crucifer-legume mixtures provide effective nitrate catch crop and nitrogen green manure ecosystem services. *Agric Ecosyst Environ*, 254: 50–59

CRUSCIOL, C. A. C.; MORO, E.; LIMA, E.; ANDREOTTI, M. (2008) Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. *Bragantia*, 67 (02): 261-266

CRUZ-SILVA, C. T. A.; MATIAZZO, E. B.; PACHECO, F. P.; NÓBREGA, L. H. P. (2015) Allelopathy of *Crotalaria juncea* L. aqueous extracts on germination and initial development of maize. *Idesia Arica*, 33: 27–32

EO, J.; PARK, K-C. & KIM, M-H. (2015) Plant-specific effects of sunn hemp (*Crotalaria juncea*) and sudex (*Sorghum bicolor* var. sudanense) on the abundance and composition of soil microbial community. *Agric Ecosyst Environ*, 213: 86–93

FREDDI, O. S.; FERRAUDO, A. S. & CENTURION, J. F. (2008) Análise multivariada na compactação de um latossolo vermelho cultivado com milho. *Rev Bras Ciênc Solo*, 32 (3): 953-961

GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F. & BRITO, E. C. (2007) Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo vermelho-amarelo na região noroeste Fluminense (RJ). *Rev Bras Ciênc Solo*, 31 (06): 1421-1428

GARCÍA-DÍAZ, A.; MARQUÉS, M. J.; SASTRE, B. & BIENES, R. (2018) Labile and stable soil organic carbon and physical improvements using groundcovers in vineyards from central Spain. *Sci Total Environ*, 621: 387–397

HAIR JUNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E. & TATHAM, R. L. (2009) *Análise multivariada de dados*. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, p.688

JAVOID, M. M.; BHAN M, JOHNSON JV, RATHINASABAPATHI B, CHASE CA (2015) Biological and chemical characterizations of allelopathic potential of diverse accessions of the cover crop sunn hemp. *J Am Soc Hortic Sci*, 140: 532–541

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO, C. A. F. & MELO, W.J. (2009) *Análise química de tecido vegetal*. In: Silva et al. (ed) Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes, 2^a ed. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, pp 191-233

FERREIRA NETO, R. A.; FREITAS, A. D. S.; GIONGO, V.; CAMARGO, P. B.; MENEZES, R. S. C. & SAMPAIO, E. V. S. B. (2017) Nitrogen fixation of poaceae and leguminoseae in a green manure experiment in the Brazilian semiarid region. *Aust J Crop Sci.*; 11:1474–1480

FREITAS, M. S. C.; SOUTO, J. S.; GONÇALVES, M.; ALMEIDA, L. E. S.; SALVIANO, A. M. & GIONGO, V. (2019) Decomposition and Nutrient Release of Cover Crops in Mango Cultivation in Brazilian Semi-Arid Region. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 43: 1-21.

GIONGO, V.; COLEMAN, K.; SANTANA, M. S.; SALVIANO, A. M.; OLSZVESKI, N.; SILVA, D. J.; CUNHA, T. J. F.; PARENTE, A.; WHITMORE, A. P. & RICHTER, G. M. (2020) Optimizing multifunctional agroecosystems in irrigated dryland agriculture to restore soil carbon – Experiments and modelling. *Science of the Total Environment*, 725:138072.

PARIZ, C. M.; SANTOS, R. H. S.; GUERRA, J. G. M. & GUSMÃO, L. A. (2011) Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop livestock system. *Rev Bras Cienc Solo*, 35: 2029-2037

PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; FERREIRA, E. P. de B.; VIANA, A. P.; ESPINDOLA, J. A. A.; URQUIAGA, S. & BODDEY, R. M. (2011) Fixação biológica de nitrogênio e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e seus efeitos sobre café Conilon orgânico. *Semina Ci Agrár*, 32: 995–1006

PAULINO GM, ALVES BJR, BARROSO DG, URQUIAGA S, ESPINDOLA JAA (2009) Fixação biológica e transferência de nitrogênio por leguminosas em pomar orgânico de mangueira e gravioleira. *Pesq Agro Bras*, 44: 1598–1607

PEREIRA FILHO, A.; TEIXEIRA FILHO, J.; SALVIANO, A. M.; YURI, J. E. & GIONGO, V. (2019) Nutrient cycling in multifunctional agroecosystems with the use of plant cocktail as cover crop and green manure in the semi-arid. *African Journal of Agricultural Research*, 14: 241-251

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M. & CECON, P. R. (2004) Phytomass yield, nutrients accumulation and biological nitrogen fixation by single and associated green manures. *Pesq Agro Bras*, 39: 35–40

RODRIGUES GB, SÁ ME, FILHO V, VERIANO W, BUZETTI S, BERTOLIN DC, PINA TP (2012) Matéria e nutrientes da parte aérea de adubos verdes em cultivos exclusivo e consorciado. *Rev Ceres*, 59: 380–385

SANTOS, I. A. F. M.; JUNIOR, L.; ANDRADE, M. de, GALDINO, A. C.; FRACETTO, F. J. C. & FRACETTO, G. G. M. (2017) New rhizobial strains for velvet bean (*Stizolobium aterrimum*) evaluated under greenhouse and field conditions. *Cienc Agrotec*, 41: 428–438

SASTRE, B.; MARQUES, M. J.; GARCÍA-DÍAZ, A. & BIENES, R. (2018) Three years of management with cover crops protecting sloping olive groves soils, carbon and water effects on gypsiferous soil. *Catena*, 171: 115-124

SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; VILLANUEVA, F. C. A. & ESPINAL, F.S.C. (2009) Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. *Pesq Agrop Bras*, 44: 118-127

SILVA, K. A.; RODRIGUES, M. S.; CUNHA, J. C.; ALVES, D. C.; FREITAS, H. R. & LIMA, A. M. N (2017) Soil survey using geostatistics in an agricultural experimental area in Petrolina, Pernambuco state, Brazil. *Comun Sci*, 8:175–180

SOUSA, F. F.; SANTOS, R. H. S.; CARNEIRO, J. E. S. & URQUIAGA, S. (2017) Adubação verde de feijoeiro em consórcio com cafeeiro na agricultura familiar de Araponga, Minas Gerais. *Rev Verde Agroecol e Desenv Sustent*, 12: 674–679

SUMMERS, C. F.; PARK, S.; DUNN, A. R.; RONG, X.; EVERTS, K. L.; MEYER, S. L. F.; RUPPRECHT, S. M.; KLEINHENZ, M. D.; MCSPADDEN GARDENER, B. & SMART, C. D. (2014) Single season effects of mixed-species cover crops on tomato health (cultivar Celebrity) in multi-state field trials. *Applied Soil Ecology*, 77: 51–58

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G. & PIMENTEL, C. (2011) Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milho e sorgo. *Rev Bras Cienc Solo*, 35: 867-876

ZHANG, D.; YAO, P.; ZHAO, N.; CAO, W.; ZHANG, L. Y.; HUANG, D.; ZHAI, B.; WANG, Z. & GAO, Y. (2019) Building up the soil carbon pool via the cultivation of green manure crops in the Loess Plateau of China. *Geoderma*, 337: 425-433