



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**Maria Raphaela Severo Rafael**

**CICLAGEM DE NUTRIENTES E QUALIDADE DO SOLO EM**  
**AGROECOSSISTEMAS MULTIFUNCIONAIS FRUTÍCOLAS**  
**IRRIGADOS NO SEMIÁRIDO**



**JUAZEIRO/BA**

**2020**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
AGRÍCOLA**

Maria Raphaela Severo Rafael

**Ciclagem de nutrientes e qualidade do solo em  
agroecossistemas multifuncionais frutícolas irrigados  
no Semiárido**

Trabalho apresentado a Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Juazeiro, como requisito da obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Dr<sup>a</sup> Alessandra Monteiro Salviano

Co-orientadora: Dr<sup>a</sup> Vanderlise Giongo

JUAZEIRO – BA  
2020

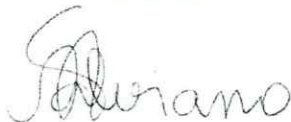
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
AGRÍCOLA**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Maria Raphaela Severo Rafael

**Ciclagem de nutrientes e qualidade do solo em agroecossistemas  
multifuncionais frutícolas irrigados no Semiárido**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.



\_\_\_\_\_  
Alessandra Monteiro Salviano, DSc. Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Semiárido



\_\_\_\_\_  
Fabio Freire de Oliveira, DSc. Tecnologias Energéticas Nucleares, IF Sertão Pernambucano



\_\_\_\_\_  
Jairton Fraga Araújo, DSc. Horticultura, UNEB



\_\_\_\_\_  
Stefeson Bezerra de Melo, DSc. Fitotecnia, UFERSA

Rafael, Maria Raphaela Severo.  
R136c      Ciclagem de nutrientes e qualidade do solo em agroecossistemas multifuncionais frutícolas irrigados no Semiárido / Maria Raphaela Severo Rafael. – Juazeiro - BA, 2020.  
78f: il.: 29 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro-BA, 2020.

Orientadora: Prof. Dra. Alessandra Monteiro Salviano.  
Inclui referências.

1. Adubação verde. 2. Qualidade do solo. 3. Ciclagem de nutrientes. I. Título. II. Salviano, Alessandra Monteiro. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 631.874

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF  
Bibliotecário: Renato Marques Alves, CRB 5 – 1458.

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais Ayrton Oliveira Rafael e Gildete Severo da Silva Rafael; aos meus irmãos Jaziel Rafael da Silva Netto e Leandro Severo Rafael; aos meus avós Odete de Oliveira Silva, Odete Maria das Flores, Jaziel Rafael da Silva (*in memoriam*) e José Severo da Silva; à minha tia Núbia de Oliveira Rafael; ao meu esposo Philipe Nunes Cerqueira e à minha prima irmã Jaqueline da Silva Pereira, dedico.

À todos os professores que fizeram parte dessa jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus por me conceder força, fé, saúde e perseverança de seguir em frente sempre.

À Prof<sup>a</sup> Alessandra Monteiro Salviano, pela orientação, ensinamentos, confiança, paciência e amizade. Embrapa Semiárido.

À Pesquisadora da Embrapa, Vanderlise Giongo pelas contribuições.

Ao Laboratório de Solos da EMBRAPA Semiárido por todo suporte técnico para realização dessa pesquisa, principalmente Hélio Brasileiro Barbosa e Manoel Barbosa Neto. Aos amigos que colaboraram de alguma forma no desenvolvimento desse trabalho, em especial Vanderson Coelho (UPE) e Mônica Santana (UFRPE).

Ao Professor da UNIVASF Augusto Miguel Nascimento Lima pelas contribuições e sugestões.

Ao grupo do Laboratório de Isótopos Estáveis da UFV, especialmente Jônatas Pedro da Silva, João José, Humberto, Helen, Prof<sup>a</sup> Emanuelle Mercês Barros Soares e Prof. Ivo Ribeiro, por toda ajuda e aprendizado.

Aos professores da UFV, Júlio César Lima Neves e Marcos Tótola pelos ensinamentos.

À Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade, aos professores pelos conhecimentos passados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa, e ao Programa Nacional de Cooperação Acadêmica pelo apoio na mobilidade acadêmica.

Aos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!!!

Rafael, M. R. S.; Salviano, A. M.; Giongo, V (2020) Ciclagem de nutrientes e qualidade do solo em agroecossistemas multifuncionais frutícolas irrigados no Semiárido

## RESUMO

As práticas de manejo do solo devem ser planejadas e executadas de forma a proporcionar a manutenção, ou mesmo melhorar a qualidade dos atributos do solo aumentando a capacidade em sustentar uma produtividade competitiva, sob aspectos físicos, químicos e biológicos, sem comprometer a qualidade ambiental. Portanto, o presente trabalho buscou avaliar a adição de fitomassa seca e carbono, a dinâmica de decomposição e a ciclagem de macronutrientes por espécies de adubos verdes cultivadas solteiras ou em consórcio, bem como definir indicadores de qualidade do solo para subsidiar o desenho de agroecossistemas multifuncionais frutícolas em ambiente semiárido, visando à sustentabilidade da produção agrícola na região. O trabalho foi realizado em duas etapas: na primeira avaliou-se a produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes, bem como a liberação e ciclagem de macronutrientes, de espécies utilizadas como adubos verdes, em pomar de mangueira cv. "Palmer"; na segunda utilizaram-se dados de um experimento de longa duração, para avaliar características do solo com potencial para utilização como indicadores de qualidade no monitoramento de agroecossistemas multifuncionais instalados em pomar de mangueira cv. "Kent". O cultivo de leguminosas e gramíneas como adubos verdes na entrelinha de mangueira irrigada foi eficiente na produção de fitomassa seca e no acúmulo de nutrientes nos resíduos em comparação à vegetação espontânea. O consórcio Guandu+Milheto+Crotalária+Feijão-de-porco apresentou maior eficiência no acúmulo de N na fitomassa aérea. Já o milheto, tanto no cultivo solteiro como consorciado, foi uma estratégia eficiente para aumentar os estoques de C no solo. Por outro lado, o cultivo solteiro de guandu não se mostrou uma alternativa de adubação verde eficiente de para a área de mangueira irrigada, em ambiente semiárido. Em geral, a dinâmica de liberação dos nutrientes presentes nos resíduos vegetais seguiu a ordem:  $K > N > Mg > Ca > P$ . Considerando a avaliação da qualidade do solo em agroecossistemas funcionais sustentáveis instalados em pomar de manga cv. Kent, o manejo da fitomassa das misturas de plantas de cobertura sem o revolvimento do solo proporciona maior acúmulo de C, além de melhorar a qualidade do solo na profundidade inicial (0 – 0,05 m), independente da composição das plantas de cobertura. As características do solo que apresentaram maior potencial para utilização como indicadores de qualidade, independente do tipo de manejo e da composição das plantas de cobertura, foram: H+Al, Ca, CTC, C, P, Mg, Mi, Pt, K, V, Na e SB.

**Palavras-chave:** Adubação verde. Taxa de decomposição. Taxa de liberação de nutrientes. Indicadores de qualidade. Manejo do solo.

Rafael, M. R. S.; Salviano, A. M.; Giongo, V (2020) Nutrient cycling and soil quality in irrigated fruit multifunctional agroecosystems in the semiarid region

### ABSTRACT

Soil management practices must be planned and executed in order to provide maintenance, or even improve the quality of soil attributes, increasing the capacity to sustain competitive productivity, under physical, chemical and biological aspects, without compromising environmental quality. Therefore, the present work sought to evaluate the addition of dry phytomass and carbon, decomposition dynamics and macronutrient cycling by green manure species, as well as to define soil quality indicators to support the design of multifunctional fruit agro-ecosystems in a semiarid environment, aiming at sustainability of agricultural production in the region. The work was carried out in two stages: in the first one, it was evaluated the production of phytomass and accumulation of nutrients, as well as the release and cycling of macronutrients, of species used as green manure, in a mango tree cv. "Palmer"; The second used data from a long-term experiment over a 6-year interval, to evaluate possible indicators of soil quality cultivated with a mixture of cover plants, in a mango tree cv. "Kent". The cultivation of legumes and grasses as green manure between the irrigated mango tree was efficient in increasing dry phytomass and accumulating nutrients in the residues compared to spontaneous vegetation. The treatment (Guandu + Millet + Crotalaria + Pork beans) showed greater efficiency in the accumulation of N. The single or intercropped millet was an efficient strategy to increase the C stocks in the soil, on the other hand, the single pigeon does not showed an efficient alternative of green manure for the irrigated hose area. In general, the dynamics of release of nutrients present in plant residues followed the order: K > N > Mg > Ca > P. The non-revolving soil provides greater accumulation of C, in addition to improving soil quality at the initial depth (0 - 0.05 m), independent of the composition of the cover plants. In all tested arrangements the indicators of greatest weight are: H + Al, Ca, CTC, C, P, Mg, Mi, Pt, K, V, Na and SB, so it can be considered as the best indicators of soil quality, regardless of plant management and composition.

**Keywords:** Green manure. Nutrient accumulation. Soil fertility. Quality indicators. Soil management.



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	10
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	12
2.1. Práticas convencionais de manejo do solo .....	12
2.2. Uso de práticas conservacionistas para o manejo das espécies cultivadas .....	14
2.3. Manejo do solo utilizando plantas de cobertura, com ênfase no Semiárido brasileiro .....	14
2.5. Indicadores de qualidade do solo .....	16
<b>2.6. REFERÊNCIAS</b> .....	17
<b>3. ARTIGO 1: Plantas de cobertura em ambiente semiárido: estratégia tecnológica para o aumento da produção de biomassa, adição de carbono e ciclagem de nutrientes</b> .....	23
<b>3.1. RESUMO</b> .....	23
<b>3.2. ABSTRACT:</b> .....	24
<b>3.3. INTRODUÇÃO</b> .....	25
<b>3.4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	26
<b>3.5. RESULTADOS</b> .....	29
<b>3.6. DISCUSSÃO</b> .....	35
<b>3.7. CONCLUSÕES</b> .....	37
<b>3.8. REFERÊNCIAS</b> .....	38
<b>4. ARTIGO 2: Dinâmica de macronutrientes em adubos verdes cultivados nas entrelinhas de pomar de mangueira cv. Palmer no Semiárido</b> .....	42
<b>4.1. RESUMO</b> .....	42
<b>4.2. ABSTRACT</b> .....	43
<b>4.3. INTRODUÇÃO</b> .....	44
<b>4.4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	45
<b>4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	50
<b>4.6. CONCLUSÕES</b> .....	61
<b>4.7. REFERÊNCIAS</b> .....	61
<b>5. ARTIGO 3: Qualidade do solo em agroecossistemas multifuncionais sustentáveis frutícolas em ambiente Semiárido</b> .....	66
<b>5.1. RESUMO</b> .....	66
<b>5.2. ABSTRACT</b> .....	68
<b>5.3. INTRODUÇÃO</b> .....	69

<b>5.4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>70</b>
<b>5.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>74</b>
<b>5.6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>82</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>82</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>86</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Diversos resultados de pesquisas mostram o efeito negativo do uso inadequado do solo, que reflete diretamente na sua qualidade (Aziz; Mahmood; Islam, 2013; Silva; Felizmino; Oliveira, 2015). Dentro dessa problemática, novos trabalhos estão sendo desenvolvidos com intuito de propor manejos mais adequados às condições edafoclimáticas de cada região, visando melhorar a qualidade dos atributos do solo e à sustentabilidade dos sistemas de produção.

Dentre essas técnicas, pode-se destacar o cultivo de adubos verdes, seja na forma solteira ou consorciada, em rotação ou associada às culturas, utilizando-se espécies leguminosas, oleaginosas e/ou gramíneas na forma consorciada, compondo coquetéis vegetais.

Nesses sistemas, espécies utilizadas como culturas de cobertura são semeadas em conjunto (misturadas) e quando atingem o estágio de pleno florescimento são cortadas e depositadas sobre o solo. Dessa forma, permite-se a movimentação dos nutrientes das camadas mais profundas do solo, extraídos por meio do sistema radicular, para a superfície, após o corte da fitomassa dos coquetéis e sua decomposição pela ação do ambiente (Giongo et al., 2011).

Assim, objetiva-se com essa prática adicionar ao solo maiores quantidades de fitomassa e de carbono orgânico, ciclar nutrientes, bem como, proporcionar melhoria na qualidade do solo nesse agroecossistema (Arcoverde et al., 2015; Brandão et al., 2017a; Giongo et al., 2011, 2014, 2016).

O avanço no cultivo irrigado de algumas espécies na região Semiárida, principalmente as frutíferas, com destaque para a cultura da mangueira (*Mangifera indica* L.) requer tecnologias adaptadas que mitiguem os impactos desses agroecossistemas, especificamente no Vale do Submédio São Francisco, região, esta, responsável pela maior produção e exportação de manga irrigada do país (Barbosa et al., 2016). Entretanto, as características climáticas locais favorecem a decomposição da cobertura vegetal, pois as altas temperaturas, luminosidade e evapotranspiração, aliadas aos maiores índices de umidade, proporcionados pela irrigação, aceleram este processo.

Nesse sentido, o presente trabalho buscou avaliar a adição de fitomassa seca e carbono, dinâmica de decomposição e ciclagem de macronutrientes por espécies

de adubos verdes cultivadas solteiras e/ou consorciadas, bem como definir indicadores de qualidade do solo para subsidiar o desenho de agroecossistemas multifuncionais frutícolas em ambiente semiárido, visando à sustentabilidade da produção agrícola na região.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Práticas convencionais de manejo do solo

Na Região Semiárida a degradação dos solos e do ambiente pode tomar maiores proporções, visto que, a mesma possui em sua maioria solos rasos (Medeiros; Gheyi; Nascimento, 2012), razão pela qual há maior probabilidade de salinização e consequente desertificação.

Os baixos índices pluviométricos e as elevadas temperaturas reduzem a cobertura vegetal da caatinga, além de, dificultar a agricultura de 'sequeiro', sendo, portanto, necessário em quase todo território utilizar-se da irrigação, como alternativa para garantir a produção local. Lima (2009) afirma que o uso da irrigação é a prática mais segura para a produção agrícola da região.

No entanto, apesar da irrigação ser responsável pelo aumento da produção e possibilitar mais de uma colheita por ano, como no caso da videira, talvez por uma questão histórica, tem sido utilizada em conjunto com as práticas convencionais e intensivas de manejo do solo, favorecendo os processos de degradação.

Conforme Vazquez; Vignolles (2015) o desenvolvimento econômico e social de uma região ou país está diretamente relacionado à disponibilidade de seus recursos naturais. Portanto, o equilíbrio ambiental é imprescindível à capacidade produtiva do meio. Sabe-se que o uso frequente de práticas com intenso revolvimento do solo proporciona condições favoráveis ao processo de degradação das características do mesmo, como redução do carbono (C) orgânico, compactação, e aumento da salinidade dos solos e escassez de água, o que acelera as mudanças climáticas (Giongo et al., 2017; Müller Carneiro et al., 2019; Smith et al., 2015).

A implantação de sistemas de produção irrigado e convencional promove uma ruptura do equilíbrio dinâmico do carbono do solo sob vegetação nativa (Caatinga), cujo valor já é naturalmente baixo. Conforme Menezes et al. (2012), a média é de 23 Mg ha<sup>-1</sup>, na camada até 20 cm, isso se deve a baixa produção de biomassa das espécies nativas, limitada pela fertilidade do solo e baixos índices pluviométricos. Assim, esses estoques são ainda mais reduzidos quando a conversão é feita para o sistema de produção convencional de manga (dados não publicados).

Segundo Acioly et al. (2017) a agricultura irrigada se estende por cerca de 104 mil ha nessa região, geralmente utilizando monoculturas, em cultivo convencional e

elevadas quantidades de insumos químicos. Entre as principais culturas podemos citar: a manga, uva, acerola, goiaba, banana, coco, cebola, melancia, melão entre outras.

Os impactos nas propriedades e processos físicos, químicos e biológicos do solo, causados pelas práticas agrícolas, podem ser positivos ou negativos (Arcoverde et al., 2015; Cardoso et al., 2014). Quando utilizadas de forma inadequadas as técnicas de manejo do solo podem provocar processos de degradação irreversíveis, como é o caso da desertificação, especialmente nos solos desprovidos de vegetação e com baixos teores de nutrientes (Silva; Felizmino; Oliveira, 2015).

O sistema de cultivo baseado no uso intensivo do solo, de fertilizantes químicos e agroquímicos (Lopes et al., 2014), além de diminuir a matéria orgânica do solo e os riscos de erosão, aumentam a dependência de insumos agrícolas, os quais possibilitam maiores impactos ambientais (Cardoso et al., 2013). Santos et al. (2018) afirmam que as práticas convencionais adotadas por produtores do Vale do São Francisco proporcionam maiores impactos ambientais do que o manejo conservacionista.

Em sistema de plantio direto, Brown et al. (2018) verificaram a redução da densidade do solo, aumento da porosidade total, da estabilidade de agregados e do índice de floculação da argila.

Trabalhos mostram existir aumento na densidade do solo (Brown et al., 2018; Cherubin et al., 2015; Valarini et al., 2011), resistência à penetração, redução da macroporosidade e porosidade total do solo independente do sistema de cultivo utilizado, quando se compara esses valores à condição natural do ambiente. Assim, observa-se que, em geral, o manejo do solo pelos sistemas agrícolas interfere nas suas condições físicas, causando a compactação das camadas mais superficiais (Cherubin et al., 2015).

Os componentes biológicos do solo, responsáveis pela decomposição e mineralização do resíduo vegetal, também são afetados pelas práticas agrícolas (Marques et al., 2014). O revolvimento do solo expõe os organismos às intempéries, sendo esses, em maioria, sensíveis à radiação solar, causando a redução da população edáfica. Vale destacar que, a biota do solo é afetada pelas perturbações do solo mais rapidamente, diferente de alguns atributos das propriedades químicas e físicas, que levam um tempo maior para serem alteradas (Cardoso et al., 2013).

Assim, é primordial o desenvolvimento de sistemas de cultivo mais sustentáveis e conservacionistas, sem prejuízos ao rendimento das culturas. Em longo prazo, a adoção desses agroecossistemas sustentáveis contribui para a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, refletindo positivamente na produtividade das lavouras (Cardoso et al., 2014) e na manutenção dos serviços ecossistêmicos do solo.

## **2.2. Uso de práticas conservacionistas para o manejo das espécies cultivadas**

Segundo Lal (2013) deve-se buscar por sistemas inovadores que promovam máxima produção minimizando os efeitos exercidos por tais práticas sobre o ecossistema, entretanto esses manejos devem ser avaliados criticamente. Para Cherubin et al. (2015), o monitoramento das alterações nos atributos do solo em agroecossistemas, ocasionadas pelos diferentes sistemas e práticas de manejo, é essencial para definir e traçar estratégias com menores impactos ao meio ambiente.

Portanto, explorar e incentivar o manejo mais conservacionista para reduzir os impactos negativos da produção agrícola no solo é fundamental no contexto atual da produção agrícola (García-Díaz et al., 2018). Segundo os autores a mudança do manejo convencional para alternativas mais sustentáveis contrabalançará a mineralização e aumentará ou manterá a matéria orgânica dos solos, buscando ecossistemas mais eficientes na redução da emissão de gases de efeito estufa (Giongo et al., 2014), e na qualidade do alimento produzido principalmente quanto à ausência de contaminantes químicos.

Existem na literatura algumas práticas de manejo mais sustentáveis, sem prejuízos para a produtividade das culturas, no entanto, ainda é preciso tempo para que tais técnicas sejam adotadas de maneira predominante e com maior eficiência. Pode-se citar o plantio direto e a adubação verde como sistemas de manejo mais sustentáveis. Cavalcante et al. (2012) apontam a adubação verde como uma alternativa para a sustentabilidade da agricultura, apresentando como vantagens a manutenção do solo coberto e a melhoria de sua qualidade química, física e biológica.

## **2.3. Manejo do solo utilizando plantas de cobertura, com ênfase no Semiárido brasileiro**

Considerando os problemas destacados anteriormente, instituições de pesquisa como a Embrapa vem desenvolvendo, por meio de experimentos de longa duração, modelos de agroecossistemas multifuncionais sustentáveis para a fruticultura em regiões semiáridas, utilizando misturas de plantas de cobertura associadas ao não revolvimento do solo/plantio direto (Brandão et al., 2017a; Freitas et al., 2019; Giongo et al., 2011; Müller Carneiro et al., 2018; Neto et al., 2017; Pereira Filho et al., 2019).

As espécies mais utilizadas em cultivos na composição de adubos verdes pelos pesquisadores supracitados são: calopogônio (*Calopogonium mucunoides*), crotalarias (*Crotalaria juncea* e *Crotalaria spectabilis*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), feijão guandu (*Cajanus cajan*), lab-lab (*Dolichos lablab*), mucuna preta (*Mucuna aterrima*), mucuna cinza (*Mucuna cinereum*), gergelim (*Sesamum indicum*), girassol (*Helianthus annuus*), mamona (*Ricinus communis*), milheto (*Pennisetum americanum*), sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) e milho (*Zea mays*), mostrando bons resultados em acúmulo de fitomassa e de nutrientes, além de uma boa adaptação à Região Semiárida conforme mencionadas em alguns trabalhos (Brandão et al., 2017a, 2017b; Cunha et al., 2016; Giongo et al., 2014, 2016, 2017; Mouco et al., 2015; Pereira Filho et al., 2016; Santos et al., 2018).

Todavia, em geral, a prática da adubação verde não é muito adotada em regiões semiáridas devido às dificuldades geradas pelas suas características climáticas. Assim, considerando a preocupação mundial com a gestão dos recursos hídricos, principalmente no semiárido, faz-se necessário o estabelecimento de alternativas para esse cenário, com o uso de espécies mais adaptadas e com menores exigências hídricas e nutricionais.

Trabalhos mostram que utilizar espécies de vegetação espontânea sem revolvimento do solo é uma estratégia eficiente para adicionar C ao solo e ciclar nutrientes (Brandão et al., 2017a e b; Freitas et al., 2019; Giongo et al., 2016; Pereira Filho et al., 2019), além de contribuir para a preservação da biologia do solo (Freitas 2018). Dessa forma, utilizar espécies espontâneas além de melhorar a qualidade do solo, torna-se uma estratégia que pode reduzir os custos de implantação da adubação verde (Pereira Filho et al., 2017).

Os modelos de agroecossistemas apresentam potencial para reverter parcialmente o impacto do desmatamento na Caatinga e da instalação dos sistemas



agrícolas convencionais nos estoques de C do solo (Santana et al., 2019; Valbrun et al., 2018).

No entanto, sabe-se que as plantas são organismos dependentes das condições do meio para sua manutenção, apresentando mecanismos de adaptação ao habitat, portanto, uma das principais limitações relacionada ao uso de adubos verdes é a busca por espécies que se adaptem às condições climáticas e de solo, as quais são submetidas (Giongo et al., 2016).

## **2.5. Indicadores de qualidade do solo**

As temperaturas médias anuais mais altas no semiárido brasileiro (26,2 °C) associadas à prática de irrigação aceleram o processo de decomposição dos resíduos vegetais (Freitas et al., 2019; Pereira Filho et al., 2019). Alguns estudos mostram que, em ambiente semiárido, apenas as espécies de plantas em si não afetam significativamente o acúmulo de carbono orgânico no solo (García-González et al., 2018) portanto, é importante desenvolver estudos mais aprofundados quanto os efeitos do clima e a disponibilidade de água no solo nos processos de adição/decomposição de C nessa região.

Além disso, a maioria dos solos apresenta textura arenosa, o que dificulta a proteção física da matéria orgânica, interferindo na formação de agregados e facilitando a decomposição da cobertura vegetal (Santos et al., 2011). Logo, existe a necessidade de implantar tecnologias que venham contribuir para manutenção da cobertura do solo, bem como melhorar suas propriedades e mantendo a qualidade dos serviços ecossistêmicos prestados. Entre estes podemos citar a ciclagem de nutrientes, a capacidade de armazenamento de água, a capacidade de disponibilizar e manter nutrientes para as culturas (Schröder et al., 2016).

Conhecer as alterações nos atributos químicos e físicos do solo, causadas pelo uso agrícola, fornece subsídios para a adoção de práticas de manejo que permitam incrementar o rendimento das culturas, garantindo a contínua sustentabilidade e a conservação dos ecossistemas (Freitas et al., 2014). Dentre as propriedades utilizadas para avaliar a qualidade do solo, pode-se destacar características químicas como pH, condutividade elétrica, capacidade de troca de cátions, saturação por bases, carbono orgânico e elementos que causam fitotoxicidade como o alumínio. Entre as

características físicas estão as densidades do solo e de partículas, macro e microporosidade, capacidade de retenção de água, resistência à penetração e estabilidade de agregados (Araújo et al., 2012).

Uma das técnicas com grande aceitação na manutenção da cobertura do solo é o cultivo de espécies consorciadas ou solteiras. A manutenção da sua fitomassa sobre a superfície do solo, após o corte, influencia de forma positiva na manutenção ou melhoria dos atributos químicos, físicos (Silva et al., 2017) e biológicos (Freitas 2018), além de, contribuindo para a fertilidade do solo e para a sustentabilidade do sistema de produção (Song-Juan et al., 2018).

Assim, definir indicadores de qualidade do solo mais adequados aos sistemas de produção é essencial para escolha da estratégia para melhoria da qualidade do solo.

Trabalhando com a qualidade química do solo em áreas irrigadas Morais et al. (2015), encontraram resultados positivos quanto ao teor de cálcio, potássio, zinco e ferro, o que pode ser explicado pela adição de fertilizantes químicos para suprir a demanda das culturas.

Por outro lado, Almeida et al. (2016) verificaram aumento nos estoques de carbono e nitrogênio do solo com a manutenção da palhada de cana-de-açúcar sobre a superfície do solo. Em adição, existe na literatura trabalhos que mencionam o acúmulo de nutrientes na fitomassa aérea e sistema radicular de espécies utilizadas como adubos verdes (Aziz; Mahmood; Islam, 2013; Brandão et al., 2017a, 2017b; Cavalcante et al., 2012; Cunha et al., 2016; Faria; Costa; Faria, 2007), indicativo de melhoria na qualidade química do solo.

## 2.6. REFERÊNCIAS

ACIOLY, L. J. O.; SILVA, E. A.; CAVALCANTI JUNIOR, E. A.; ALVES, E. S.; PEREIRA, A. G. S.; SILVA, R. S.; RAMOS, R. R. D.; SILVA, R. R. Mapeamento do uso e cobertura das terras do Semiárido pernambucano (escala 1:100.000). Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 100 p. il. color. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 260).

ALMEIDA, L. S.; FERREIRA, V. A. S.; FERNANDES, L. A.; FRAZÃO, L. A.; OLIVEIRA, A. L. G.; SAMPAIO, R. A. Indicadores de qualidade do solo em cultivos irrigados de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1539–1547, 2016.

ARAÚJO E.A.; KER J.C.; NEVES J.C.L.; LANI J.L. (2012) Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Rev Bras Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, 5 (1): 187 – 206

ARCOVERDE, S. N. S.; SALVIANO, A. M.; OLSZEWSKI, N. MELO, S. B.; CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V.; PEREIRA, J. S. Qualidade física de solos em uso agrícola na região Semiárida do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 5, p. 1473–1482, 2015.

AZIZ, I.; MAHMOOD, T.; ISLAM, K. R. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. **Soil and Tillage Research**, v. 131, p. 28–35, 2013.

BARBOSA LFS, CAVALCANTE IHL, LIMA AMN (2016) Desordem fisiológica e produtividade de mangueira cv. Palmer associada à nutrição de boro. **Rev Bras Frutic** 38: 1-9

BRANDÃO, S. S.; SALVIANO, A. M.; OLSZEWSKI, N.; GIONGO, V. Green manure contributing for nutrients cycling in irrigated environments of the Brazilian semi-arid. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, p. 519–525, 2017a.

BRANDÃO, S. S.; GIONGO, V.; OLSZEWSKI, N.; SALVIANO, A. M. Coquetéis vegetais e sistemas de manejo alterando a qualidade do solo e produtividade da mangueira. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, 2017b.

BROWN, V.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; MAFRA, A. L.; MUZEKA, L. M. Efeitos no solo e nas culturas após vinte anos de cultivo convencional e semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 13, n. 1, p. 5501-5508, 2018.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M.; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agrícola**, v. 70, n. 4, p. 274–289, 2013.

CARDOSO, R. A.; BENTO, A. S.; MORESKI, H. M.; GASPAROTTO, F. Influência da adubação verde nas propriedades físicas e biológicas do solo e na produtividade da cultura de soja. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 35, n. 2, p. 51–60, 2014.

CAVALCANTE, V. S.; SANTOS, V. R.; NETO, A. L. S.; SANTOS, M. A. L.; SANTOS, C. G.; COSTA, L. C. Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 521 – 528, 2012.

CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S. W.; SILVA, R. F.; SILVA, V. R.; BASSO, C. J. Qualidade física, química e biológica de um latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 615–625, 2015.

CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V.; SALVIANO, A. M.; MARQUES, F. A.; CANELLAS, L. P. Humified fraction of organic matter due to plant mixture cultivation. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 3, p. 578–586, 2016.

FARIA, C. M. B.; COSTA, N. D.; FARIA, A. F. Atributos químicos de um argissolo e rendimento de melão mediante o uso de adubos verdes, calagem e adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p. 299–307, 2007.

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. **Rev. Bras. Ciênc Solo** 43.

FREITAS, M. S. C. **Distribuição de organismos da fauna epigeica, ciclagem de nutrientes e carbono do solo em agroecossistema de mangueira no semiárido**. Areia: UFPB, CCA, 2018. 115 f.

FREITAS L.; CASAGRANDE J.C.; OLIVEIRA I.A.; CAMPOS M.C.C (2014) Análise multivariada na avaliação de atributos de solos com diferentes texturas cultivados com cana-de-açúcar. **Rev Cienc Agrar**, v. 57, n. 3, p. 224-233

GARCÍA-DÍAZ, A.; MARQUÉS, M. J.; SASTRE, B.; BIENES, R. Labile and stable soil organic carbon and physical improvements using groundcovers in vineyards from central Spain. **Science of the total Environment**, v. 621, p. 387–397, 2018.

GARCÍA-GONZÁLEZ, I.; HONTORIA, C.; GABRIEL, J.L.; ALONSO-AYUSO, M.; QUEMADA, M. (2018) Cover crops to mitigate soil degradation and enhance soil functionality in irrigated land. **Geoderma**, 322: 81–88.

GIONGO, V.; BRANDÃO, S. S.; SANTANA, M. S.; COSTA, N. D.; SALVIANO, A. M.; YURI, J. E.; PETRERE, C. Sistema plantio direto de meloeiro com coquetéis

vegetais em vertissolo no Semiárido. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, v. 117, p. 26, 2014.

GIONGO, V.; SALVIANO, A. M.; SANTANA, M. S.; COSTA, N. D.; YURI, J. E. Soil management systems for sustainable melon cropping in the submedian of the São Francisco valley. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 3, p. 537–547, 2016.

GIONGO, V.; GONDIM, R. S.; SALVIANO, A. M.; PEREIRA FILHO, A.; VEZZANI, F. M. Estratégias para uma agricultura de baixa emissão de carbono no cultivo de meloeiro. In: FIGUEIRÊDO, M. C. B.; GONDIM, R. S.; ARAGÃO, F. A. S. (Eds.). **Produção de melão e mudanças climáticas: Sistemas conservacionistas para redução das pegadas de carbono e hídrica**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 213–230.

GIONGO, V.; MENDES, A.M.S.; CUNHA, T.J.F.; GALVÃO, S.R.S. (2011) The decomposition and release of nutrients by plant mixtures in the Brazilian semi-arid regions. **Rev. Cienc. Agron.** 42

LAL, R. Enhancing ecosystem services with no-till. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 28, n. 02, p. 102–114, 2013.

LIMA, V. L. A. Reuso de água para irrigação em zonas áridas. In: PAZ, V. P. S. et al. (Eds.). **Manejo e sustentabilidade da irrigação em regiões áridas e semiáridas**. Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2009. p. 146–162.

LOPES, P. R.; ARAÚJO, K. C. S.; LOPES, I. M.; RANGEL, L. P.; SANTOS, N. F. F.; KAGEYAMA, P. Y. Uma análise das consequências da cafeicultura convencional e as opções de modelos sustentáveis de produção – agricultura orgânica e agroflorestal. **REDD – Revista Espaço de Diálogo e Desconexão**, v. 8, n. 2, 2014.

MARQUES, D. M.; SILVA, A. B.; SILVA, L. M.; MOREIRA, E. A.; PINTO, G. S. Macrofauna edáfica em diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 5, 2014.

MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; NASCIMENTO, I. B. Salinidade de solo e da água e seus efeitos na produção agrícola. In: GHEYI, H. R. et al. (Eds.). **Recursos hídricos em Regiões Semiáridas: Estudos e aplicações**. Campina Grande, PB; Cruz das Almas, BA: Instituto Nacional do Semiárido/ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. p. 189–222.

MORAIS, E. R. C.; MAIA, C. E.; GAUDÊNCIO, H. R. S. C.; SOUSA, D. M. M. Indicadores da qualidade química do solo em áreas cultivadas com mamoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 6, p. 587–591, 2015.

MOUCO, M.A.; SILVA, D. J.; GIONGO, V.; SALVIANO, A. M. Green manures in “Kent” mango orchard. **Acta Horticulturae**, v. 1075, p. 179–184, 2015.

MÜLLER CARNEIRO J, DIAS AF, BARROS VS, GIONGO V, FOLEGATTI MIS, BRITO FMC (2019) Carbon and water footprints of Brazilian mango produced in the semiarid region. **Int. J. Life Cycle Assess**, 24:

MÜLLER CARNEIRO, J.; DIAS, A.F.; BARROS, V. S.; GIONGO, V.; FOLEGATTI MATSUURA, M.I. S.; BRITO, M.C.F. (2018) Carbon and water footprints of Brazilian mango produced in the semiarid region. **Int. J. Life Cycle Assess**, p. 735–752.

NETO, R.A.F.; 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

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 J. Agric. Res.** 14, 241–251.

PEREIRA FILHO, A.; TEIXEIRA FILHO, J.; GIONGO, V.; SIMÕES, W. L.; LAL, R. Nutrients dynamics in soil solution at the outset of no-till implementation with the use of plant cocktails in Brazilian semi-arid. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 4, p. 234–246, 2016.

SANTANA, M.D.S.; SAMPAIO, E.V.D.S.B.; GIONGO, V.; MENEZES, R.S.C.; JESUS, K.N.D.; ALBUQUERQUE, E.R.G.M.D.; NASCIMENTO, D.M.D.; PAREYN, F.G.C.; CUNHA, T.J.F.; SAMPAIO, R.M.B.; PRIMO, D.C. (2019) Carbon and nitrogen stocks of soils under different land uses in Pernambuco state, Brazil. **Geoderma Reg**, 15: e00205

SANTOS, T. L.; NUNES, A. B. A.; GIONGO, V.; BARROS, V. S.; FIGUEIRÊDO, M. C. B. Cleaner fruit production with green manure: The case of Brazilian melons. **Journal of Cleaner Production**, v. 181, p. 260–270, 2018.

SILVA, D. D. E.; FELIZMINO, F. T. A.; OLIVEIRA, M. G. Avaliação da degradação ambiental a partir da prática da cultura do feijão no município de Tavares-PB. **Revista HOLOS**, v. 8, n. 0, p. 148–165, 2015

SILVA M.P.; ARF O.; SÁ M.E.; ABRANTES F.L.; BERTI C.L.F.; SOUZA L.C.D. (2017) Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. **Agraria**, 12: 60-67

SONG-JUAN G.; JU-SHENG G.; WEI-DONG C.; CHUN-QIN Z.; JING H.; JIN-SHUN B.; FU-GEN D. (2018) Effects of long-term green manure application on the content and structure of dissolved organic matter in red paddy soil. **J. Integr Agric** 17: 1852-1860

SCHRÖDER J.J.; SCHULTE P.O.R.; CREAMER R.E.; DELGADO A.; VAN LEEUWEN J.; LEHTINEN T.; RUTGERS M.; SPIEGEL H.; STAES J.; TÓTH G.; WALL D.P (2016) The elusive role of soil quality in nutrient cycling: a review. **Soil use and management**, 32 (4): 476 – 486

SMITH, P., COTRUFO, M.F., RUMPEL, C., PAUSTIAN, K., KUIKMAN, P.J., ELLIOTT, J.A., McDOWELL, R., GRIFFITHS, R.I., ASAKAWA, S., BUSTAMANTE, M., HOUSE, J.I., SOBOCKÁ, J., HARPER, R., PAN, G., WEST, P.C., GERBER, J.S., CLARK, J.M., ADHYA, T., SCHOLES, R.J., SCHOLES, M.C. (2015) Biogeochemical cycles and biodiversity as key drivers of ecosystem services provided by soils. **SOIL** 1, 665–685.

VALARINI, P. J.; OLIVEIRA, F. R. A.; Schilickmann, S. F.; POPPI, R. J. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 485–491, 2011.

VALBRUN, W.; ANDRADE, E.M.; ALMEIDA, A.M.M.; ALMEIDA, E.L. (2018) Carbon and nitrogen stock under different types of land use in a seasonally dry tropical forest. **J. Agric. Sci.** 10, 479

VAZQUEZ, P.; VIGNOLLES, M. Establecimiento agroproductivo ecologico vs. agricultura convencional: Partido de Tandil, Provincia de Buenos Aires. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 27, n. 2, 2015.

### 3. ARTIGO 1: Plantas de cobertura em ambiente semiárido: estratégia tecnológica para o aumento da produção de biomassa, adição de carbono e ciclagem de nutrientes

Maria Raphaela Severo Rafael<sup>1</sup>, Priscila Gomes Silva<sup>2</sup>, Augusto Miguel Nascimento Lima<sup>3</sup>, Jailson Cavalcante Cunha<sup>4</sup>, Vanderlise Giongo<sup>5</sup>, Alessandra Monteiro Salviano<sup>6</sup>

#### 3.1. 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). Quantificou-se a fitomassa fresca (FF) em uma área de 1 m<sup>2</sup> após o florescimento das espécies, em seguida, passou por secagem em estufa a 65 °C até atingir massa constante, e, assim obter a fitomassa seca (FS), em que foram avaliados os teores de C e macronutrientes. O cultivo de leguminosas e gramíneas como adubos verdes na entrelinha de mangueira irrigada mostrou-se eficiente em aumentar a fitomassa seca e acumular nutrientes nos resíduos em comparação à vegetação espontânea. O coquetel vegetal com três leguminosas (Guandu + Milheto + Crotalária + Feijão-de-porco) acumulou mais N. Já o cultivo solteiro ou consorciado de milheto foi uma estratégia eficiente para aumentar os estoques de C no solo, por outro lado o cultivo de guandu solteiro não se mostrou uma alternativa viável de adubo verde para a área de mangueira irrigada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Leguminosas, gramíneas, adubação verde.



## Cover crops in semi-arid environment: technological strategies to increase dry biomass production, add carbon, and nutrients cycling

### 3.2. 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 m<sup>2</sup> 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 an viable green manure alternative to the irrigated hose area.

**KEYWORDS:** Legumes, grasses, green manure

### 3.3. 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) e Pereira Filho et al. (2019) alcançaram produções de biomassa de 4,0 a 9,0 Mg ha<sup>-1</sup> 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.

### 3.4. 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<sup>h</sup>, 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 Distrocoeso 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 <sup>1</sup>	P <sup>2/</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	CTC <sup>2/</sup>	V <sup>2/</sup>
1:2,5	g kg <sup>-1</sup>	—mg dm <sup>-3</sup> —				cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		(%)
7,51	5,1	196,12	182,91	1,94	0,80	0,043	3,25	100
CE <sup>3/</sup>	Dp <sup>2/</sup>	Ds <sup>2/</sup>	Pt <sup>2/</sup>	AG <sup>2/</sup>	AF <sup>2/</sup>	Silte <sup>2/</sup>	Argila <sup>2/</sup>	
dS m <sup>-1</sup>	—kg dm <sup>-3</sup> —		%			g kg <sup>-1</sup>		
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. <sup>1/</sup>Yeomans e Bremner (1988). <sup>2/</sup>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 m<sup>2</sup>, totalizando 2240 m<sup>2</sup> 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>)

Tratamentos	Guandu	Milheto	Sorgo	Crotalária	Milho	FP
kg ha <sup>-1</sup>						
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 m<sup>2</sup> 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<sup>1/</sup>

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

<sup>1/</sup>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.

### 3.5 RESULTADOS

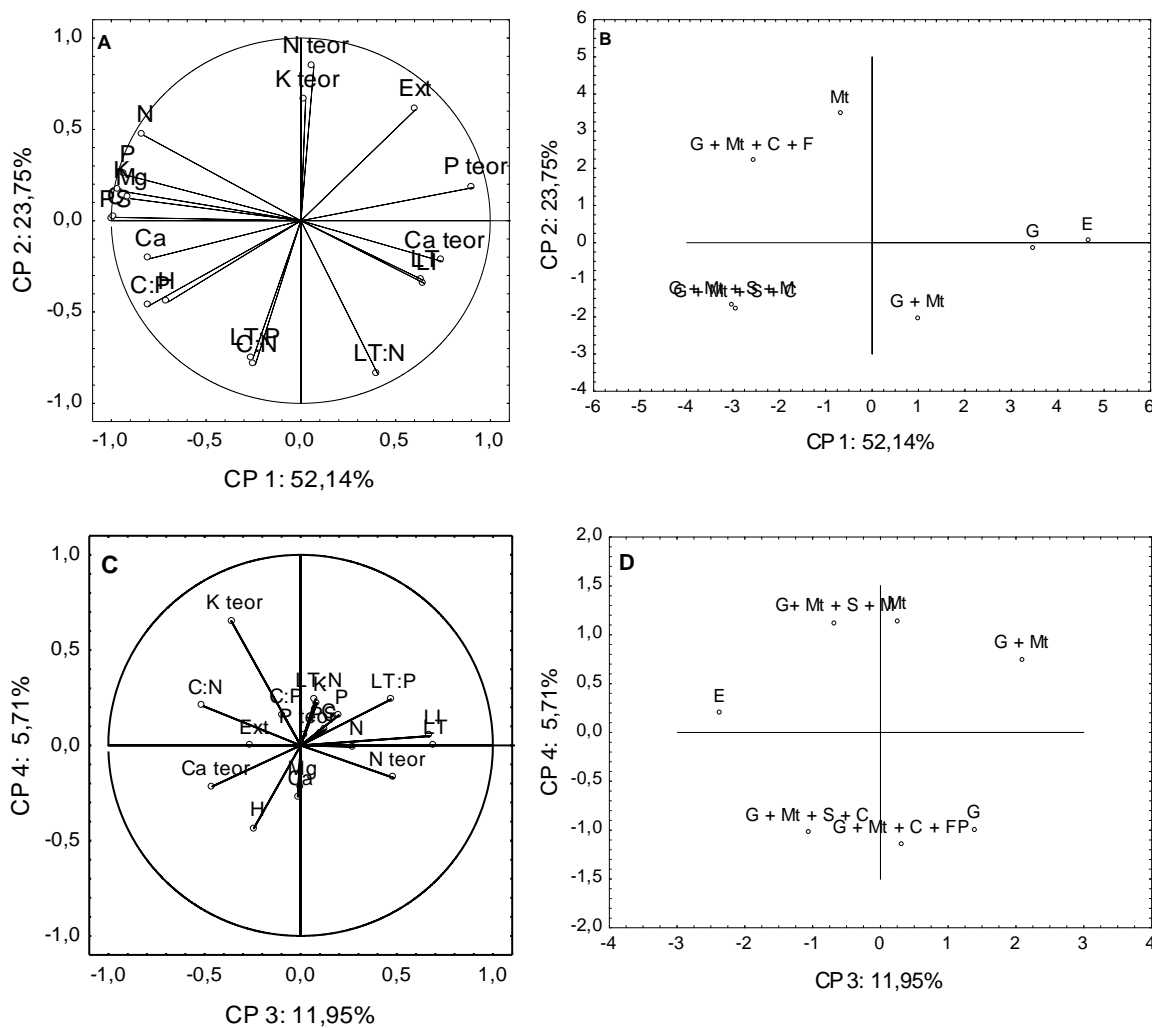
As componentes principais 1 (CP1) e 2 (CP2) explicam 75,89% da variância dos dados (Figura 1A), que somadas com as CP3 (11,95%) e CP4 (5,71%) (Figura 1C) também significativas, explicam 93,55% da variância total. Às variáveis de maior peso (>0,80) dentro da CP1, que explicou 52,14% da variância, foram 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 deve 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-deporco; 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 ( $34,55 \text{ t ha}^{-1}$ ) chega a ser aproximadamente 2,5 vezes maior que a produção de guandu ( $13,70 \text{ t ha}^{-1}$ ).

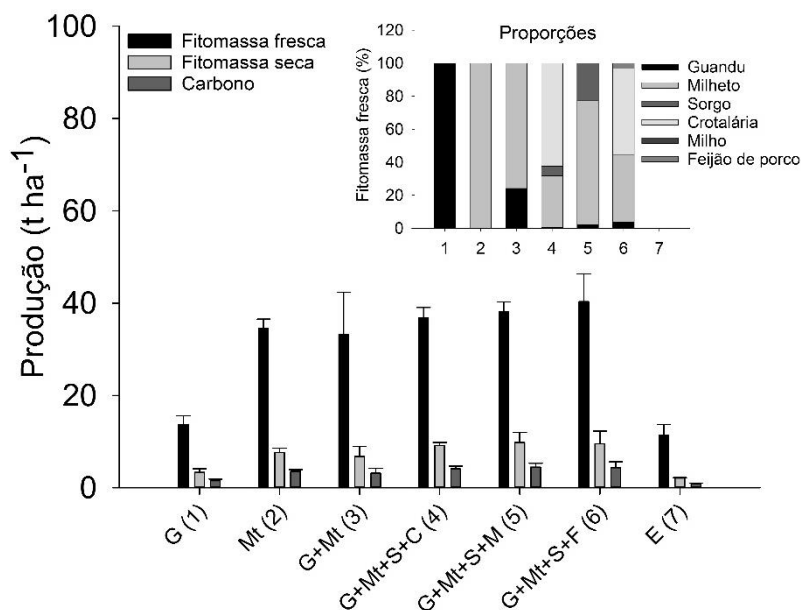
De acordo com o contraste C3, o cultivo solteiro de guandu ou milho versus o consorciado desses dois adubos verdes, apresentaram resultados semelhantes para a maioria das variáveis avaliadas (Figura 2 e 3); apenas a produção de FF e FS, e os teores de N e extrativos, relação LT:N foram significativamente 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.



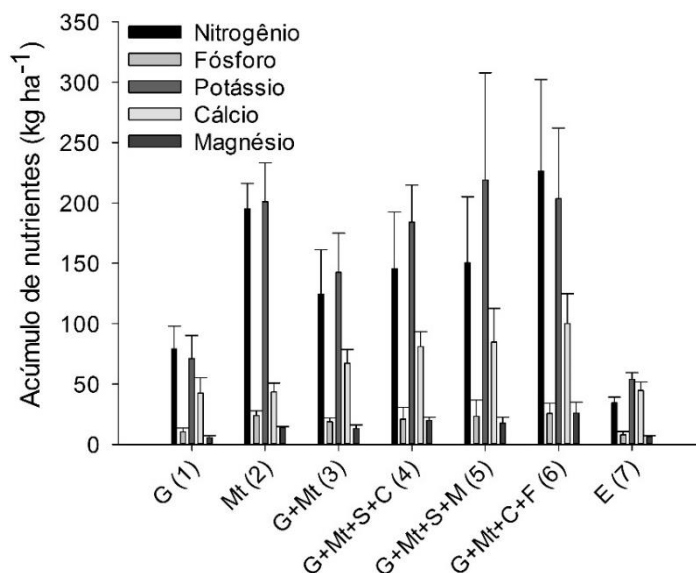
**Tabela 4.** Estimativas dos contrastes<sup>1/</sup> ortogonais da Fitomassa Fresca (FF), Fitomassa Seca (FS), teor e acúmulo de C e macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg), e teores de Extrativos, Holocelulose, lignina solúvel, insolúvel e total, e relações C:P, C:N, LTotal:N, LTotal:P, dos diferentes adubos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

Variáveis	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Fitomassa fresca	-128,68*	20,85*	18,29*	-2,12 <sup>ns</sup>	-10,37 <sup>ns</sup>	-93,76*
Fitomassa seca	-33,81*	4,32*	2,51*	0,27 <sup>ns</sup>	-4,66 <sup>ns</sup>	-21,93*
Teor (g kg <sup>-1</sup> )						
Carbono	-128,10 <sup>ns</sup>	8,96 <sup>ns</sup>	7,68 <sup>ns</sup>	-1,81 <sup>ns</sup>	17,20 <sup>ns</sup>	-18,66 <sup>ns</sup>
Nitrogênio	-23,14 <sup>ns</sup>	1,41 <sup>ns</sup>	-12,30*	-8,47*	28,66*	23,03*
Fósforo	6,68 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	-0,44 <sup>ns</sup>	-0,39 <sup>ns</sup>	2,55 <sup>ns</sup>	2,30 <sup>ns</sup>
Potássio	23,60*	4,85*	-4,38 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	19,35*	-0,05 <sup>ns</sup>
Cálcio	72,43*	-6,97*	2,29 <sup>ns</sup>	-2,00 <sup>ns</sup>	-16,05*	11,83*
Magnésio	6,55*	0,12 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	-0,89*	-1,46 <sup>ns</sup>	-1,96*
Acúmulo (kg ha <sup>-1</sup> )						
Carbono (t ha <sup>-1</sup> )	-15,68*	2,03*	1,21 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	-1,84 <sup>ns</sup>	-9,98*
Nitrogênio	-715,33*	116,23*	-25,85 <sup>ns</sup>	-76,17*	134,29 <sup>ns</sup>	-330,61*
Fósforo	-74,90*	13,33*	3,21 <sup>ns</sup>	-2,39 <sup>ns</sup>	6,71 <sup>ns</sup>	-46,60 <sup>ns</sup>
Potássio	-698,85*	129,98*	12,79 <sup>ns</sup>	15,53 <sup>ns</sup>	55,15 <sup>ns</sup>	-464,77*
Cálcio	-150,74*	1,05 <sup>ns</sup>	48,53 <sup>ns</sup>	-15,14 <sup>ns</sup>	-158,97*	-163,18*
Magnésio	-57,11 <sup>ns</sup>	8,08*	7,10 <sup>ns</sup>	-8,33*	-21,68 <sup>ns</sup>	-54,01*
Componentes químicos estruturais (%)						
Extrativos	58,45*	-1,59 <sup>ns</sup>	-21,30*	-4,51 <sup>ns</sup>	27,80 <sup>ns</sup>	34,16*
Holocelulose	-52,24 <sup>ns</sup>	-4,85 <sup>ns</sup>	-1,37 <sup>ns</sup>	4,08 <sup>ns</sup>	-45,74 <sup>ns</sup>	-26,32 <sup>ns</sup>
Lignina solúvel	-1,86 <sup>ns</sup>	-1,18 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	-0,73 <sup>ns</sup>	-1,31 <sup>ns</sup>	3,42 <sup>ns</sup>
Lignina insolúvel	-1,29 <sup>ns</sup>	-8,59 <sup>ns</sup>	11,90 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	-7,90 <sup>ns</sup>	26,46 <sup>ns</sup>
Lignina total	-3,15 <sup>ns</sup>	-9,77 <sup>ns</sup>	12,32 <sup>ns</sup>	-0,29 <sup>ns</sup>	-9,20 <sup>ns</sup>	29,88 <sup>ns</sup>
Relações						
C:P	-374,11 <sup>ns</sup>	7,92 <sup>ns</sup>	34,95 <sup>ns</sup>	86,55 <sup>ns</sup>	-198,32 <sup>ns</sup>	-229,99 <sup>ns</sup>
C:N	19,72 <sup>ns</sup>	-0,71 <sup>ns</sup>	14,04 <sup>ns</sup>	11,35*	-33,25*	-30,40 <sup>ns</sup>
LT:N	1,57 <sup>ns</sup>	-0,45 <sup>ns</sup>	1,43*	0,50 <sup>ns</sup>	-2,00*	-0,18 <sup>ns</sup>
LT:P	-17,21 <sup>ns</sup>	-2,83 <sup>ns</sup>	6,95 <sup>ns</sup>	4,27 <sup>ns</sup>	-13,17 <sup>ns</sup>	-1,86 <sup>ns</sup>

<sup>1/</sup>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. <sup>ns</sup> 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+C+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
<b>Nitrogênio</b>							
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
<b>Fósforo</b>							
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
<b>Potássio</b>							
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
<b>Cálcio</b>							
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
<b>Magnésio</b>							
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+FP (Guandu+Milheto+Crotalária+Feijão-deporco); E (Vegetação espontânea).

O milho 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 milho 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 milho 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 + Crotalára 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 ( $0,91 \text{ t ha}^{-1}$ ).

### 3.6. DISCUSSÃO

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  $0,91 \text{ t ha}^{-1}$  de C, podendo adicionar  $41.078 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de C ao solo. Isso corresponde a  $150.619 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  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<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> 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, milho, 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.

### **3.7. 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 milho 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.

### 3.8. REFERÊNCIAS

- AMBROSANO EJ, TRIVELIN PCO, CANTARELLA H, AMBROSANO GMB, SCHAMMASS EA, MURAOKA T, ROSSI F (2011) 15N-labeled nitrogen from green manure and ammonium sulfate utilization by the sugarcane ratoon. **Sci Agric**, 68: 361–368
- ARCOVERDE SNS, SALVIANO AM, OLSZEWSKI N, MELO SB, CUNHA TJF, GIONGO V, PEREIRA JS (2015) Qualidade física de solos em uso agrícola na região semiárida do estado da Bahia. **Rev Bras Cienc Solo**, 39 (5): 1473-1482
- BRANDÃO SS, SALVIANO AM, 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 LFC. **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 CAC, 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 CTA, MATIAZZO EB, PACHECO FP, NÓBREGA LHP (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 OS, FERRAUDO AS, CENTURION JF (2008) Análise multivariada na compactação de um latossolo vermelho cultivado com milho. **Rev Bras Cienc Solo**, 32 (3): 953-961

GAMA-RODRIGUES AC, GAMA-RODRIGUES EF, BRITO EC (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 MJ, 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 JF, BLACK WC, BABIN BJ, ANDERSON RE, TATHAM RL (2009) **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, p.688

JAVAID MM, 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 MA, MURAOKA T, CARMO CAF, MELO WJ (2009) **Análise química de tecido vegetal**. In: Silva et al. (ed) Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes, 2ª ed. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, pp 191-233

FERREIRA NETO RA, FREITAS ADS, GIONGO V, CAMARGO PB, MENEZES RSC, SAMPAIO EVSB (2017) Nitrogen fixation of poaceae and leguminoseae in a green manure experiment in the Brazilian semiarid region. **Aust J Crop Sci**, 11:1474–1480

PARIZ CM, SANTOS RHS, GUERRA JGM, GUSMÃO LA (2011) Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop livestock system. **Rev Bras Ciênc Solo**, 35: 2029-2037

PARTELLI FL, VIEIRA HD, FERREIRA EP DE B, VIANA AP, ESPINDOLA JAA, URQUIAGA S, BODDEY RM (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, AM, YURI JE, 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 RHS, URQUIAGA S, GUERRA JGM, CECON PR (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 IAFM, JUNIOR L, ANDRADE M DE, GALDINO AC, FRACETTO FJC, FRACETTO GGM (2017) New rhizobial strains for velvet bean (*Stizolobium aterrimum*) evaluated under greenhouse and field conditions. **Cienc Agrotec**, 41: 428–438

SASTRE B, MARQUES MJ, 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 EC, MURAOKA T, VILLANUEVA FCA, ESPINAL FSC (2009) Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. **Pesq Agrop Bras**, 44: 118-127

SILVA KA, RODRIGUES MS, CUNHA JC, ALVES DC, FREITAS HR, LIMA AMN (2017) Soil survey using geostatistics in an agricultural experimental area in Petrolina, Pernambuco state, Brazil. **Comun Sci**, 8:175–180

SOUSA FF, SANTOS RHS, CARNEIRO JES, 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 CF, PARK S, DUNN AR, RONG X, EVERTS KL, MEYER SLF, RUPPRECHT SM, KLEINHENZ MD, MCSPADDEN GARDENER B, SMART CD (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 MB, LOSS A, PEREIRA MG, 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, LI 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

#### **4. ARTIGO 2: Dinâmica de macronutrientes em adubos verdes cultivados nas entrelinhas de pomar de mangueira cv. Palmer no Semiárido**

Maria R. S. Rafael<sup>1</sup>; Augusto M. N. Lima<sup>2</sup>; Vanderlise Giongo<sup>3</sup>; Alessandra M. Salviano<sup>4</sup>; Priscila G. Silva<sup>5</sup>

##### **4.1 RESUMO**

Os adubos verdes são uma alternativa para fornecer e ciclar nutrientes em agroecossistemas. O objetivo do trabalho foi caracterizar a dinâmica de liberação de macronutrientes por diferentes adubos verdes, cultivados solteiros e em consórcio, nas entrelinhas de um pomar de mangueira cv. Palmer sob condições irrigadas no Semiárido brasileiro. O experimento foi conduzido em parcelas subdivididas, com três repetições, e parcelas representadas por sete combinações de plantas de cobertura: Guandu (*Cajanus cajan* L.); Milheto (*Pennisetum americanum* L.); Guandu + Milheto; Guandu + Milheto + Sorgo (*Sorghum bicolor* L.) + Crotalária (*Crotalaria juncea*); Milho (*Zea mays* L.) + Milheto + Sorgo + Guandu; Guandu + Crotalária + Milheto + Feijão de porco (*Canavalia ensiformes*); Vegetação espontânea (VE), e as subparcelas pelos tempos de coleta do material ( 7, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180 e 412) dias após a deposição do material no solo (DAD), adotando o método dos “litter bags”. Com exceção do P nos primeiros 30 DAD, metade dos nutrientes presentes em todos os resíduos vegetais foram liberados. O K apresentou a mais rápida mineralização e liberação, ao final do experimento praticamente todo K foi disponibilizado. Em geral o consórcio Guandu + Crotalária + Milheto + Feijão de porco respondeu melhor às variáveis analisadas. Com exceção da VE e guandu solteiro, os demais tratamentos são viáveis no acúmulo de nutrientes, com quantidades satisfatórias para atender a demanda da mangueira na fase de plantio e de formação.

**Palavras-chave** Adubação verde. Fertilidade do solo. *Mangifera indica* L. Mineralização. Manejo conservacionista.

## Dynamics of macronutrients in green manure grown between the lines of the mango orchard cv. Palmer in the Semiarid Region

### 4.2. ABSTRACT

Green manures are an alternative to supply and cycle nutrients in agroecosystems. The objective of the work was to evaluate the dynamics of macronutrient release [nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg)] in green manure grown in a multifunctional agroecosystem of a mango orchard cv. Palmer under irrigated conditions in the Brazilian Semiarid. The experiment was conducted out in subdivided plots, with three replications, plots represented by seven combinations of cover plants: Pigeon pea (*Cajanus cajan* L.); Millet (*Pennisetum americanum* L.); Guandu + Millet; Pigeon pea + Millet + Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) + *Crotalaria* (*Crotalaria juncea*); Corn (*Zea mays* L.) + Millet + Sorghum + Pigeon pea; Pigeon pea + *Crotalaria* + Millet + Pork beans (*Canavalia ensiformes*); Spontaneous vegetation (VE), and subplots by material collection times: 7, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180 and 412 days after deposition of the material in the soil (DAD), adopting the method of "Litter bags". With the exception of P in the first 30 DAD, half of the nutrients present in all plant residues were released. K showed the fastest mineralization and release, at the end of the experiment practically all K was made available. In general, the treatment Guandu + *Crotalaria* + Millet + Pork beans responded better to the variables analyzed. With the exception of VE and single pigeon pea, the other treatments are viable in the accumulation of nutrients, with satisfactory amounts to meet the demand of the hose in the planting and formation phase.

**Keywords:** Green manure. Soil fertility. *Mangifera indica* L.. Mineralization. Conservation management

### 4.3. INTRODUÇÃO

O Vale do São Francisco é um exemplo de polo frutícola na região Semiárida, em especial no cultivo da mangueira, o qual se destaca como o maior produtor mundial de manga irrigada (Barbosa et al., 2016). No entanto, existe uma necessidade de buscar técnicas de produção mais sustentáveis, tais como a utilização de espécies vegetais como adubos verdes, contribuindo para a manutenção da umidade do solo, bem como para a ciclagem de nutrientes.

Brandão et al. (2017a), Freitas et al. (2019) e Giongo et al. (2016) destacam a utilização de combinações de plantas de cobertura, independentemente da composição, associadas ao sistema de plantio direto, como sendo uma estratégia tecnológica que pode ser adotada para favorecer a ciclagem de nutrientes em agroecossistemas frutícolas no Semiárido brasileiro. Além disso, a adubação verde tem influências positivas na manutenção da qualidade dos atributos químicos, físicos (Silva et al., 2017a) e biológicos do solo, melhorando a fertilidade e sustentabilidade do sistema de produção (Song-juan et al., 2018).

O uso de espécies vegetais como adubo verde, além de beneficiar o sistema produtivo com aumento da ciclagem de nutrientes e manutenção da cobertura do solo, pode reduzir os custos de produção quanto ao uso de fertilizantes químicos (Pereira Filho et al., 2019) e, contribuir para preservação do meio produtivo (Pereira et al., 2017), uma vez que parte da necessidade nutricional da cultura pode ser fornecida através da decomposição da fitomassa e, conseqüente, liberação dos nutrientes alocados pelas plantas de cobertura.

Além das espécies conhecidas comercialmente para uso como adubos verdes, a exemplo, feijão de porco, crotalária, guandu, lab-lab, milho, milheto, sorgo, alguns trabalhos desenvolvidos também mostram o potencial da vegetação espontânea em adicionar carbono ao solo e ciclar nutrientes (Brandão et al., 2017a, b; Freitas et al., 2019; Giongo et al., 2016; Pereira Filho et al., 2019).

Na literatura existe uma predominância de trabalhos voltados para utilização de espécies gramíneas e leguminosas, sejam elas utilizadas de forma consorciada ou solteiras. Utilizar espécies leguminosas como adubos verdes é uma alternativa viável em cultivos agrícolas, devido a habilidade dessas plantas em incorporar quantidades significativas de nutrientes ao solo pela decomposição e liberação de nutrientes da

sua biomassa (Pereira et al., 2016; Talgre et al., 2017), principalmente o nitrogênio pela capacidade de fixação biológica (Coombs et al., 2017; Pereira et al., 2017).

Por outro lado, as gramíneas apresentam maior capacidade de produção de biomassa e relação C/N maior, fator que contribui para permanência do material vegetal por mais tempo sobre a superfície do solo. Logo, dependendo do que se deseja, disponibilidade rápida de nutrientes as plantas ou maior proteção do solo, é o ponto de partida para a escolha dos adubos verdes (Cardoso et al., 2014).

Apesar da composição química e bioquímica do material vegetal utilizado como adubo verde em algumas regiões ser considerada determinante na velocidade de decomposição e mineralização de nutrientes (Mendonça et al., 2018), na região Semiárida, as características climáticas têm demonstrado maior importância do que a qualidade do material e, conforme Sharma et al. (2017), a temperatura e disponibilidade de água são fundamentais nesse processo.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar a dinâmica de liberação de macronutrientes por diferentes adubos verdes, cultivados solteiros e em consórcio, nas entrelinhas de um pomar de mangueira cv. Palmer sob condições irrigadas no Semiárido brasileiro.

#### **4.4. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado no campo experimental da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Campus de Ciências Agrárias, localizado na Zona Rural de Petrolina – PE, coordenadas de 09° 11' 43,5" S e 41° 01' 59,2" W, 400,3 m de altitude, em um Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico, de textura arenosa (Silva et al., 2017b) cuja caracterização química e física, antes da implantação do experimento, pode ser observada na tabela 1.

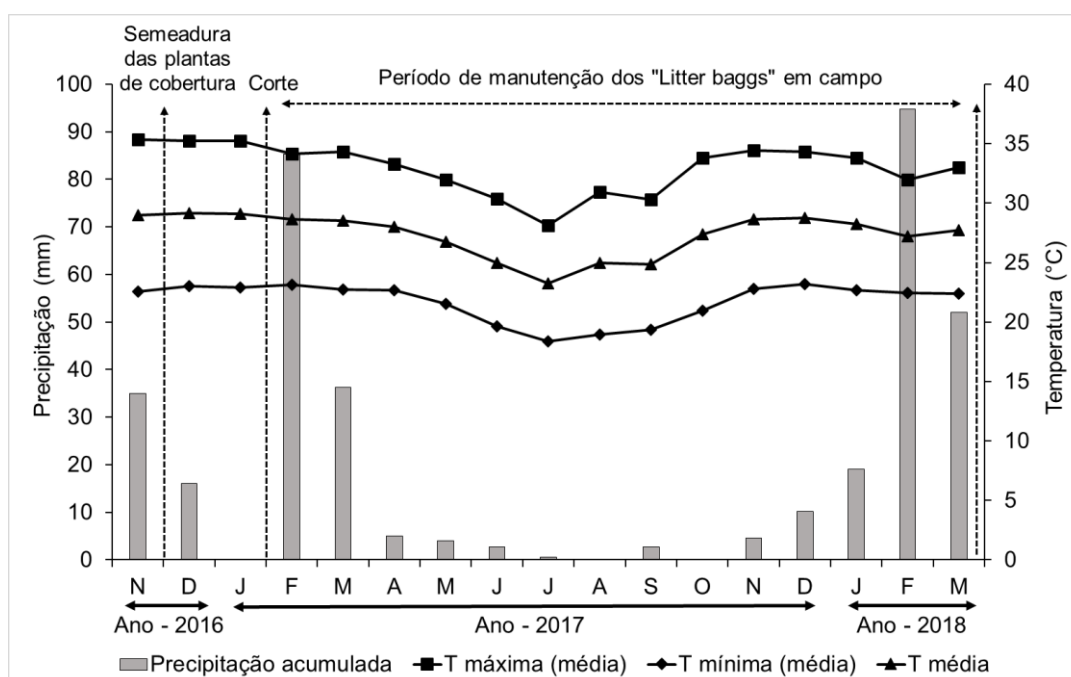
**Tabela 1.** Atributos químicos e físicos do solo antes da instalação do experimento, na profundidade de 0-0,2 m

pH	COT <sup>1/</sup>	P <sup>2/</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	CTC <sup>2/</sup>	V <sup>2/</sup>
1:2,5	g kg <sup>-1</sup>	— mg dm <sup>-3</sup> —				— cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> —		(%)
7,51	5,1	196,12	182,91	1,94	0,80	0,043	3,25	100
CE <sup>3/</sup>	Dp <sup>2/</sup>	Ds <sup>2/</sup>	Pt <sup>2/</sup>	AG <sup>2/</sup>	AF <sup>2/</sup>	Silte <sup>2/</sup>	Argila <sup>2/</sup>	
dS m <sup>-1</sup>	— kg dm <sup>-3</sup> —		%			g kg <sup>-1</sup>		
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 clima é do tipo BShw', semiárido, com precipitação anual inferior a 500 mm concentrando-se, o período chuvoso de três a quatro meses do ano, conforme a classificação proposta por Köppen-Geiger.

As variações de temperatura e precipitação acumulada no período de condução do experimento, novembro/2016 a março/2018, estão apresentadas na figura 1.



**Figura 1** Precipitação pluviométrica mensal acumulada (mm), temperaturas máxima (T máxima), mínima (T mínima) e média (T média) do ar em °C durante os meses de realização do experimento, de novembro de 2016 a março de 2018. Dados da estação meteorológica de Petrolina, PE. FONTE: <http://www.labmet.univasf.edu.br>

O experimento foi conduzido em parcelas subdivididas, com três repetições, sendo as parcelas representadas por diferentes composições de plantas de cobertura: Guandu (*Cajanus cajan* L.); Milheto (*Pennisetum americanum* L.); Guandu + Milheto

(1L + 1G); Guandu + Milheto + Sorgo (*Sorghum bicolor* L.) + Crotalária (*Crotalaria juncea*) (2L + 2G); Milho (*Zea mays* L.) + Milheto + Sorgo + Guandu (3G + 1L); Guandu + Crotalária + Milheto + Feijão de porco (*Canavalia ensiformes*) (3L + 1G) e a Vegetação espontânea (VE); e as subparcelas representadas pelos tempos de coleta das bolsas de decomposição (Litter bags): 7, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180 e 412 dias após a deposição do material no solo (DAD).

As principais espécies de vegetação espontânea encontradas na área foram: *Cenchrus ciliaris*, *Waltheria indica*, *Kallstroemia tribuloides*, *Herissantia crispera*, *Desmodium tortuosum*, *Diodella teres*, *Richardia scabra*, *Mollugo verticillata*, *Datura stramonium*, *Macroptilium martii*, *Merremia aegyptia* e *Boerhavia diffusa*.

Antes da semeadura das espécies utilizadas como cobertura, foi realizado o preparo do solo com aração e gradagem na profundidade de 0,20 m nas entrelinhas do pomar de mangueira irrigado. Em seguida foi instalado o sistema de irrigação por microaspersão na área a ser ocupada pela mangueira, e para suplementação da demanda hídrica dos coquetéis instalaram-se linhas de gotejamento.

A semeadura das plantas de cobertura foi realizada em linhas espaçadas por 0,60 m, totalizando 6 linhas de plantas de cobertura nas entrelinhas das mangueiras, sendo cada parcela representada por 20 m<sup>2</sup>. Para garantir a uniformidade de germinação a princípio foram semeadas, as sementes maiores na profundidade de 0,04 m, e em seguida, as menores a 0,02 m (Tabela 2).

Aos 75 dias após a semeadura, quando, pelo menos, 70% das plantas estavam em pleno florescimento, os adubos verdes foram cortados e depositados nas linhas de plantio das mangueiras. O material vegetal foi cortado em pedaços, com cerca de 2 cm, e secas ao ar para enchimento das bolsas litter bags e, subamostras desse material foram coletadas para caracterização química, determinando-se os teores de macronutrientes (N, P, Ca, Mg e K), conforme metodologia descrita em (Miyazawa et al., 2009). O teor de N foi determinado por combustão seca em analisador elementar-LECO, modelo TRUSPEC CN. O teor de P foi determinado por espectrofotometria com injeção em fluxo (FIA) após calcinação em mufla elétrica a 550 °C; os teores de K, Ca e Mg foram determinados após digestão úmida em solução ácida nítrico-perclórica (3:1), sendo determinados por fotometria de chama (K), e por espectrofotometria de absorção atômica (Ca e Mg). Foram quantificados também os percentuais de extrativos solúveis em acetona (Ext), lignina solúvel (LS), lignina insolúvel (LI), lignina total (LT) e holocelulose (Hol) (Zanuncio e Colodette, 2011).



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<sup>-1</sup> de esterco bovino curtido.

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<sup>-1</sup> de mangueira durante o período experimental.

A dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes seguiram a técnica de bolsas "litter bags", confeccionados em tela de náilon, malha com abertura de 2 mm, nas dimensões de 0,3 m x 0,3 m. As bolsas foram preenchidas com 50 g de fitomassa seca da parte aérea das plantas.

**Tabela 2.** Quantidade de sementes das espécies de adubos verdes utilizadas na composição dos tratamentos em quilogramas por hectare (kg ha<sup>-1</sup>)

Tratamentos	Guandu	Milheto	Sorgo	Crotalária	Milho	FP
kg ha <sup>-1</sup>						
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

Em cada tratamento foram distribuídos 30 litter bags aleatoriamente (um para cada tempo de avaliação, com exceção do tempo zero, e três repetições), ao longo das linhas de cultivo da mangueira. Foram realizadas dez coletas do material em decomposição.

Em cada tempo de coleta, os litter bags foram limpos manualmente para retirada da sujeira mais grossa, passados em peneira e lavados com pequenas quantidades de água destilada para retirada de partículas de solo mais aderidas. Em seguida, a fitomassa remanescente nos litter bags (MSR), foi submetida à secagem em estufa de circulação forçada a 65 °C até peso constante. Nesses materiais, uma fração de 1 g, previamente moída, passou por incineração em mufla a 550 °C durante 4 horas para determinação de cinzas. Em seguida, a MSR foi corrigida por meio do teor de

cinzas expressando-se a matéria seca livre da contaminação com solo (Christensen, 1985).

Na MSR, de cada tempo de coleta, determinaram-se novamente os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg).

A partir desses dados e da MSR, foram calculadas as quantidades remanescentes de cada nutriente (PRN), sendo os valores expressos em percentagem do valor inicial.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando apresentou resultados significativos, os graus de liberdade relativos ao tempo foram desdobrados em análise de regressão não-linear e os modelos testados ( $p < 0,05$ ), para os percentuais remanescentes de cada nutriente.

As médias dos dados de caracterização química do material vegetal foram comparadas pelo teste Scott-Knott à 5% de probabilidade. Utilizando-se o programa estatístico R.

As taxas de decomposição e liberação de nutrientes foram estimadas ajustando-se modelos de regressões não lineares aos valores observados, conforme Olson (1963; Equação 1) e Wieder e Lang (1982; Equação 2 e 3).

$$\text{MSR ou PRN} = X_0 e^{-kt} \quad (\text{Equação 1})$$

$$\text{PRN} = A e^{-k_a t} + (100 - A) \quad (\text{Equação 2})$$

$$\text{PRN} = A e^{-k_a t} + (100 - A) e^{-k_b t} \quad (\text{Equação 3})$$

em que, MSR ou PRN é a percentagem de fitomassa seca remanescente ou percentagem de nutrientes remanescentes na fitomassa;  $X_0$  = matéria seca ou conteúdo de nutriente inicial;  $k$ ,  $k_a$  e  $k_b$  = constantes de decomposição ou de liberação dos nutrientes;  $A$  = parâmetro do compartimento mais facilmente decomponível;  $(100 - A)$  = parâmetro do compartimento mais recalcitrante;  $t$  = tempo em dias.

A escolha do modelo foi baseada no melhor ajuste da equação aos valores, no menor valor da soma dos quadrados do erro, na significância dos parâmetros da equação ( $p > 0,05$ ) e no maior valor do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ).

Com base nos modelos calcularam-se os tempos de meia-vida ( $t_{1/2}$ ), o qual expressa o período de tempo necessário para metade da fitomassa se decompor ou para que metade dos nutrientes contidos nessa fitomassa sejam liberados. Para este cálculo foi utilizada a equação descrita em Rezende et al. (1999):

$$t_{1/2} = \ln(2) / k \quad (\text{Equação 4})$$

sendo,  $t_{1/2}$  o tempo de meia-vida, tempo necessário para decomposição do material ou liberação de nutrientes em 50%;  $\ln(2)$  um valor constante;  $k$  a constante de decomposição descrita anteriormente.

#### 4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização inicial dos resíduos foi avaliada mediante o acúmulo dos macronutrientes presentes em cada tratamento, bem como, aos percentuais de extrativos solúveis em acetona, lignina solúvel e insolúvel, e holocelulose (celulose + hemicelulose) (Tabela 3).

Considerando a adubação de plantio e formação (0-12 meses) para a cultura da mangueira no Semiárido brasileiro, recomendada por Cavalcanti (2008),  $N=75 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $K_2O=10 \text{ kg ha}^{-1}$ , sendo os dados acima calculados de acordo com os valores observados na análise de solo (Tabela 1). Conforme o acúmulo de nutrientes pelas plantas de cobertura (Tabela 3), com exceção da vegetação espontânea os demais tratamentos acumularam N suficiente para suprir a necessidade da mangueira na fase do período experimental. Enquanto o acúmulo de K em todos os tratamentos pode suprir a necessidade da mangueira em 100%, apresentando maior estoque de N para o cultivo de 3L+1G ( $226,53 \text{ kg ha}^{-1}$ ), e K ( $219,03 \text{ kg ha}^{-1}$ ) para o consórcio 3G+1L, que corresponde a  $263,84 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ .

Por outro lado, o guandu solteiro e VE, apresentam os menores acúmulos de P,  $10,46$  e  $7,97 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente, o que corresponde a  $23,95$  e  $18,25 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ , suprimindo  $59,88$  e  $45,63\%$  da demanda para a cultura da mangueira, os demais tratamentos podem suprir a necessidade da mangueira em 100%, visto que a fase da cultura (0-12 meses) requer  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  conforme recomendação de Cavalcanti (2008).

Mouco et al. (2015) avaliando o acúmulo de N, P, K e Ca em folhas de mangueira cultivar 'Kent' em quatro podas de formação, cultivada com coquetel vegetal composto por 25% de gramíneas + 75% de leguminosas e na presença de vegetação espontânea (VE), verificaram que as quantidades de nutrientes alocados pela mangueira, foram, em média,  $27$  e  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $2,5$  e  $2,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de P,  $28$  e  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de K, e  $33$  e  $25 \text{ kg ha}^{-1}$  de Ca, respectivamente. Fazendo-se uma relação da

quantidade de nutrientes acumulados pelas folhas na fase mencionada pelos autores, com o acúmulo dos mesmos nos tratamentos avaliados no presente trabalho (Tabela 3), pode-se inferir que a demanda da espécie pode ser atendida por qualquer um dos tratamentos avaliados, desde que exista uma sincronia entre a liberação dos nutrientes pelos adubos verdes e a demanda da cultura.

Conforme observado na Tabela 3, os tratamentos VE, guandu, milho e 3L + 1G, apresentaram as maiores concentrações de extrativos em sua composição, não diferindo estatisticamente entre si, com 30,27; 26,49; 24,90; 24,38%, respectivamente, sendo superiores aos demais tratamentos. Os extrativos são substâncias com baixa massa molecular, e não fazem parte da parede celular ou da lamela média dos vegetais (Jensen et al., 2005; Tekin et al., 2014), logo compõem a porção mais facilmente decomponível da biomassa, dessa forma quanto maior o percentual de extrativos mais rápida a decomposição.

Lignina e holocelulose por outro lado, são componentes fundamentais na formação da parede celular, por esse motivo lhes é atribuído a menor velocidade de decomposição (Jensen et al., 2005), portanto materiais com maiores percentuais desses compostos tendem a degradação mais lenta.

**Tabela 3** Estoques de macronutrientes, percentuais de extrativos solúveis em acetona (Ext), lignina solúvel (LS), lignina insolúvel (LI), lignina total (LT) e Holocelulose (H), e relações carbono nitrogênio (C:N), carbono fósforo (C:P), lignina total nitrogênio (LT:N) e lignina total fósforo (LT:P) das plantas de cobertura (PC) utilizadas como adubo verde em todos os tratamentos avaliados

PC	N	P	K	Ca	Mg	Ext	LS	LI	LT	H	C:N	C:P	LT:N	LT:P
	Acúmulo (kg ha <sup>-1</sup> )					%								
Guandu	79,03c	10,46b	71,09b	42,40b	5,56c	26,49a	4,49a	26,09a	30,58a	54,82a	20,08b	146,82a	1,27a	9,70a
Milho	195,26a	23,79a	201,07a	43,46b	13,64b	24,90a	3,31a	17,50b	20,81b	49,97a	19,16b	154,74a	0,81a	6,88a
1L+1G	124,22b	18,73a	142,48a	67,19a	13,14b	15,04b	4,11a	27,75a	31,86a	59,67a	25,26a	168,25a	1,76a	11,77a
2L+2G	145,64b	20,90a	184,13a	80,94a	19,78b	12,50b	3,46a	16,08b	19,54b	72,22a	30,60a	215,28a	1,23a	8,99a
3G+1L	150,36b	23,21a	219,03a	84,76a	17,49b	13,36b	3,12a	17,25b	20,38b	62,87a	28,63a	260,14a	1,39a	12,09a
3L+1G	226,53a	25,60a	203,50a	99,90a	25,82a	24,38a	3,85a	16,82b	20,68b	58,79a	18,74b	173,59a	0,88a	7,82a
VE	34,28c	7,97b	53,74b	44,65b	6,39c	30,27a	3,41a	20,03b	23,45b	56,74a	25,86a	124,12a	1,48a	6,68a

\*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Scott-Knott à 5% de probabilidade. 1L + 1G (Guandu + Milho); 2L + 2G (Guandu + Milho + Sorgo + Crotalaria); 3G + 1L Guandu + Milho + Sorgo + Milho; 3L + 1G (Guandu + Milho + Crotalaria + Feijão de porco) e VE (Vegetação espontânea)

A taxa de liberação dos nutrientes remanescentes foi melhor explicada pelo modelo de decaimento exponencial proposto por Wieder e Lang (1982) (Equação 2).

Em todos os tratamentos avaliados foi possível observar uma fase de liberação mais rápida dos nutrientes nos primeiros dias, seguida de uma fase mais lenta (Figuras 2a a 6b). Esse comportamento também foi encontrado por Freitas et al. (2019) e Pereira Filho et al. (2019) em experimento com decomposição de misturas de plantas de cobertura nas condições Semiáridas.

A mineralização e liberação de nutrientes mais rápida no início do processo de decomposição de resíduos está relacionada aos compostos mais lábeis do material inicial. Ao longo do tempo a presença de compostos mais lábeis torna-se menor, dando espaço para a maior concentração de componentes mais recalcitrantes, os quais diminuem a velocidade de mineralização dos resíduos (Moreira e Siqueira, 2006).

Para o N os  $t_{1/2}$  seguiram a sequência Milheto =  $3L+1G > 1L+1G = 3G+1L > 2L+2G > VE > Guandu$  (Figura 2a e 2b). Por se tratar de uma espécie leguminosa a velocidade de decomposição do guandu deveria ser maior (menor  $t_{1/2}$ ) do que as espécies gramíneas, por exemplo, no entanto no presente trabalho ocorreu efeito contrário. Isso pode ser explicado pelas maiores relações LT:P e LT:N, além da relação C:N ser bem próxima ao Milheto (Tabela 3), uma vez que o Guandu é uma espécie arbustiva a qual possui caule lignificado, fator que diminui a velocidade de decomposição do material.

Relações L:P e C:N semelhantes foram alcançadas por Freitas et al. (2019) trabalhando com proporções de 75%Leguminosas+25% não leguminosas, 75% não leguminosas+25% leguminosas e vegetação espontânea em ambiente Semiárido.

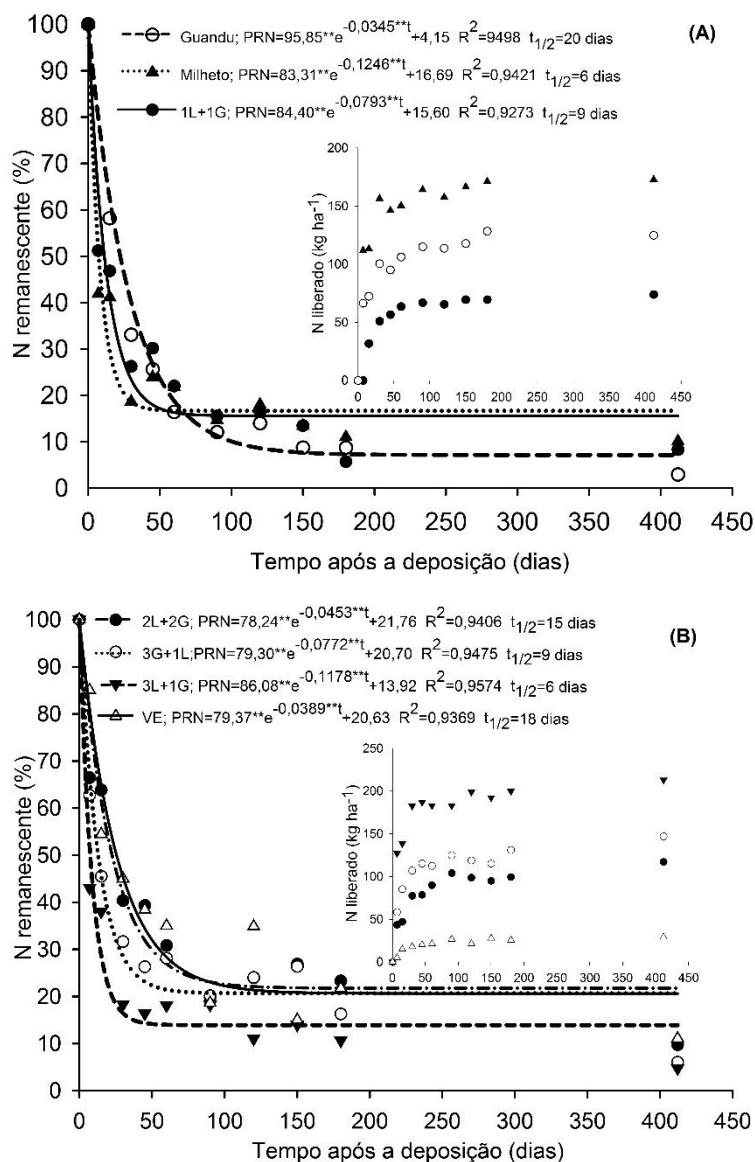
Sharma et al. (2017) afirmam, geralmente o tempo de decomposição de adubos verdes pode variar significativamente, dependendo do manejo utilizado nos resíduos, da temperatura e da disponibilidade de água, de modo que a decomposição e liberação de N principalmente em espécies leguminosas, pode ocorrer de 2 a 6 semanas em ambientes tropicais.

Todos os tratamentos apresentaram inicialmente uma relação C:N menor que 30, segundo Kaleem Abbasi et al. (2015) relações C:N maiores que 30 favorecem uma maior imobilização desse nutriente por parte dos microrganismos, logo a baixa relação C:N pode ter ocasionado a elevada mineralização do N, contribuindo para a rápida liberação do mesmo.

Além disso, a composição dos resíduos em termos de quantidade e qualidade do material está diretamente relacionada com a maior ou menor taxa de

decomposição. Masunga et al. (2016) ressaltam, a dinâmica do N é complexa e depende de vários fatores, incluindo temperatura, tempo, conteúdo de umidade e comunidade microbiana.

O N é um dos elementos mais propícios a perdas, seja por lixiviação na forma de nitrato e amônio (Lisboa et al., 2019), volatilização, nitrificação, desnitrificação e/ou imobilização microbiana, devido à alta instabilidade do elemento.



**Figura 2** Dinâmica de nitrogênio (A e B) remanescente da fitomassa da parte aérea e quantidade liberada em  $\text{kg ha}^{-1}$  de N (gráfico em plano de fundo), após deposição do material vegetal em campo, representados pelos diferentes tratamentos avaliados. 1L + 1G (Guandu + Milheto); 2L + 2G (Guandu + Milheto + Sorgo + Crotalária); 3G + 1L (Guandu + Milheto + Sorgo + Milho); 3L + 1G (Guandu + Milheto + Crotalária + Feijão de porco) e VE (Vegetação espontânea)

A proporção 3L+1G foi responsável por acumular 226,53 kg ha<sup>-1</sup> de N maior entre os tratamentos avaliados, no entanto sua rápida mineralização pode ser explicada pela baixa relação C:N e maior percentual de extrativos (Tabela 3) desse material. Incluir milho aqui, comportamento semelhante apesar de acúmulo menor de N. Vale destacar que o Milho apresentou resultados semelhantes ao consórcio 3L+1G, fator de importância para o cultivo de espécies como adubos verdes, visto a economia na aquisição de sementes, por exemplo, já que o milho apresenta bons resultados cultivado solteiro.

Dos nutrientes avaliados o K apresentou as maiores taxas de liberação, e consequentemente os menores tempos de meia vida, com sequência de liberação: 2L + 2G > VE > Guandu > 1L + 1G = 3G + 1L > Milho > 3L + 1G (Figura 3a e 3b).

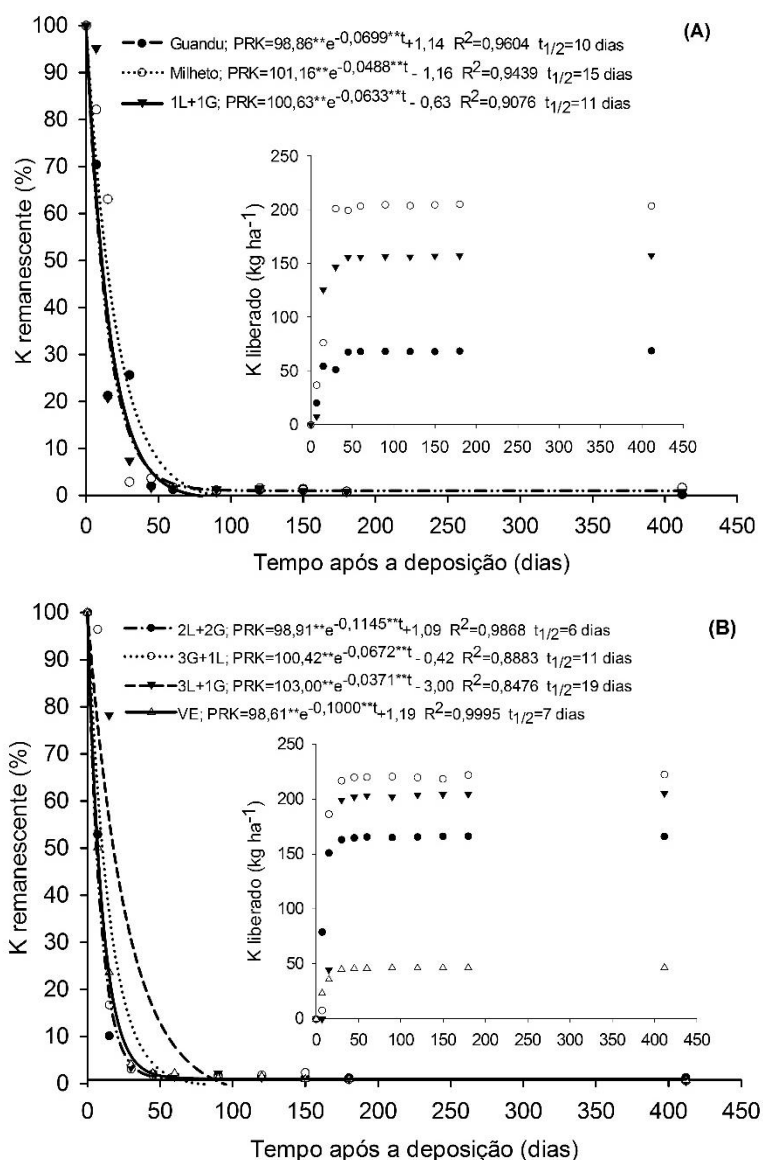
A rápida liberação do K pode ser explicada pelo fato do elemento não se encontrar associado a componentes estruturais do tecido vegetal, além de apresentar-se na forma iônica, facilitando sua liberação após o rompimento da membrana plasmática (Gómez-Muñoz et al., 2014), sendo a lixiviação um dos principais mecanismos que elevam a liberação de K (Freitas et al., 2019), dessa forma pode acontecer do elemento ser lixiviado e não mineralizado e disponibilizado para as plantas.

Vale destacar que o material vegetal proveniente do corte da fitomassa dos adubos verdes, cultivados nas entrelinhas do pomar, foram depositados na linha de cultivo da mangueira e tiveram influência direta da irrigação realizada na área, por microaspersão. Além disso, os adubos verdes foram cortados na época de pleno florescimento, por considerar-se a fase de maior acúmulo de nutrientes. Todavia, nessa fase, em geral, não houve ainda lignificação dos tecidos, apresentando, em geral, material de baixa relação C:N (Tabela 3), conforme já discutido.

Dos elementos avaliados, todo o K acumulado na fitomassa aérea dos adubos verdes testados foi liberado dentro do período experimental, o que corrobora a discussão sobre o efeito da incidência direta da água de irrigação na lixiviação do K e na aceleração do processo de decomposição e liberação de nutrientes.

Em trabalhos com decomposição de resíduos de espécies vegetais muitos autores confirmam a rápida liberação de K nos resíduos avaliados (Freitas et al., 2019; Maluf et al., 2015; Pereira et al., 2016; Xavier et al., 2017), fator que corrobora com o alcançado no presente trabalho. Freitas et al. (2019) alcançaram  $t_{1/2}$  semelhantes ao presente trabalho, quando utilizou o manejo de revolvimento do solo para as

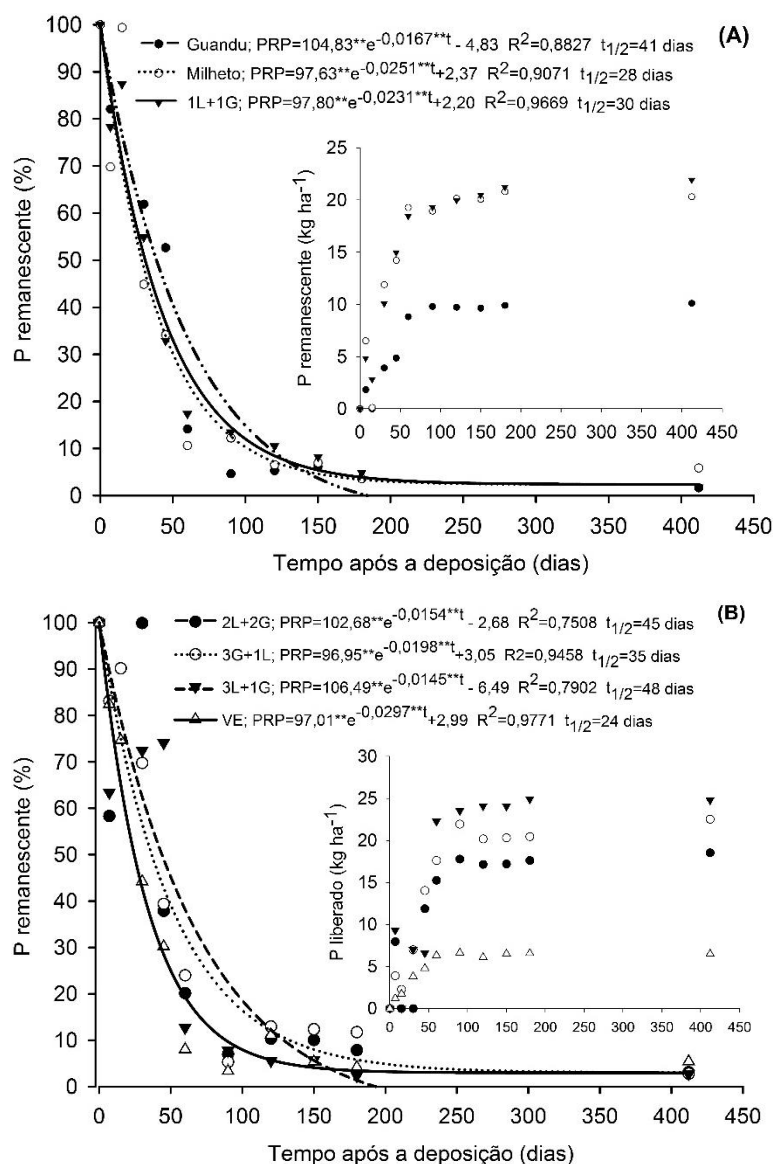
proporções 75% leguminosas+25% não leguminosas, 75% não leguminosas+25% leguminosas e vegetação espontânea (7, 8 e 41 dias), respectivamente, por outro lado, o não revolvimento promoveu tempos de meia vida para o material maiores (>100 dias). Portanto, as condições ambientais do presente trabalho tiveram influencia na decomposição, principalmente a incidência direta da água de irrigação sobre os resíduos, causando efeito semelhante ao revolvimento do solo.



**Figura 3.** Liberação (gráfico em plano de fundo) e quantidade em  $\text{kg ha}^{-1}$  de K (a e b) na fitomassa da parte aérea ao longo do tempo, dos tratamentos avaliados no presente trabalho. 1L + 1G (Guandu + Milheto); 2L + 2G (Guandu + Milheto + Sorgo + Crotalaria); 3G + 1L Guandu + Milheto + Sorgo + Milho; 3L + 1G (Guandu + Milheto + Crotalaria + Feijão de porco) e VE (Vegetação espontânea)



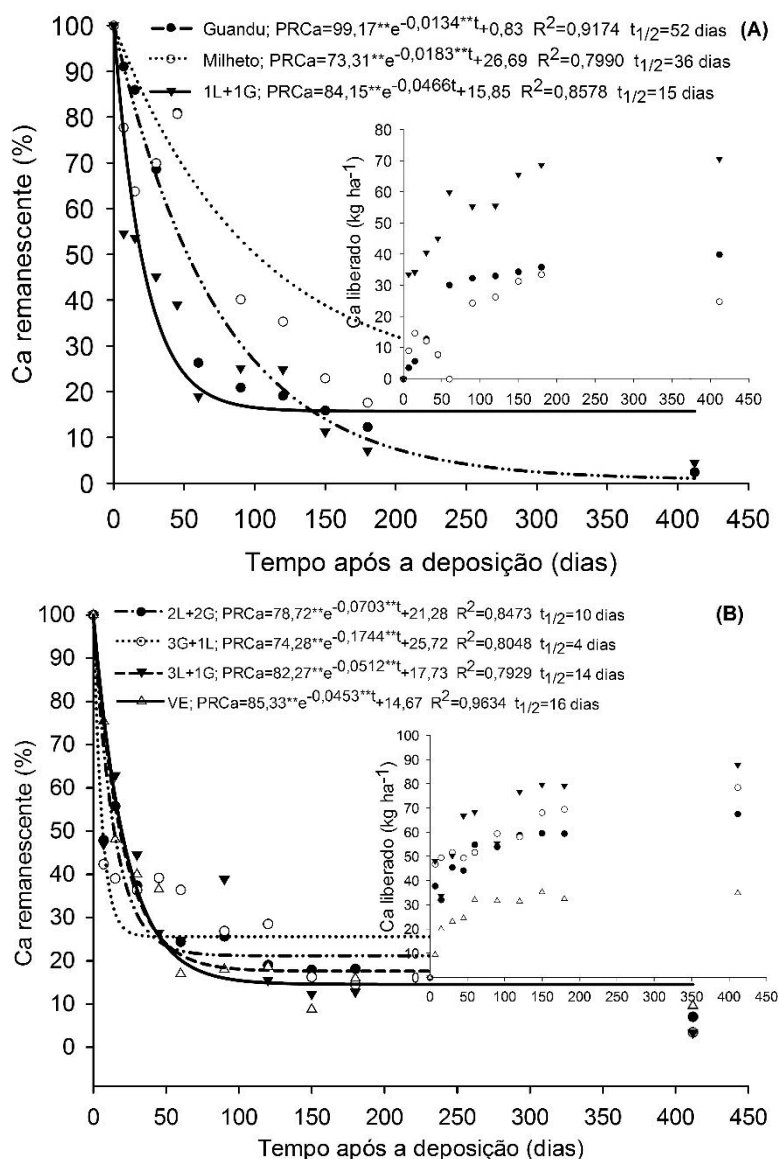
O P foi o elemento com as menores taxas de liberação, apresentando os maiores tempos de meia-vida, além de muita semelhança nas curvas de decaimento para ambos os tratamentos avaliados. A menor taxa foi atingida pela vegetação espontânea 0,0297 por dia ( $t_{1/2} = 24$  dias), seguido por Milheto>1L + 1G>3G + 1L>Guandu>2G + 2L>3L + 1G (0,0251; 0,0231; 0,0198; 0,0167; 0,0154; 0,0145 por dia), com tempos de meia-vida de 28, 30, 35, 41, 45 e 48 dias, respectivamente (Figura 4a e 4b).



**Figura 4.** Liberação (gráfico em plano de fundo) e quantidade em kg ha<sup>-1</sup> de P (a e b) na fitomassa da parte aérea ao longo do tempo, dos tratamentos avaliados no presente trabalho. 1L + 1G (Guandu + Milheto); 2L + 2G (Guandu + Milheto + Sorgo + Crotalária); 3G + 1L Guandu + Milheto + Sorgo + Milho; 3L + 1G (Guandu + Milheto + Crotalária + Feijão de porco) e VE (Vegetação espontânea)

O Ca apresentou a maior variabilidade de liberação para todos os tratamentos, quando comparado aos demais elementos avaliados (Figuras 5a e 5b), sendo a taxa de liberação mais baixa para o guandu solteiro (0,0134 por dia;  $t_{1/2}$ =52 dias), seguido pelo milho solteiro com  $t_{1/2}$  = 38 dias. Por outro lado, o tratamento 3G + 1L obteve a maior taxa de liberação (0,1744 por dia;  $t_{1/2}$  = 4 dias), período muito curto na liberação de 50% do Ca presente. Os demais tratamentos seguiram uma taxa de liberação variando de 10 a 52 dias (Figura 5a e 5b).

Maluf et al. (2015) encontraram valores de percentual de mineralização do Ca baixos, quando comparado aos demais elementos, atribuindo a menor mineralização de Ca à função do elemento na planta, como componente estrutural da parede celular (Hawkesford et al., 2012), contribuindo para componentes mais recalcitrantes.



**Figura 5.** Percentuais de cálcio (Ca) (a e b) remanescentes e quantidade desse elemento liberado ao longo do tempo (gráfico em plano de fundo), com experimento

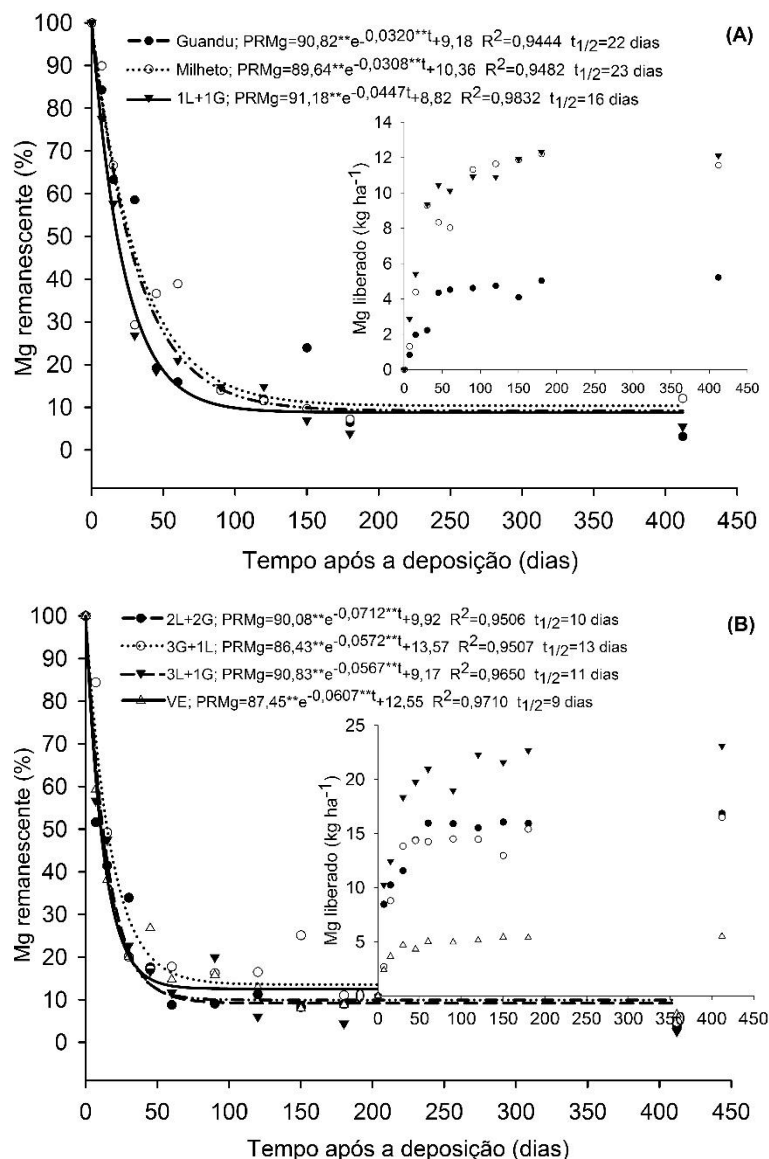
utilizando sete composições de plantas de cobertura, pela técnica do Litter bags. 1L + 1G (Guandu + Milheto); 2L + 2G (Guandu + Milheto + Sorgo + Crotalária); 3G + 1L (Guandu + Milheto + Sorgo + Milho); 3L + 1G (Guandu + Milheto + Crotalária + Feijão de porco) e VE (Vegetação espontânea)

Assim como os demais nutrientes a cinética de liberação do Mg seguiu o decaimento exponencial mais rápido no início, tornando-se mais lento com o decorrer do tempo (Figura 6a e 6b). Para este elemento, tal fator pode ser explicado devido ao Mg fazer parte da composição das plantas formando compostos iônicos e/ou moléculas solúveis (Perin et al., 2010). Segundo Maluf et al. (2015) o magnésio faz parte de componentes estruturais da planta, o qual cerca de 70% do Mg presente na formação do tecido vegetal encontra-se no vacúolo, sendo, dessa forma maior a facilidade de liberação do elemento, e os 30% restantes são mineralizados de forma gradual, dependentes da decomposição.

As menores taxas de liberação do Mg foram ajustadas para o guandu e milheto cultivados solteiros, com 0,0320 e 0,0308 por dia, 22 e 23 dias para liberação de metade do Mg presente no resíduo, respectivamente (Figura 6a), seguidos pela sequência 1L + 1G < 3G + 1L < 3L + 1G < 2L + 2G < VE (16, 13, 11, 10 e 9 dias) respectivamente (Figuras 6a e 6b).

O baixo acúmulo de nutrientes pela vegetação espontânea e pelo guandu solteiro pode estar relacionado com a menor produção de biomassa seca, uma vez que o acúmulo tem associação direta com essa variável, conforme explica Pereira Filho et al. (2019), resposta encontrada pelos autores para explicação do menor acúmulo de K em experimento com VE.

Autores como Brandão et al. (2017b), Freitas et al. (2019) e Giongo et al. (2016) relatam a VE como promissora para uso como adubo verde, no entanto, no presente trabalho não respondeu conforme esperado, visto que o acúmulo de nutrientes foi bem menor que nos outros tratamentos. Resultado semelhante foi alcançado por Pereira Filho et al. (2019). No entanto, vale destacar que, diante a indisponibilidade de acesso a sementes de espécies de adubos verdes, a manutenção da VE sobre o solo ainda pode ser considerada uma alternativa importante para adicionar nutrientes e C aos solos do semiárido, principalmente por não haver custo de instalação.



**Figura 6.** Percentuais de magnésio (Mg) (a e b) remanescentes e quantidade desses elementos liberados ao longo do tempo (gráfico em plano de fundo), com experimento utilizando sete composições de plantas de cobertura, pela técnica do Litter bags. 1L + 1G (Guandu + Milheto); 2L + 2G (Guandu + Milheto + Sorgo + Crotalária); 3G + 1L (Guandu + Milheto + Sorgo + Milho); 3L + 1G (Guandu + Milheto + Crotalária + Feijão de porco) e VE (Vegetação espontânea)

Comparado a outros experimentos desenvolvidos na região com decomposição e liberação de nutrientes utilizando misturas de adubos verdes, denominados de coquetéis vegetais, o presente trabalho demonstrou tempos de meia-vida menores, e consequentemente, maior velocidade de decomposição e de liberação de nutrientes.

Esse resultado pode ser atribuído principalmente à irrigação, visto que as bolsas contendo o material vegetal foram depositadas na linha de plantio sob irrigação, influenciando diretamente na decomposição e consequente liberação dos nutrientes

pelo material vegetal. Nesse sentido, pode-se inferir que as condições ambientais do experimento foram determinantes para acelerar a velocidade de decomposição da biomassa e de mineralização dos nutrientes, confirmando a influência de temperaturas mais elevadas aliadas a umidade (Masunga et al., 2016).

Em contrapartida, outros autores trabalhando com a técnica dos litter bags na mesma região (Brandão et al., 2017b; Freitas et al.; 2019) observaram maiores  $t_{1/2}$ . No entanto, vale destacar que esses autores trabalharam com a deposição do material na entrelinha de cultivo, onde não houve incidência direta da água de irrigação sobre as bolsas. No caso deste trabalho, pode ter ocorrido perda de nutrientes por lixiviação da palhada.

Além disso, os dados dos autores supracitados foram coletados em um experimento de longa duração, após vários ciclos de cultivo na mesma área, logo, a decomposição da biomassa nesses ambientes é reduzida visto que há uma tendência de alcance do ponto de saturação de carbono orgânico do solo. Assim, é possível que o fato do trabalho ter sido realizado após o primeiro cultivo de adubos verdes, tenha influenciado a velocidade de decomposição e liberação dos nutrientes, apresentando menores  $t_{1/2}$ .

Observando-se os  $t_{1/2}$  calculados em todos os tratamentos e para todos os nutrientes e os percentuais de extrativos, lignina e holocelulose (Tabela 3) nos tratamentos avaliados não é possível encontrar relação direta esperada entre estes componentes. Nesse sentido, acredita-se que a ocorrência de tais resultados é proveniente da incidência direta da água de irrigação, que criam um microclima quando associado às maiores temperaturas, luminosidade e evapotranspiração da região semiárida.

Diante do exposto, deve-se buscar práticas de manejo para contornar a rápida decomposição e liberação de nutrientes pelas plantas de cobertura estudadas, bem como melhorar a sincronicidade entre a quantidade liberada e absorvida pelas culturas. Entre as alternativas podemos citar a deposição do resíduo da fitomassa fora da área de incidência da irrigação na linha ou na entrelinha do pomar, o tempo de corte da fitomassa deve ser ajustado para que se possa ter material mais lignificado e, portanto, com maior tempo de permanência sobre o solo. Além disso, a implantação dos adubos verdes ou plantas de cobertura deve ser realizada de forma que o corte possa ser realizado no início do período de maior demanda nutricional pela cultura da mangueira, melhorando a eficiência de utilização dos nutrientes pela cultura.

Conforme já mencionado as demandas de N e K da cultura da mangueira, em fase de implantação e crescimento, podem ser totalmente pelos adubos verdes. No caso do P, são fornecidos 50% da demanda inicial. Essa prática pode reduzir custos com aquisição de fertilizantes químicos, além de diminuir a introdução de fertilizantes com potencial de contaminação do solo com metais pesados, como no caso dos fosfatados e dos nitrogenados, pela fixação biológica de N. Todavia, o ajuste do manejo é essencial para que não ocorra liberação muito rápida de nutrientes como o N, podendo ocasionar contaminação de mananciais na região.

Para as fases de maior demanda da cultura da mangueira, a exemplo da floração e formação de frutos, o cultivo de plantas de cobertura deve ser melhor avaliado, em termos de acúmulo dos nutrientes para suprir a necessidade da espécie e principalmente, quanto a sincronidade entre liberação e absorção, bem como equilíbrio entre os nutrientes para que não ocorram problemas de ordem fisiológica devido à desequilíbrios nutricionais.

#### **4.6. CONCLUSÕES**

Com exceção da VE e do feijão guandu em cultivo solteiro, as demais espécies de plantas de cobertura apresentaram acúmulo de nutrientes em quantidades satisfatórias para atender a demanda do cultivo de mangueira na fase de plantio e de formação.

Em geral a dinâmica de liberação dos nutrientes presentes nos resíduos vegetais seguiu a ordem:  $K > N > Mg > Ca > P$ .

Com exceção do P, independente da composição dos resíduos vegetais, 50% da quantidade inicial dos macronutrientes nos resíduos foram liberados para o solo nos primeiros 30 dias após a deposição dos resíduos vegetais no solo.

O K apresentou a maior taxa de mineralização e liberação dos resíduos vegetais, no final do experimento praticamente todo o K foi disponibilizado para a cultura da mangueira.

#### **4.7. REFERÊNCIAS**

BARBOSA LFS, CAVALCANTE IHL, LIMA AMN (2016) Desordem fisiológica e produtividade de mangueira cv. Palmer associada à nutrição de boro. **Rev Bras Frutic** 38: 1-9

BRANDÃO SS, GIONGO V, OLSZEWSKI N, SALVIANO AM (2017a) Coquetéis vegetais e sistemas de manejo alterando a qualidade do solo e produtividade da mangueira. **Rev Bras Geo Fis** 10: 1079-1089

BRANDÃO SS, SALVIANO AM, OLSZEWSKI N, GIONGO V (2017b) Green manure contributing for nutrients cycling in irrigated environments of the Brazilian semi-arid. **JEAP** 2: 519–525

CARDOSO RA, BENTO AS, MORESKI HM, GASPAROTTO F (2014) Influência da adubação verde nas propriedades físicas e biológicas do solo e na produtividade da cultura de soja. **Semina** 35: 51-60

CAVALCANTI FJA (2008) **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco**, 2ª ed. Instituto Agrônomo de Pernambuco, Recife

COOMBS C, LAUZON JD, DEEN B, VAN EERD LL (2017) Legume cover crop management on nitrogen dynamics and yield in grain corn systems. **Field Crops Research** 201: 75-85

CHRISTENSEN BT (1985) Wheat and barley straw decomposition under field conditions: effect of soil type and plant cover on weight loss, nitrogen and potassium content. **Soil Biol Biochem** 17: 691-697

FREITAS MSC, SOUTO JS, GONÇALVES M, ALMEIDA LES, SALVIANO AM, GIONGO V (2019) Decomposition and nutrient release of cover crops in mango cultivation in brazilian Semi-arid region. **Rev Bras Cienc Solo** 43: 0170402

GIONGO V, SALVIANO AM, SANTANA MS, COSTA ND, YURI JE (2016) Soil management systems for sustainable melon cropping in the submedian of the São Francisco valley. **Rev Caatinga** 29: 537–547

GÓMEZ-MUÑOZ B, HATCH DJ, BOL R, GARCÍA-RUIZ R (2014) Nutrient dynamics during decomposition of the residues from a sown legume or ruderal plant cover in an olive oil orchard. **Agricult Ecosys Environ** 184: 115-123

HAWKESFORD M, HORST W, KICHEY T, LAMBERS H, SCHJOERRING J, MØLLER IS, WHITE P (2012) **Functions of Macronutrients**. In: Marschner's (ed) Mineral nutrition of higher plants, 3<sup>a</sup> ed. Elsevier, pp 135–189

JENSEN LS, SALO T, PALMASON F, BRELAND TA, HENRIKSEN TM, STENBERG B, PEDERSEN A, LUNDSTRÖM C, ESALA M (2005) Influence of biochemical quality on C and N mineralization from a broad variety of plant materials in soil. **Plant soil** 273: 307–326

KALEEEM ABBASI M, MAHMOOD TAHIR M, SABIR N, KHURSHID M (2015) Impact of the addition of different plant residues on nitrogen mineralization-immobilization turnover and carbon content of a soil incubated under laboratory conditions. **Solid Earth** 6: 197–205

LISBOA CC, OLIVEIRA JR, LIMA FRD, SILVA EA, SILVA CA, SÁ JJG, MARQUES M (2019) Lixiviação de nitrato e amônio em Latossolo Vermelho distroférico. **Rev Bras Cienc Agrar** 14: e5658

MALUF HJGM, SOARES EMB, SILVA IR, NEVES JCL, SILVA LOG (2015) Decomposição de resíduos de culturas e mineralização de nutrientes em solo com diferentes texturas. **Rev Bras Cienc Solo** 39: 1681–1689

MASUNGA RH, UZOKWE VN, MLAY PD, ODEH I, SINGH A, BUCHAN D, NEVE SD (2016) Nitrogen mineralization dynamics of different valuable organic amendments commonly used in agriculture. **Appl soil ecol** 101: 185–193

MENDONÇA ES, MOURA WM, GUIMARÃES GP, BURAK DL (2018) Nutrient release from green manure under different sun-exposed faces. **Coffee Science** 13: 149-158

MIYAZAWA M, PAVAN MA, MURAOKA T, CARMO CAF, MELO WJ (2009) **Análise química de tecido vegetal**. In: Silva et al. (ed) Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes, 2<sup>a</sup> ed. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, pp 191-233

MOREIRA FMS & SIQUEIRA JO (2006) **Transformações bioquímicas e ciclos dos elementos no solo**. In: Moreira FMS e Siqueira JO (ed). Microbiologia e bioquímica do solo, 2<sup>a</sup> ed. Editora UFLA, Lavras, pp 313-404

MOUCO MAC, SILVA DJ, GIONGO V, MENDES MAS (2015) Green manures in 'Kent' mango orchard. **Acta Hort** 1075: 179–185



PEREIRA AP, SCHOFFEL A, KOEFENDER J, CAMERA JN, GOLLE DP, HORN RC (2017) Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. **Agraria** 40: 799-807

PEREIRA FILHO A, TEIXEIRA FILHO J, SALVIANO AM, YURI JE, GIONGO V (2019) Nutrient cycling in multifunctional agroecosystems with the use of plant cocktail as cover crop and green manure in the semi-arid. **Afr J Agric Res** 14: 241-251

PEREIRA NS, SOARES I, MIRANDA FR (2016) Decomposition and nutrient release of leguminous green manure species in the Jaguaribe-Apodí region, Ceará, Brazil. **Rev Cienc Rural** 46: 970-975

PERIN A, SANTOS RHS, CABALLERO SSU, GUERRA JGM, GUSMÃO LA (2010) Acúmulo e liberação de P, K, Ca e Mg em crotalária e milheto solteiros e consorciados. **Rev Ceres** 57: 274-281

REZENDE CDP, CANTARUTTI RB, BRAGA JM, GOMIDE JÁ, PEREIRA JM, FERREIRA E, TARRÉ R, MACEDO R, ALVES BJR, URQUIAGA S, CADISCH G, GILLER KE, BODDEY RM (1999) Litter deposition and disappearance in Brachiaria pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. **Nutr Cycl Agroecosys** 54: 99-112

SILVA MP, ARF O, SÁ ME, ABRANTES FL, BERTI CLF, SOUZA LCD (2017a) Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. **Agraria** 12: 60-67

SILVA KA, RODRIGUES MS, CUNHA JC, ALVES DC, FREITAS HR, LIMA AMN (2017b) Levantamento de solos utilizando geoestatística em uma área de experimentação agrícola em Petrolina - PE. **Com Sci** 8: 175-180

SONG-JUAN G, JU-SHENG G, WEI-DONG C, CHUN-QIN Z, JING H, JIN-SHUN B, FU-GEN D (2018) Effects of long-term green manure application on the content and structure of dissolved organic matter in red paddy soil. **J. Integr Agric** 17: 1852-1860

SHARMA P, LAOR Y, RAVIV M, MEDINA S, SAADI I, KRASNOVSKY A, VAGER M, LEVY GJ, BAR-TAL A, BORISOVER M (2017) Green manure as part of organic management cycle: Effects on changes in organic matter characteristics across the soil profile. **Geoderma** 305: 197-207

TALGRE L, ROOSTALU H, MÄEORG E, LAURINGSON E (2017) Nitrogen and carbon release during decomposition of roots and shoots of leguminous green manure crops. **Agron Res** 15: 594-601

TEKIN K, KARAGÖZ S, BEKTAŞ S (2014) A review of hydrothermal biomass processing. **Renew Sust Energ Rev** 40: 673–687

WIEDER RK and LANG GE (1982) A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology** 63: 1636-1642

XAVIER FAS, OLIVEIRA JIA, SILVA MR (2017) Decomposition and nutrient release dynamics of shoot phytomass of cover crops in the Recôncavo Baiano. **Rev Bras Cienc Solo** 41: e0160103

ZANUNCIO AJV e COLODETTE JL (2011) Teores de lignina e ácidos urônicos na madeira e polpa celulósica de eucalipto. **Rev arvore** 35 (2): 341 – 347

## 5. ARTIGO 3: Qualidade do solo em agroecossistemas multifuncionais sustentáveis frutícolas em ambiente Semiárido

Maria Raphaela Severo Rafael<sup>1</sup>, Alessandra Monteiro Salviano<sup>2</sup>, Vanderlise Giongo<sup>3</sup>, Stefeson Bezerra de Melo<sup>4</sup>, Nelci Olszewski<sup>5</sup>

### 5.1. RESUMO

No Brasil, a região do Vale do Submédio São Francisco é o maior pólo produtor e exportador de manga. No entanto, considerando a fragilidade ambiental do semiárido e às práticas de cultivo intensivo utilizadas, é imprescindível a definição de práticas de manejos que preservem os serviços ecossistêmicos e a qualidade do solo nesses ambientes. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar se o manejo do solo e o tipo de mistura de plantas de cobertura, componentes de agroecossistemas multifuncionais, alteram a qualidade do solo em um pomar de mangueira cv. 'Kent' cultivada sob irrigação em ambiente Semiárido. Além disso, espera-se identificar as propriedades químicas e/ou físicas com potencial para uso como indicador de qualidade do solo para fins de monitoramento. Os dados utilizados fazem parte de um estudo de longa duração, instalado desde 2007, utilizando-se o segundo (2008) e o nono ciclo (2017). Foi instalado um ciclo de cultivo a cada ano, utilizando-se duas misturas de plantas de cobertura (75% leguminosas + 25% gramíneas e oleaginosas, 75% gramíneas e oleaginosas + 25% leguminosas), além da vegetação espontânea. Aos 70 dias após a semedura, a fitomassa aérea foi manejada de duas formas: mantendo-as sobre a superfície do solo (sem revolvimento) ou, incorporadas ao solo (com revolvimento). Após cada ciclo de cultivo realizou-se a coleta do solo em diferentes profundidades para determinação das características físicas: densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt); e químicas: alumínio trocável (Al<sup>+</sup>), acidez potencial (H+Al), carbono orgânico total (C), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), sódio (Na), condutividade elétrica (CE), pH em água (1:2,5), fósforo (P), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB) e saturação por bases (V). Os dados foram submetidos à análise de componentes principais (ACP) e análise de agrupamento (AA), de três formas: com os dois ciclos em conjunto; e separando os manejos (SR e CR) do solo. Os grupos

formados na AA foram comparados pela Análise de variância multivariada. O manejo SR proporciona melhoria na qualidade do solo na camada mais superficial do solo (0 – 0,05 m) independente da composição das plantas de cobertura utilizada. A prática de não revolver (SR) o solo proporciona maior acúmulo de C no solo da entrelinha do pomar de mangueira. As variáveis identificadas como potenciais indicadores para monitoramento da qualidade do solo para os diferentes agroecossistemas multifuncionais frutícolas avaliados, em condições semiáridas, são: H+Al, SB CTC, V, C, P, Ca, Mg, K, Na Mi e Pt.

**Palavras-chave:** Conservação. Manejo do solo. Indicadores de qualidade. Adubação verde.

## Soil quality in different multifunctional agroecosystems of irrigated hose in a semiarid environment

### 5.2. ABSTRACT

In Brazil, the Vale do Submédio São Francisco region is the largest producer and exporter of mango. However, considering the environmental fragility of the semi-arid region and the intensive farming practices used, it is essential to define management practices that preserve ecosystem services and soil quality in these environments. Thus, the objective of the present work was to evaluate whether soil management and the type of mixture of cover plants, components of multifunctional agroecosystems, alter the soil quality in a mango orchard cv. 'Kent' grown under irrigation in a semi-arid environment. In addition, it is expected to identify chemical and / or physical properties with potential for use as an indicator of soil quality for monitoring purposes. The data used are part of a long-term study, installed since 2007, using the second (2008) and the ninth cycle (2017). A cultivation cycle was installed each year, using two mixtures of cover plants (75% legumes + 25% grasses and oilseeds, 75% grasses and oilseeds + 25% legumes), in addition to spontaneous vegetation. At 70 days after sowing, aerial phytomass was handled in two ways: keeping them on the soil surface (without turning) or incorporated into the soil (with turning). After each cultivation cycle, soil was collected at different depths to determine physical characteristics: particle density (Dp), soil density (Ds), macroporosity (Ma), microporosity (Mi) and total porosity (Pt) ; and chemical: exchangeable aluminum (Al +), potential acidity (H + Al), total organic carbon (C), calcium (Ca), magnesium (Mg), potassium (K), sodium (Na), electrical conductivity (CE), pH in water (1: 2.5), phosphorus (P), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn) and zinc (Zn), cation exchange capacity (CTC), sum of bases (SB ) and base saturation (V). The data were submitted to principal component analysis (ACP) and cluster analysis (AA), in three ways: with the two cycles together; and separating the managements (SR and CR) from the soil. Groups formed in AA were compared using multivariate analysis of variance. SR management improves soil quality in the topmost layer of soil (0 - 0.05 m) regardless of the composition of the cover plants used. The practice of not revolving (SR) the soil provides greater accumulation of C in the soil between the lines of the mango orchard. The variables identified as potential indicators for monitoring soil quality for the different fruit multifunctional agroecosystems evaluated, in semi-arid conditions, are: H + Al, SB CTC, V, C, P, Ca, Mg, K, Na Mi and Pt.

**Keywords:** Conservation. Soil management. Quality Indicators. Green manure.

### 5.3. INTRODUÇÃO

A mangueira (*Mangifera indica* L.) é uma das principais espécies frutíferas cultivadas no Semiárido brasileiro, especificamente no Vale do Submédio São Francisco, responsável pelo maior volume de produção e exportação do país (Barbosa et al., 2016).

No entanto, a maioria dos solos dessa região é considerada frágil, principalmente por sua textura arenosa, que dificulta a proteção física da matéria orgânica, interferindo na formação de agregados e facilitando a decomposição da cobertura vegetal (Santos et al., 2011). Além disso, as características climáticas da região, principalmente temperatura, luminosidade e evapotranspiração, associadas aos elevados índices de umidade proporcionados pela irrigação, também aceleram os processos de fotodegradação e de decomposição da cobertura vegetal.

Assim, existe a necessidade de desenvolver/adaptar e implantar inovações tecnológicas que venham contribuir para manutenção da cobertura do solo, bem como manter e ou melhorar a qualidade do solo, preservando seus serviços ecossistêmicos e contribuindo para a sustentabilidade da cadeia produtiva de manga.

Uma das técnicas utilizadas com esse objetivo é a manutenção da cobertura do solo pelo cultivo de espécies de adubos verdes, em sistema de consórcio ou cultivo solteiro, em sistema intercalar em sistemas de produção de frutícolas. O corte e manejo da fitomassa produzida mantém a cobertura da superfície do solo, influenciando de forma positiva nos seus atributos químicos, físicos (Silva et al., 2017) e biológicos (Freitas et al., 2019), contribuindo para melhoria da fertilidade e da sustentabilidade ambiental (Song-Juan et al., 2018).

As espécies mais utilizadas com esse fim pertencem às famílias das leguminosas, oleaginosas e gramíneas. Na região do Vale do Submédio São Francisco alguns trabalhos recomendam o cultivo simultâneo dessas espécies, como sendo uma alternativa viável para adicionar carbono ao solo e promover a ciclagem de nutrientes em agroecossistemas frutícolas irrigados (Brandão et al., 2017; Freitas et al., 2019; Giongo et al., 2016; Pereira Filho et al., 2019), melhorando a qualidade do solo (Song-Juan et al., 2018).

Segundo González et al. (2018) a introdução de culturas de cobertura em áreas irrigadas de regiões Semiáridas pode desempenhar um papel relevante na prestação

de serviços ecossistêmicos, como controle de erosão e mitigação da degradação do solo.

Apesar da produtividade das culturas, por questões econômicas, ser o fator mais considerado na produção agrícola, há necessidade de manter a qualidade do solo, pois este é essencial na preservação da sustentabilidade global (Zornoza et al., 2015). Por isso, é necessário identificar indicadores de qualidade, pois os mesmos são ferramentas para identificação de processos de degradação de solos agrícolas e avaliação dos manejos adotados (Stefanoski et al., 2016). Várias propriedades químicas, físicas e biológicas do solo podem ser usadas para avaliar a qualidade do solo, permitindo identificar possíveis alterações nas funções do solo (Pulido et al., 2017).

No entanto, dentre os indicadores utilizados o carbono orgânico tem sido sugerido como o mais importante, uma vez que está envolvido na maioria das propriedades do solo (Zornoza et al., 2015). Essas variáveis podem ser utilizadas para identificar possíveis efeitos, positivos ou negativos, das práticas de manejo do solo. Conhecer essas alterações nos atributos do solo, causadas pelo cultivo agrícola, fornece subsídios para a adoção de práticas de manejo que permitam incrementar o rendimento das culturas, garantindo a contínua sustentabilidade e a conservação dos ecossistemas (Freitas et al., 2014). Além disso, subsidia a escolha de intervenções que proporcionem a manutenção dos serviços ecossistêmicos do solo, como ciclagem de nutrientes, capacidade de armazenamento de água e capacidade de disponibilizar nutrientes para as culturas (Schröder et al., 2016).

Assim, considerando que monitorar a qualidade do solo por meio das suas propriedades é fundamental para a tomada de decisão em cultivos agrícolas, o objetivo deste trabalho foi avaliar se o manejo do solo e o tipo de mistura de plantas de cobertura alteram a qualidade do solo em um pomar de mangueira cv. 'Kent' cultivada sob irrigação em ambiente Semiárido, bem como identificar propriedades químicas e físicas com potencial para uso como indicador de qualidade.

#### **5.4. MATERIAL E MÉTODOS**

O banco de dados foi obtido a partir de experimento de longa duração em um pomar de mangueira (*Mangifera indica* L. cv. 'Kent'), conduzido no campo

experimental de Bebedouro, situado na Embrapa Semiárido (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), Petrolina, PE, Brasil, (09° 09' S, 40° 22' W, altitude 366 m) desde 2007. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico plúntico (Santos et al., 2018), de textura média. Conforme a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo BSw<sub>h</sub>, semiárido, com precipitação média anual de 567 mm, e temperaturas variando de 24,2 a 28,2 °C.

Os tratamentos foram compostos por dois sistemas de manejo, sem (SR) e com revolvimento do solo (CR), combinados com três misturas de plantas de cobertura, 75% leguminosas + 25% gramíneas e oleaginosas (coquetel de plantas de cobertura 1 – MP1), 25% leguminosas + 75% gramíneas e oleaginosas (coquetel de plantas de cobertura 2 – MP2), e vegetação espontânea (MP3). O delineamento experimental foi blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas, no qual as parcelas foram representadas pelo manejo e as subparcelas pelas misturas de plantas de cobertura.

Cada subparcela foi composta por três fileiras, sendo três plantas por fileira, dispostas em espaçamento 8 x 5 m, e área total da parcela 360 m<sup>2</sup>. Na entrelinha de cultivo de mangueira foram semeadas as plantas de cobertura em faixas de 6 m de comprimento, deixando em cada lado 1 m de borda livre.

Foram utilizadas 14 espécies na composição das misturas de plantas de cobertura (MP1 e MP2), diferindo nas proporções utilizadas (Tabela 1). A MP3, a vegetação espontânea, foi composta principalmente pelas espécies *Desmodium tortuosum* (Sw.) DC, *Macroptilium lathyroides* (L.) Urb., *Digitaria bicornis* (Lam.) Roem. Schult., *Dactyloctenium aegyptium* (L.) Willd., *Commelina diffusa* Burm. f., *Acanthospermum hispidum* DC., *Euphorbia chamaeclada* Ule, *Waltheria rotundifolia* Schrank, *Waltheria* sp. L., *Tridax procumbens* L., *Ipomoea mauritiana* Jacq., *Ipomoea bahiensis* Willd. Ex Roem. Schult., *Amaranthus deflexus* L..



**Tabela 1.** Proporção de sementes utilizadas na composição das plantas de cobertura semeadas nas entrelinhas de cultivo da mangueira, MP1 (75% leguminosas + 25% gramíneas e oleaginosas) e MP2 (25% leguminosas + 75% gramíneas e oleaginosas)

Plantas de cobertura	MP1	MP2
	—— kg ha <sup>-1</sup> ——	
Leguminosas		
<i>Crotalaria spectabilis</i> Roth	5,5	1,7
<i>Crotalaria juncea</i> L.	13,5	4,5
<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC. (Feijão-de-porco)	187,5	62,5
<i>Calopogonium mucunoide</i> Desv. (Calopogônio)	3,7	1,2
<i>Mucuna pruriens</i> Piper & Tracy. (Mucuna-preta)	101,2	33,7
<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp. (Feijão guandu)	12,7	4,2
<i>Dolichos lablab</i> L. (Lab-lab)	60,0	20,0
<i>Mucuna cochinchinensis</i> (Lour.) A. Chev. (Mucuna-cinza)	101,2	33,7
Gramíneas		
<i>Zea mays</i> L. (Corn) (Milho)	15,0	45,0
<i>Pennisetum americanum</i> (L.) Leeke (Milheto)	1,0	3,0
<i>Sorghum vulgare</i> Pers. (Sorgo)	2,5	7,5
Oleaginosas		
<i>Helianthus annuus</i> L. (Girassol)	3,1	9,3
<i>Ricinus communis</i> L. (Mamona)	30,0	90,0
<i>Sesamum indicum</i> L. (Gergelim)	1,0	3,0

\*proporções baseadas em experimentos anteriores ao início do presente estudo.

Os ciclos de cultivo das plantas de cobertura utilizados nesse estudo foram: 2009/2010, 2010/2011, 2012, 2013, 2015, 2016 e 2017, a semeadura nos três primeiros ciclos foi realizada no final de cada ano, e após o terceiro ciclo, estes foram semeados em março de cada ano. Aos 70 dias após a semeadura, quando mais ou menos 70% das plantas estavam em florescimento, a fitomassa aérea foi cortada e depositada nas entrelinhas da mangueira, deixando o material sobre a superfície nos tratamentos SR, ou incorporando a fitomassa, com auxílio de grade niveladora, nos tratamentos CR.

Na linha de cultivo da mangueira foi realizada, em todos os ciclos de cultivo, a adubação de manutenção via fertirrigação, com base na análise de solo da área.

Como forma de monitorar a qualidade do solo nos agroecossistemas multifuncionais avaliados foram coletadas amostras de solo, nas profundidades de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, nas linhas e entrelinhas do pomar, antes de cada ciclo de cultivo das plantas de cobertura. No entanto, o presente trabalho apresentará apenas os dados referentes à entrelinha, aonde os coquetéis são semeados e manejados.

As características físicas determinadas foram: densidade de partículas ( $D_p$ ) e densidade do solo ( $D_s$ ), segundo os métodos do balão volumétrico e do anel (Donagema et al., 2011), respectivamente; macroporosidade ( $Ma$ ) e microporosidade ( $Mi$ ), estimadas pelo método de Stolf et al. (2011), utilizando-se os dados de  $D_p$ ,  $D_s$  e teor de areia; e porosidade total ( $Pt$ ) calculada a partir dos dados de  $D_s$  e  $D_p$ . As características químicas determinadas foram: os teores de carbono orgânico total (C), alumínio ( $Al^{3+}$ ), cálcio ( $Ca^{2+}$ ), magnésio ( $Mg^{2+}$ ), potássio ( $K^+$ ) e sódio ( $Na^+$ ) trocáveis, fósforo (P), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) disponíveis; acidez potencial ( $H+Al$ ); condutividade elétrica (CE) e pH em água (1:2,5) (Donagema et al., 2011). A partir desses resultados foram calculados capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB) e saturação por bases (V).

Para avaliação da qualidade do solo, dos sete ciclos disponíveis no banco de dado, utilizaram-se apenas os ciclos 2010/2011 (após o segundo cultivo das plantas de cobertura) e 2017 (após o sétimo cultivo das plantas de cobertura). O teor de  $Al^{3+}$  foi retirado das análises estatísticas por apresentar valor zero no banco de dados de 2017. Após verificar a normalidade e linearidade dos dados, identificação de outliers e observação de valores significativos na matriz de correlação, os dados foram submetidos a análises por técnicas de estatística multivariada, utilizando-se análise de componentes principais (ACP) para tentar reduzir o número de variáveis e a análise de agrupamento (Análise de Cluster) para verificar semelhanças e/ou diferenças na qualidade do solo proporcionada pelos os agroecossistemas multifuncionais avaliados.

A avaliação do BD foi realizada de três formas: utilizando-se os dois ciclos de cultivo escolhidos, com todas as profundidades, e os dois manejos do solo em conjunto, e também separando os tratamentos os tipos de manejo do solo (SR e CR), aplicando as técnicas estatísticas nessa sequência.

Para determinar quantas componentes seriam utilizadas na ACP observaram-se os autovalores, bem como o gráfico de *screen-plot*, adotando as componentes que apresentaram autovalores acima de 1,00 e conseguiram alcançar uma variância acumulada acima de 70% (Hair Junior et al., 2009). No texto serão apresentados os gráficos referentes às componentes 1 e 2. A partir do resultado da ACP foram identificadas as variáveis mais importantes (maior peso no gráfico das componentes), para utilização na análise de agrupamento. O critério adotado para excluir as variáveis

foi selecionar aquelas com carga fatorial negativa ou positiva acima de 0,60 (Arcoverde et al., 2015).

As variáveis retiradas da análise de agrupamentos no SR e CR foram: Al, Cu, CE, Dp, Fe, Ma, Mn e pH; separando apenas SR do solo retiraram-se: Al, CE, Dp, Fe, Mn, pH e Zn; e CR do solo: Al, Cu, Dp, Ds, Fe, Ma, Mn e pH.

O agrupamento seguiu o método hierárquico, usando a distância Euclidiana como medida de semelhança entre os registros e o método de Ward como estratégia de agrupamento. Para reduzir os erros, devidos às escalas e unidades das variáveis, os dados foram padronizados com média zero e variância 1 (Freitas et al., 2014). Em seguida foi traçada a Linha Fenon na horizontal para determinar o número de grupos formados. Baseando-se no objetivo do trabalho e nas referências disponíveis, traçou-se a linha em 20% para todos os agrupamentos formados, visto que o método de Ward o qual foi adotado permite o corte entre 20 e 30%.

A partir do da determinação do número de grupos formados, foi possível inferir sobre as semelhanças ou diferenças existentes entre os manejos adotados no solo e as plantas de coberturas utilizadas, na qualidade do solo nas diferentes profundidades de coleta. Além de contrastar a evolução das características físicas e químicas do solo cultivado com plantas de cobertura após sete ciclos de cultivo.

Realizou-se análise de variância multivariada para comparar os grupos formados na análise de agrupamento.

## **5.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados da ACP mostram que as componentes 1 (CP1) e 2 (CP2) são responsáveis por explicar 69,47; 72,45 e 72,00% da variabilidade dos dados, quando utilizou-se o banco de dados avaliados em conjunto (agroecossistemas sem e com revolvimento) (Figura 1A), apenas os agroecossistemas sem revolvimento do solo (SR) (Figura 1B) e os com revolvimento (CR) (Figura 1C), respectivamente. Para a análise realizada com o banco de dados completo, as variáveis de maior peso dentro das componentes foram as características químicas H+Al, CTC, V, SB, teores de Ca, C, P, Mg, K, Na e Zn; e as características físicas Ds, Mi e Pt, indicando serem estas mais sensíveis aos manejos utilizados nos agroecossistemas avaliados. Os valores

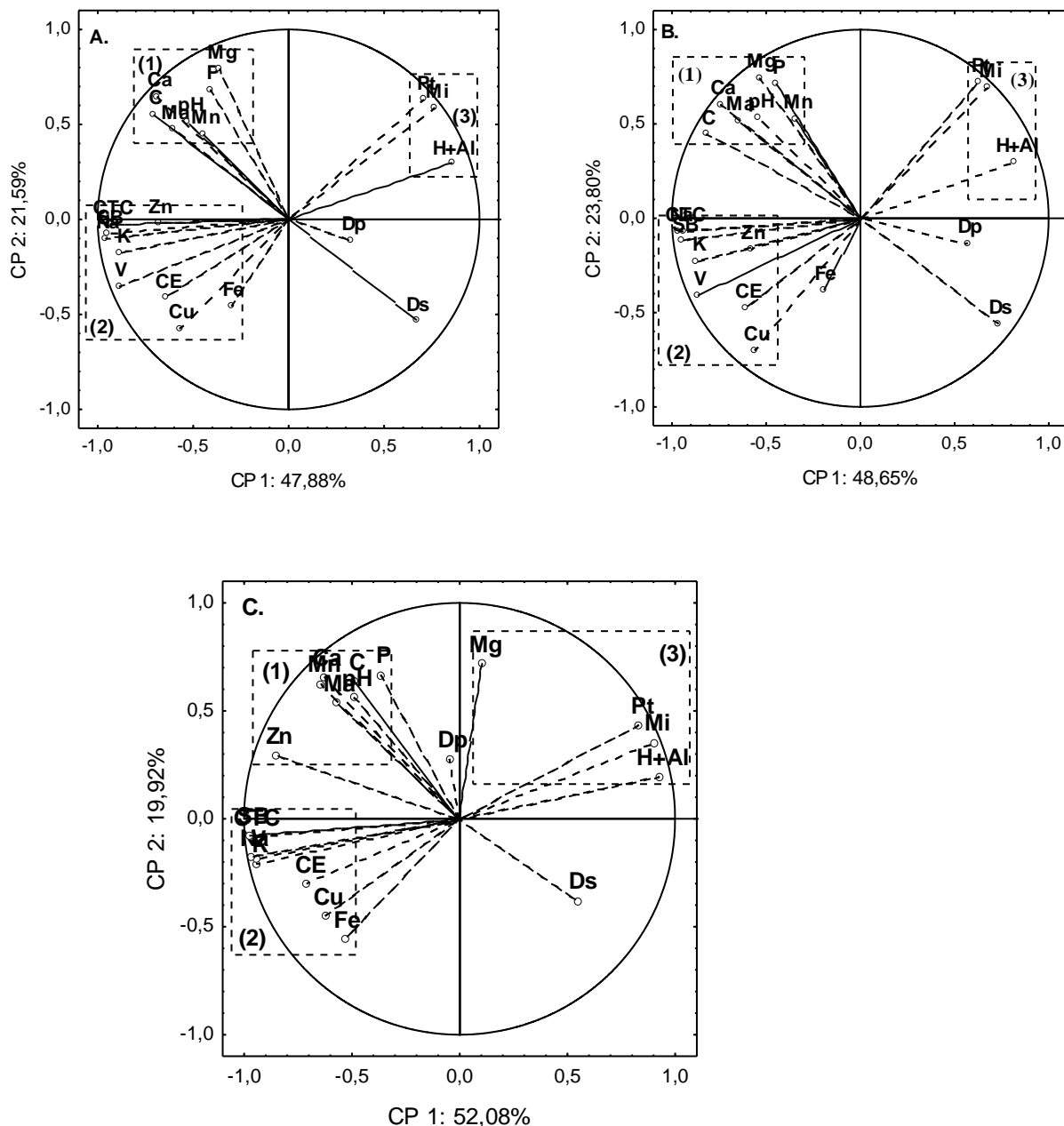
dos coeficientes de correlação entre os atributos do solo avaliados, para cada banco de dados, estão apresentados nos Anexos B, C e D.

Por outro lado, o conjunto de dados representados pelos agroecossistemas SR do solo apresenta, como variáveis de maior importância, as características químicas H+Al, CTC, V e SB, teores de Ca, C, P, Mg, K, Na e Cu, e as características físicas Ds, Ma, Mi e Pt. Os agroecossistemas que utilizam o revolvimento do solo para incorporação da fitomassa aérea das MPs apresentam, como variáveis de maior importância na explicação da variância dos dados, as mesmas características químicas identificadas para o conjunto completo dos dados acrescidas da CE e tendo nas características físicas a inclusão da Ma e retirada da Ds.

Na Figura 1A a área marcada com (1) representa a qualidade do solo nos agroecossistemas que deixam a palhada sobre o solo (SR), independente da MP utilizada, na profundidade de 0-0,05 m, e nos agroecossistemas que utilizam as misturas MP1 e MP2, compostas por espécies cultivadas, associadas ao revolvimento do solo, nas profundidades de 0-0,10 m. Isso demonstra que as alterações nos teores de Ca, C, Mg e P no solo sob esses agroecossistemas é efetivo nas camadas mais superficiais. A área 2 representa a MP3, composta pela VE, na camada 0,05-0,10 m, e todas as MPs nas demais profundidades, onde as variáveis de maior peso na explicação da variabilidade dos dados foram as características químicas CTC, V, SB, teores de K, Na e Zn no solo após o sétimo ciclo de cultivo das MP1 e MP2. A área 3 corresponde aos dados referentes ao segundo ciclo de cultivo, fase inicial do experimento, em todas as profundidades do solo e MPs utilizadas, onde as variáveis químicas H+Al e as físicas Mi e Pt apresentaram maior peso na explicação da variabilidade dos dados. A partir dessa análise pode-se inferir que o uso dos agroecossistemas multifuncionais melhorou a qualidade inicial do solo e que o tipo de manejo escolhido é importante para definir a construção da qualidade do solo ao longo do tempo.

Quando os agroecossistemas foram avaliados separando-os por tipo de manejo, os SR do solo (Figura 1B), na profundidade 0-0,05 m, independente da MP utilizada, as variáveis que apresentaram maior peso na explicação da variância dos dados foram os teores de Ca, C, Mg e P, bem como a macroporosidade do solo (Ma). Para as demais camadas do solo (2), após sete ciclos de cultivo com os agroecossistemas, as variáveis de maior peso foram as características químicas CTC, V e SB e os teores de K, Na e Cu. Já o grupo 3, é novamente formado pelos dados relativos ao segundo

ciclo de cultivo, mostrando que o tempo de cultivo ainda não tinha sido suficiente para inferir maior na qualidade no solo. As variáveis de maior peso, foram as mesmas observadas para o grupo 3 da figura 1A, onde todos os tratamentos foram analisados em conjunto.



**Figura 1.** Gráficos dos componentes principais (CP1 e CP2) para as características físicas e químicas de amostras de solo coletadas na entrelinha de um pomar de mangueira cv 'Kent', cultivada em agroecossistemas multifuncionais em ambiente Semiárido. (A) Todos os agroecossistemas avaliados em conjunto; (B) representação dos dados dos agroecossistemas que não revolvem o solo; e (C) agroecossistemas com revolvimento do solo.

Os autovalores apresentados na Tabela 2 correspondem às duas principais componentes e podem ser considerados como uma medida da importância de cada variável, em relação às componentes principais, sendo os sinais, positivos ou negativos, indicações de relações diretamente e inversamente proporcionais, respectivamente. No caso em questão, os coeficientes dos atributos ou seus pesos acima de 0,60, independentemente de serem positivos ou negativos, foram destacados.

Nos agroecossistemas com revolvimento (Figura 1C), ou seja, onde incorporasse a fitomassa aérea das MPs ao solo, existe uma semelhança nos teores de Ca, C, P e Zn (1), para as camadas 0-0,05 e 0,05-0,10 m, independente da MP utilizada. Estes elementos, com a incorporação da fitomassa e movimentação das camadas do solo, são disponibilizados em maior profundidade, quando comparados ao sistema de manutenção da fitomassa na superfície do solo. No entanto, nas camadas do solo a partir de 0,10 m apresentam-se semelhantes ao manejo SR, com maior peso das variáveis CTC, V e SB e teores de K e Na (2). O grupo 3, com exceção do Mg, apresentam as mesmas variáveis das análises anteriores, agrupando os dados relativos às amostras de solo coletadas após o segundo ciclo de cultivo (3).

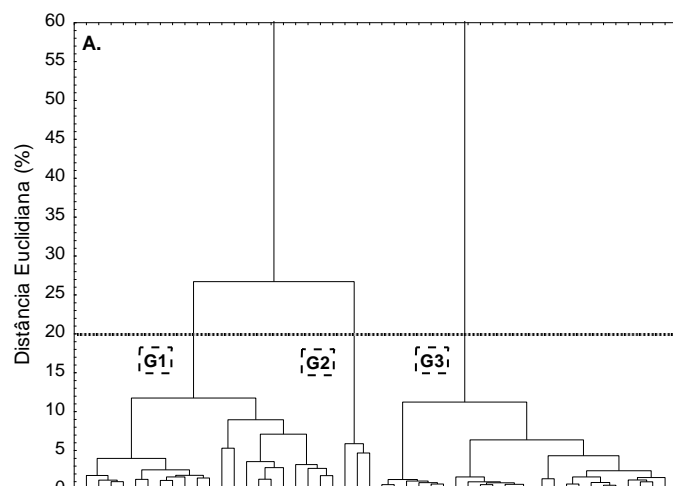
Assim, observa-se que o tipo de manejo adotado nos agroecossistemas alteram, de maneira diferenciada, características químicas e físicas do solo ao longo do tempo e em profundidade, sendo possível identificar as com potencial para utilização como indicadores de qualidade do solo nesses sistemas de produção. Além disso, observando as variáveis de menor peso nas CP1 e CP2, nos três arranjos de dados utilizados, podemos destacar a Dp, os teores de Fe e Mn, além do pH, mostrando que estas não teriam, nas condições testadas, potencial para serem utilizados como indicadores de qualidade do solo. No caso da Dp, por ser uma característica relacionada à mineralogia da fração areia, não apresenta sensibilidade às práticas de manejo. Portanto, estes indicadores são passíveis de serem retirados de análises rotineiras, podendo ser avaliados em período de tempo maior, seja em um solo CR ou SR.

Após ACP realizou-se a análise de agrupamentos excluindo as variáveis mencionadas anteriormente, seguindo a mesma sequência de avaliação dos manejos em conjunto, posteriormente SR em seguida CR. Foram obtidos três grupos (G1, G2 e G3) para os arranjos testados, porém os grupos apresentam algumas diferenças de manejo e profundidade entre ambos.

O G1 quando os manejos são avaliados em conjunto é formado por todas as MPs e as profundidades de 0,05 a 0,40 m nos agroecossistemas que não revolvem o solo, e todas as profundidades e MPs nos agroecossistemas com incorporação da fitomassa, com revolvimento (Figura 1A). Quando se utilizaram apenas os dados dos agroecossistemas SR, o G1 é formado por todas as MPs nas profundidades de 0,05 a 0,40 m (Figura 1B).

O G2 foi formado pela profundidade 0 – 0,05 m, todas as MPs, tanto quando se utilizou a análise dos dados em conjunto quanto quando se separou os agroecossistemas SR. Isso corrobora o efeito mais acentuado do não revolvimento do solo, sobre sua qualidade na camada mais superficial. Quando foram avaliados os dados dos agroecossistemas CR, o G2 formado inclui a profundidade 0 – 0,05 m para todas as MPs, além da camada de 0,05 – 0,10 m quando se utilizou MPs cultivadas (MP1 e MP2). Isso mostra a influência do revolvimento em camada mais profundidade, sendo importante também, nesse caso, o tipo de MP utilizada. Assim, observa-se que a prática de deixar a VE nas entrelinhas de mangueira, não mostra tanta eficiência no incremento da qualidade do solo, quando associada ao revolvimento. (Figuras 2A, 2B e 2C).

O grupo G3 é composto, independente do conjunto de dados analisados, pelas amostras de solo coletadas no segundo ciclo de cultivo, corroborando os resultados da ACP, e demonstrando o efeito do tempo no incremento da qualidade do solo nesses agroecossistemas.

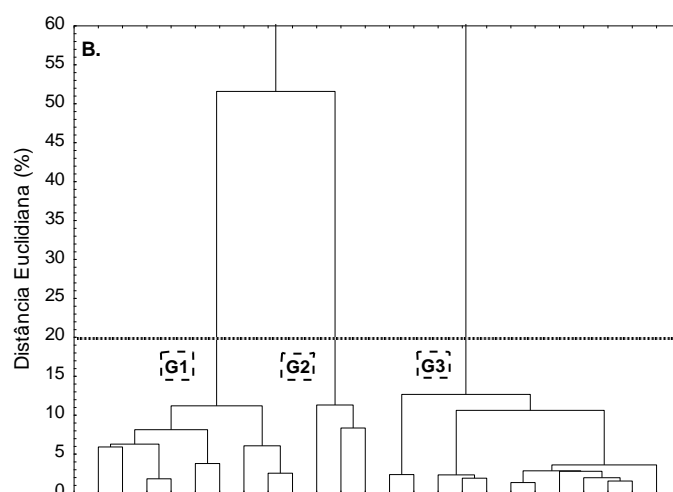


#### LEGENDA

**G1:** MP1, MP2 e MP3, sem revolvimento nas profundidades 0,05 a 0,40 m, e com revolvimento todos os tratamentos em todas as profundidades, após o sétimo ciclo de cultivo das plantas de cobertura;

**G2:** MP1, MP2 e MP3, sem revolvimento na profundidade 0 – 0,05 m, após o sétimo ciclo de cultivo das plantas de cobertura;

**G3:** MP1, MP2 e MP3, sem e com revolvimento, todas as profundidades, após o segundo ciclo das plantas de cobertura.

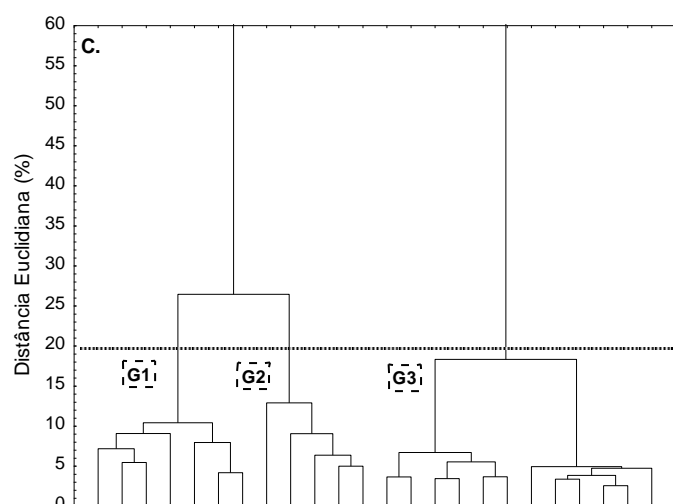


#### LEGENDA

**G1:** MP1, MP2 e MP3, nas profundidades 0,05 a 0,40 m, após o sétimo ciclo de cultivo das plantas de cobertura;

**G2:** MP1, MP2 e MP3, na profundidade 0 – 0,05 m, após o sétimo ciclo de cultivo das plantas de cobertura;

**G3:** MP1, MP2 e MP3, todas as profundidades, após o segundo ciclo de cultivo das plantas de cobertura.



#### LEGENDA

**G1:** MP1, MP2 e MP3, 0,10 a 0,40 m, e VE na profundidade 0,05 – 0,10 m, após o sétimo ciclo de cultivo das plantas de cobertura;

**G2:** MP1, MP2 e MP3, na profundidade 0 – 0,05 m, MP1 e MP2 na profundidade 0,05 – 0,10 m, após o sétimo ciclo de cultivo das plantas de cobertura;

**G3:** MP1, MP2 e MP3, todas as profundidades, após o segundo ciclo de cultivo das plantas de cobertura.

**Figura 2.** Agrupamento referente às características físicas e químicas do solo coletado na entrelinha de um pomar de mangueira cv 'Kent', cultivada em agoecossistemas multifuncionais irrigados, em ambiente Semiárido. (A) conjunto sem e com revolvimento do solo; (B) sem revolvimento do solo; e (C) com revolvimento do solo.



Ao contrário do observado por Stefanoski et al. (2016), no presente trabalho obteve-se diferenciação entre os manejos do solo, apesar de ser apenas na profundidade inicial. No entanto os autores ressaltam que a não diferenciação entre o manejo convencional e o plantio direto nos indicadores avaliados pode estar relacionada ao curto tempo de avaliação, fator que evidencia a necessidade de estudos por maior tempo. Assim, espera-se aumento na qualidade do solo sob esses agroecossistemas em maiores profundidades para o manejo SR, proporcionando sustentabilidade ao cultivo da mangueira no semiárido, bem como contribuindo na manutenção dos serviços ecossistêmicos do solo nessa região.

Com intuito de verificar se existe diferença significativa entre os grupos formados realizou-se a análise de variância multivariada, utilizando-se o teste F para comparação entre os grupos. Observou-se diferença estatística significativa entre os grupos (Tabela 3), sendo possível identificar mais nitidamente os efeitos do manejo na qualidade do solo.

Observa-se que os grupos G1 e G2 (Tabela 3), apresentam, em geral, uma melhoria nos indicadores avaliados, em relação ao G3, formado pelas amostras coletadas no segundo ano de cultivo dos agroecossistemas. Isso ressalta os benefícios da adoção de sistemas de produção mais complexos, com adição de fitomassa e, principalmente com a prática de não revolvimento do solo, sobre sua qualidade, independente da mistura de plantas de cobertura. Além disso, nas condições do estudo, observa-se que a prática de manejo adotada (SR e CR), dentro de cada agroecossistema, é mais determinante na alteração da qualidade do solo. Quando se compara as médias dos indicadores dos grupos formados com os agroecossistemas que adotam o revolvimento como estratégia para o manejo da fitomassa, estas são menores do que os que não revolvem o solo.

Os agroecossistemas SR do solo proporciona maior acúmulo de C (Tabela 3), logo, considerando-se que este indicador influencia positivamente várias propriedades do solo (Zornoza et al., 2015), a manutenção dos resíduos de fitomassa sobre a superfície, melhora a qualidade dos serviços ecossistêmicos prestados pelo solo. O não revolvimento do solo proporcionou melhoria da qualidade do solo, longo do tempo, principalmente na profundidade 0-0,05 m, seja pelo aumento da disponibilidade de nutrientes ou da redução da acidez potencial do solo. Por outro lado, o revolvimento melhora a qualidade do solo em relação à sua condição inicial, mas os incrementos são menores para todos os indicadores avaliados.

**Tabela 3.** Análise de variância multivariada, médias e desvio padrão das variáveis para cada grupo formado pela análise de agrupamento.

<b>COM E SEM REVOLVIMENTO DO SOLO</b>			
Variáveis	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,468±0,079	0,225±0,025	1,684±0,057
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	9,530±0,410	19,144±2,597	4,443±0,098
V (%)	95,017±0,600	98,725±0,130	62,979±1,213
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	9,289±0,489	18,790±2,568	2,791±0,091
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,709±0,105	1,717±0,318	1,644±0,056
C (%)	0,318±0,034	1,132±0,138	0,253±0,016
P (mg dm <sup>-3</sup> )	23,543±1,721	43,167±9,213	26,120±2,055
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,749±0,031	1,508±0,131	0,896±0,037
K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6,449±0,531	14,600±4,200	0,294±0,017
Na (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,531±0,027	1,167±0,148	0,019±0,001
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	2,040±0,235	2,743±0,681	0,956±0,089
Ds (g cm <sup>-3</sup> )	1,441±0,009	1,304±0,008	1,448±0,005
Mi (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,051±0,003	0,108±0,014	0,276±0,001
Pt (%)	43,753±0,406	48,006±0,767	56,472±0,168
Teste F	G1 x G2 1250,969**	G1 x G3 5676,669**	G2 x G3 6987,382**
<b>SEM REVOLVIMENTO DO SOLO</b>			
	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,575±0,178	0,225±0,025	1,656±0,082
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	9,854±0,695	19,144±2,597	4,344±0,112
V (%)	94,319±1,251	98,725±0,130	63,333±1,874
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	9,547±0,883	18,790±2,568	2,753±0,138
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,450±0,146	3,717±0,318	1,638±0,097
C (%)	0,288±0,037	1,132±0,137	0,259±0,023
P (mg dm <sup>-3</sup> )	18,424±1,914	43,167±9,213	26,361±3,226
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,674±0,051	1,508±0,131	0,890±0,057
K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	7,593±0,957	14,600±4,200	0,292±0,022
Na (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,445±0,019	1,167±0,148	0,016±0,001
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	1,326±0,120	1,216±0,072	0,558±0,052
Ds (g cm <sup>-3</sup> )	1,453±0,007	1,304±0,008	1,440±0,008
Ma (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,158±0,006	0,213±0,012	0,162±0,003
Mi (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,050±0,002	0,108±0,014	0,275±0,001
Pt (%)	43,025±0,435	48,006±0,767	56,279±0,276
Teste F	G1 x G2 2072,804**	G1 x G3 3649,778**	G2 x G3 45117,16**
<b>COM REVOLVIMENTO DO SOLO</b>			
	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,432±0,047	0,325±0,055	1,713±0,083
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,368±0,333	10,570±0,877	4,542±0,161
V (%)	94,700±0,576	96,715±0,494	62,625±1,616
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	7,943±0,343	10,710±0,893	2,828±0,125
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,618±0,105	2,305±0,105	1,650±0,061
C (%)	0,248±0,023	0,471±0,101	0,246±0,024
P (mg dm <sup>-3</sup> )	24,106±2,318	31,968±2,840	25,880±2,690
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,764±0,044	0,865±0,017	0,902±0,051
K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,876±0,322	6,593±0,975	0,295±0,026
Na (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,524±0,030	0,698±0,046	0,021±0,001
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	1,508±0,159	2,664±0,391	0,910±0,115
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0,700±0,145	0,647±0,147	0,249±0,023
Mi (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,045±0,004	0,060±0,013	0,277±0,002
Pt (%)	42,869±0,505	46,301±0,332	56,665±0,185
Teste F	G1 x G2 48,467*	G1 x G3 1654,363**	G2 x G3 12532,87**

\*\* 1% e \* 5% de significância, respectivamente.

Ji et al. (2015) destacam que o plantio convencional tem efeitos positivos e negativos na qualidade do solo, apesar de aumentar o rendimento das culturas no curto prazo, a degradação geral dos ecossistemas geralmente tende a limitar a produtividade das culturas a longo prazo.

## 5.6. CONCLUSÕES

1. O manejo SR proporciona melhoria na qualidade do solo na camada mais superficial do solo (0 – 0,05 m) independente da composição das plantas de cobertura utilizada.
2. O corte e deposição da fitomassa aérea das misturas de plantas de cobertura, ou seja, a prática de não revolver (SR), proporciona maior acúmulo de C no solo da entrelinha do pomar de mangueira.
3. As variáveis identificadas como potenciais indicadores para monitoramento da qualidade do solo para os diferentes agroecossistemas multifuncionais frutícolas avaliados, em condições semiáridas, são as características químicas: H+Al, SB CTC, V, teores de C, P, Ca, Mg, K e Na; e as características físicas Mi e Pt.

## 6. REFERÊNCIAS

ARCOVERDE, S. N. S.; SALVIANO, A. M.; OLSZEWSKI, N. MELO, S. B.; CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V.; PEREIRA, J. S. Qualidade física de solos em uso agrícola na região Semiárida do estado da Bahia. **Rev Bras Ciênc Solo**, v. 39, n. 5, p. 1473–1482, 2015.

BARBOSA LFS, CAVALCANTE IHL, LIMA AMN (2016) Desordem fisiológica e produtividade de mangueira cv. Palmer associada à nutrição de boro. **Rev Bras Frutic** 38: 1-9

BRANDÃO SS, GIONGO V, OLSZEWSKI N, SALVIANO AM (2017) Coquetéis vegetais e sistemas de manejo alterando a qualidade do solo e produtividade da mangueira. **Rev Bras Geo Fis** 10: 1079-1089

DONAGEMA GK, CAPOS DVB, CALDERANO SB, TEIXEIRA WG, VIANA JHM (Org). **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011, 230 p.

FREITAS L, CASAGRANDE JC, OLIVEIRA IA, CAMPOS MCC (2014) Análise multivariada na avaliação de atributos de solos com diferentes texturas cultivados com cana-de-açúcar. **Rev Cienc Agrar**, v. 57, n. 3, p. 224-233

FREITAS MSC, SOUTO JS, GONÇALVES M, ALMEIDA LES, SALVIANO AM, GIONGO V (2019) Decomposition and nutrient release of cover crops in mango cultivation in brazilian Semi-arid region. **Rev Bras Cienc Solo** 43: 0170402

GIONGO V, SALVIANO AM, SANTANA MS, COSTA ND, YURI JE (2016) Soil management systems for sustainable melon cropping in the submedian of the São Francisco valley. **Rev Caatinga** 29: 537–547

GONZÁLEZ IA, HONTORIA C, GABRIEL JL, AYUSO MA, QUEMADA M (2018) Cover crops to mitigate soil degradation and enhance soil functionality in irrigated land. **Geoderma** 322: 81 – 88

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

JI Q, WANG Y, CHEN XN, WANG XD (2015) Tillage effects on soil aggregation, organic carbon fractions and grain yield in Eum-Orthic Anthrosol of a winter wheat-maize double-cropping system, Northwest China. **Soil Use Manag** 31: 504–514

PEREIRA FILHO A, TEIXEIRA FILHO J, SALVIANO AM, YURI JE, GIONGO V (2019) Nutrient cycling in multifunctional agroecosystems with the use of plant cocktail as cover crop and green manure in the semi-arid. **Afr J Agric Res** 14: 241-251

PULIDO M, SCHNABEL S, CONTADOR JFL, LOZANO-PARRA J, GÓMEZ-GUTIÉRREZ A (2017) Selecting indicators for assessing soil quality and degradation in rangelands of Extremadura (SW Spain). **Ecological Indicators**, 74: 49-61

SANTOS HG, JACOMINE PKT, ANJOS LHC, OLIVEIRA VA, LUMBRERAS JF, COELHO MR, ALMEIDA JA, ARAUJO FILHO JC, OLIVEIRA JB, CUNHA TJF. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018

SANTOS DC, PILLON CN, FLORES CA, LIMA CLR, CARDOSO EMC, PEREIRA BF, MANGRICH AS (2011) Agregação e frações físicas da matéria orgânica de um argissolo vermelho sob sistemas de uso no bioma Pampa. **Rev Bras Cienc Solo**, 35 (5): 1735–1744

SCHRÖDER JJ, SCHULTE POR, CREAMER RE, DELGADO A, VAN LEEUWEN J, LEHTINEN T, RUTGERS M, SPIEGEL H, STAES J, TÓTH G, WALL DP (2016) The elusive role of soil quality in nutrient cycling: a review. **Soil use and management**, 32 (4): 476 – 486

STEFANOSKI DC, FIGUEIREDO CC, SANTOS GG, MARCHÃO RL (2016) Selecting soil quality indicators for different soil management systems in the Brazilian Cerrado. **Pesq. agropec. Bras**, 51 (9): 1643 – 1651

STOLF R, THURLER AM, BACCHI OOS, REICHARDT K (2011) Method to estimate soil acroporosity and microporosity based on sand content and bulk density. **Rev Bras Cienc Solo** 35: 447 – 459

SILVA MP, ARF O, SÁ ME, ABRANTES FL, BERTI CLF, SOUZA LCD (2017) Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. **Agraria** 12: 60-67

SONG-JUAN G, JU-SHENG G, WEI-DONG C, CHUN-QIN Z, JING H, JIN-SHUN B, FU-GEN D (2018) Effects of long-term green manure application on the content and structure of dissolved organic matter in red paddy soil. **J. Integr Agric** 17: 1852-1860

ZORNOZA R, ACOSTA JA, BASTIDA F, DOMÍNGUEZ SG, TOLEDO DM, FAZ A (2015) Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. **Soil**, 1: 173 – 185

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

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.

O consórcio de plantas de cobertura com 3 espécies leguminosas (Guandu + Milheto + Crotalária + Feijão-de-porco) foi mais eficiente no acúmulo de N, por outro lado, o cultivo solteiro ou consorciado de milho é uma estratégia eficiente para adicionar C ao solo.

Com exceção da vegetação espontânea e do feijão guandu em cultivo solteiro, as demais espécies de plantas de cobertura apresentaram acúmulo de nutrientes em quantidades satisfatórias para atender a demanda do cultivo de mangueira na fase de plantio e de formação.

O manejo SR proporciona melhor qualidade do solo na profundidade inicial (0 – 0,05 m) independente da composição das plantas de cobertura, uma vez que houve incremento nos indicadores avaliados. Além de, proporcionar maior acúmulo de C no solo.

Os indicadores mais eficientes para monitorar a qualidade do solo são: H+Al, Ca, CTC, C, P, Mg, Mi, Pt, K, V, Na e SB.

## ANEXOS

## ANEXO A – Coeficientes de correlação linear simples de Pearson das variáveis utilizadas para caracterização da qualidade dos adubos verdes avaliados no artigo 1

	E	LI	LS	H	FF	FS	C	N	P	K	Ca	Mg	C:P	LT	LT:N	LT:P	C:N	C	N	P	K	Ca	
LI	0,02	1,00																					
LS	0,20	0,08	1,00																				
H	<b>0,63</b>	-0,42	-0,02	1,00																			
FF	-0,43	-0,26	-0,24	0,23	1,00																		
FS	-0,40	-0,26	-0,28	0,30	<b>0,93</b>	1,00																	
C	-0,22	0,22	-0,15	-0,19	0,40	0,23	1,00																
N	0,22	0,03	0,35	-0,17	-0,09	-0,06	0,10	1,00															
P	<b>0,49</b>	0,04	0,24	-0,36	-0,39	<b>-0,46</b>	-0,13	0,13	1,00														
K	<b>0,55</b>	-0,17	0,03	-0,29	-0,23	-0,25	-0,31	0,21	<b>0,68</b>	1,00													
Ca	<b>0,48</b>	0,19	0,06	-0,24	<b>-0,74</b>	<b>-0,70</b>	<b>-0,44</b>	-0,31	0,43	0,22	1,00												
Mg	0,15	-0,26	-0,09	0,05	-0,20	-0,21	<b>-0,47</b>	-0,17	0,33	0,34	<b>0,60</b>	1,00											
C:P	<b>-0,44</b>	-0,03	-0,39	0,30	0,31	0,31	0,24	-0,33	<b>-0,85</b>	<b>-0,62</b>	-0,27	-0,30	1,00										
LT	0,04	0,99*	0,19	-0,41	-0,28	-0,28	0,20	0,06	0,06	-0,16	0,20	-0,27	-0,07	1,00									
LT:N	-0,08	<b>0,73</b>	-0,18	-0,29	-0,14	-0,18	0,14	<b>-0,64</b>	-0,04	-0,29	0,37	-0,12	0,21	<b>0,70</b>	1,00								
LT:P	-0,37	<b>0,51</b>	-0,23	0,01	0,11	0,12	0,28	-0,25	<b>-0,71</b>	<b>-0,61</b>	-0,13	-0,39	<b>0,83</b>	<b>0,48</b>	<b>0,55</b>	1,00							
C:N	-0,27	-0,01	-0,42	0,16	0,15	0,10	0,07	<b>-0,97</b>	-0,20	-0,32	0,22	0,06	<b>0,44</b>	-0,06	<b>0,65</b>	0,33	1,00						
C	-0,40	-0,22	-0,30	0,26	<b>0,94</b>	<b>0,99</b>	0,32	-0,03	<b>-0,45</b>	-0,25	<b>-0,72</b>	-0,24	0,31	-0,25	-0,17	0,14	0,07	1,00					
N	-0,18	-0,22	-0,14	0,12	<b>0,79</b>	<b>0,85</b>	0,24	<b>0,43</b>	-0,28	-0,04	<b>-0,70</b>	-0,18	0,07	-0,23	<b>-0,46</b>	-0,06	-0,39	<b>0,87</b>	1,00				
P	-0,18	-0,23	-0,16	0,12	<b>0,78</b>	<b>0,81</b>	0,21	0,14	0,09	0,11	<b>-0,61</b>	-0,11	-0,24	-0,24	-0,30	-0,34	-0,14	<b>0,82</b>	<b>0,81</b>	1,00			
K	-0,21	-0,28	-0,25	0,19	<b>0,87</b>	<b>0,95</b>	0,17	0,07	-0,29	0,02	<b>-0,71</b>	-0,23	0,12	-0,31	-0,29	-0,06	-0,06	<b>0,95</b>	<b>0,89</b>	<b>0,88</b>	1,00		
Ca	-0,23	-0,10	-0,19	0,26	<b>0,70</b>	<b>0,82</b>	0,05	-0,24	-0,37	-0,36	-0,23	0,09	0,25	-0,12	0,05	0,15	0,23	<b>0,80</b>	<b>0,63</b>	<b>0,62</b>	0,71*	1,00	

Coeficientes de correlação em negrito são significativos ao nível de 5 % de probabilidade







Ca	<b>-0,42</b>	-0,40	<b>1,00</b>																			
CTC	<b>0,76</b>	0,76	<b>0,19</b>	1,00																		
C	<b>-0,37</b>	-0,34	<b>0,75</b>	0,08	<b>1,00</b>																	
Cu	<b>-0,61</b>	-0,59	<b>0,09</b>	-0,61	<b>-0,21</b>	<b>1,00</b>																
CE	<b>-0,67</b>	-0,66	<b>0,31</b>	-0,50	<b>0,02</b>	<b>0,63</b>	<b>1,00</b>															
Dp	<b>-0,06</b>	-0,01	<b>0,19</b>	0,06	<b>0,12</b>	<b>-0,13</b>	<b>-0,13</b>	<b>1,00</b>														
Ds	<b>0,31</b>	0,34	<b>-0,67</b>	-0,03	<b>-0,57</b>	<b>-0,29</b>	<b>-0,25</b>	<b>-0,06</b>	<b>1,00</b>													
Fe	<b>-0,65</b>	-0,65	<b>-0,03</b>	-0,65	<b>0,04</b>	<b>0,44</b>	<b>0,64</b>	<b>-0,23</b>	<b>0,04</b>	1,00												
P	<b>-0,25</b>	-0,14	<b>0,52</b>	0,21	<b>0,49</b>	<b>-0,04</b>	<b>0,12</b>	<b>0,01</b>	<b>-0,22</b>	-0,03	<b>1,00</b>											
Ma	<b>-0,37</b>	-0,32	<b>0,69</b>	0,02	<b>0,57</b>	<b>0,22</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>-0,83</b>	-0,21	<b>0,37</b>	<b>1,00</b>										
Mg	<b>0,21</b>	0,30	<b>0,48</b>	0,68	<b>0,28</b>	<b>-0,32</b>	<b>-0,21</b>	<b>0,05</b>	<b>-0,06</b>	-0,36	<b>0,48</b>	<b>0,13</b>	1,00									
Mn	<b>-0,54</b>	-0,42	<b>0,79</b>	0,04	<b>0,74</b>	<b>0,04</b>	<b>0,32</b>	<b>0,19</b>	<b>-0,38</b>	0,10	<b>0,71</b>	<b>0,55</b>	0,43	<b>1,00</b>								
Mi	<b>0,37</b>	0,26	<b>-0,54</b>	0,02	<b>-0,43</b>	<b>-0,16</b>	<b>-0,16</b>	<b>-0,56</b>	<b>0,46</b>	0,30	<b>-0,49</b>	<b>-0,86</b>	-0,16	<b>-0,62</b>	1,00							
pH	<b>-0,39</b>	-0,28	<b>0,57</b>	0,07	<b>0,44</b>	<b>0,10</b>	<b>0,31</b>	<b>0,11</b>	<b>-0,15</b>	0,02	<b>0,86</b>	<b>0,39</b>	0,34	<b>0,78</b>	-0,60	1,00						
Pt	<b>0,91</b>	0,95	<b>-0,24</b>	0,81	<b>-0,21</b>	<b>-0,57</b>	<b>-0,66</b>	<b>0,03</b>	<b>0,14</b>	-0,72	<b>0,00</b>	<b>-0,15</b>	0,35	<b>-0,33</b>	0,16	-0,17	<b>1,00</b>					
K	<b>0,67</b>	0,74	<b>-0,08</b>	0,79	<b>-0,11</b>	<b>-0,46</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,05</b>	<b>0,07</b>	-0,43	<b>0,24</b>	<b>-0,05</b>	0,41	<b>-0,02</b>	0,01	0,16	<b>0,75</b>	1,00				
V	<b>-0,97</b>	-0,93	<b>0,59</b>	-0,62	<b>0,47</b>	<b>0,57</b>	<b>0,68</b>	<b>0,09</b>	<b>-0,41</b>	0,58	<b>0,34</b>	<b>0,46</b>	-0,04	<b>0,65</b>	-0,43	0,47	<b>-0,87</b>	-0,61	<b>1,00</b>			
Na	<b>-0,45</b>	-0,46	<b>0,62</b>	-0,18	<b>0,35</b>	<b>0,44</b>	<b>0,52</b>	<b>-0,01</b>	<b>-0,78</b>	0,14	<b>-0,04</b>	<b>0,64</b>	-0,11	<b>0,34</b>	-0,37	0,11	<b>-0,37</b>	-0,25	<b>0,52</b>	<b>1,00</b>		
SB	<b>-0,15</b>	-0,10	<b>0,91</b>	0,48	<b>0,66</b>	<b>-0,08</b>	<b>0,13</b>	<b>0,13</b>	<b>-0,52</b>	-0,18	<b>0,64</b>	<b>0,54</b>	0,75	<b>0,75</b>	-0,43	0,60	<b>0,05</b>	0,21	<b>0,35</b>	<b>0,37</b>	<b>1,00</b>	
Zn	<b>-0,68</b>	-0,68	<b>0,71</b>	-0,24	<b>0,61</b>	<b>0,48</b>	<b>0,51</b>	<b>-0,08</b>	<b>-0,62</b>	0,27	<b>0,55</b>	<b>0,61</b>	0,07	<b>0,71</b>	-0,55	0,59	<b>-0,54</b>	-0,26	<b>0,75</b>	<b>0,53</b>	<b>0,55</b>	1,00

Coefficientes de correlação destacados em negrito são significativos ao nível de 5 % de probabilidade