



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA

RAFAEL SANTIAGO DA COSTA

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS, NUTRICIONAIS E PRODUTIVAS EM PLANTAS DE
FEIJÃO-DE-CORDA CULTIVADAS SOB FONTES DE ADUBOS**

FORTALEZA

2020

RAFAEL SANTIAGO DA COSTA

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS, NUTRICIONAIS E PRODUTIVAS EM PLANTAS DE
FEIJÃO-DE-CORDA CULTIVADAS SOB FONTES DE ADUBOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: Fitotecnia - Fisiologia e produtividade de plantas cultivadas.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Rosilene Oliveira Mesquita.

Coorientadora: Dr^a. Marilena de Melo Braga.

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C875r Costa, Rafael Santiago da.
Respostas fisiológicas, nutricionais e produtivas em plantas de feijão-de-corda cultivadas sob fontes de adubos / Rafael Santiago da Costa. – 2020.
74 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2020.

Orientação: Profa. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita .

Coorientação: Profa. Dra. Marilena de Melo Braga .

1. Adubação orgânica. 2. Destinação de resíduos. 3. Nutrição de plantas. 4. Trocas gasosas. I. Título.
CDD 630

RAFAEL SANTIAGO DA COSTA

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS, NUTRICIONAIS E PRODUTIVAS EM PLANTAS DE
FEIJÃO-DE-CORDA CULTIVADAS SOB FONTES DE ADUBOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: Fitotecnia - Fisiologia e produtividade de plantas cultivadas.

Aprovada em: 18/02/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr^a. Rosilene Oliveira Mesquita (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr^a. Marilena de Melo Braga (Coorientadora)
Instituto Federal do Maranhão (IFMA)

Prof. Dr. Márcio Cleber de Medeiros Corrêa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Carlos Alberto Kenji Taniguchi
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)

Aos meus pais e avós pela dedicação, amor e valores repassados.

À toda minha família, amigos e professores, pelo incentivo, carinho e paciência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, pela saúde, pela sabedoria e paciência que me dotastes, pois sem a sua direção e o seu agir eu não teria capacidade para estar aqui.

Aos meus pais, José Dilson e Iris Santiago, que com toda humildade e simplicidade ensinaram-me a ser uma pessoa decente, a respeitar às pessoas e buscar meus sonhos de forma honesta. Agradeço também a minha irmã, Beatriz, e a minha noiva, Deborah, pela paciência, apoio e confiança.

À toda minha família e amigos por todo apoio, amizade, compreensão e paciência nesses anos de caminhada.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, que de alguma forma contribuíram na minha formação, repassando seus conhecimentos, aconselhando e apoiando, especialmente as professoras Rosilene Oliveira Mesquita e Marilena de Melo Braga que me acolheram e orientaram de forma exemplar.

Aos participantes da banca examinadora, professor Márcio Cleber de Medeiros Corrêa e Dr. Carlos Alberto Kenji Taniguchi, os quais tenho enorme admiração profissional, pelas contribuições que colaboraram significativamente na elaboração desse projeto.

A todos amigos e colegas da pós-graduação e aos participantes do grupo de pesquisa GEEPEN (Grupo de Estudos em Ecofisiologia da Produção e Nutrição de Plantas), o qual faço parte, especialmente a Letícia Kenia, Júlia Queiros, Evelice Cardoso, Johny de Souza, Jefte Arnon, Jessica Pontes, Bruna Alves, Mirelysia Meireles, Ana Janaina, Jenyffer da Silva, Beatriz Abreu, Francisco Linco, Analya Roberta, Wendson Moraes e muitos outros, que em todos os momentos possíveis me ajudaram e me deram forças para persistir.

Agradeço imensamente a Embrapa Agroindústria Tropical e ao laboratório de Solos que me permitiu realizar as análises laboratoriais, especialmente ao professor Lindbergue Araujo Crisostomo por acreditar e viabilizar a execução do trabalho, ao Dr. Carlos Alberto Kenji Taniguchi e as laboratoristas, Lilian Chayn e Vanderléia Bezerra pela pronta ajuda.

À Universidade Federal do Ceará por todo apoio e disponibilização do espaço para pesquisa, aos docentes e discentes envolvidos na mesma, por incentivar e repassar seus conhecimentos e ao CNPq pelo financiamento da bolsa de mestrado.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê”

Arthur Schopenhauer.

RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar os aspectos biométricos, fisiológicos, produtivos e o acúmulo de nutrientes na parte aérea do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata*), cultivado sob diferentes adubações. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e o delineamento experimental foi em blocos casualizados, em um arranjo fatorial 4 x 5 + 2, sendo quatro adubos orgânicos (composto de lodo de esgoto, casca de coco verde, bagana de carnaúba e biochar de lodo), cinco doses (100, 200, 300, 400 e 500 g vaso⁻¹), 2 tratamentos adicionais (sem adubação e adubação mineral) e 5 repetições, totalizando 110 plantas. Foram avaliadas as variáveis biométricas: altura, diâmetro do caule, área foliar, massas secas (parte aérea - MSPA e raiz - MSR) e índice relativo de clorofila (IRC); variáveis de trocas gasosas: fotossíntese, condutância estomática, transpiração, eficiência instantânea de carboxilação e eficiência do uso da água; variáveis de produção: comprimento da vagem, número de vagens, peso das vagens, número de sementes por vagem e produção; e acúmulo de nutrientes (macro, micro e metais pesados). As variáveis biométricas foram incrementadas, especialmente, pelos compostos com bagana de carnaúba e coco verde, encontrando as maiores médias para altura (98,75 e 89,98 cm, respectivamente), diâmetro do caule (5,61 e 5,88 mm), área foliar (3867 e 3497 cm²), índice relativo de clorofila (50,32 e 53,84) e massa seca da parte aérea (50,66 e 50,21 g) e a dose mais representativa para esses resultados foi a de 300 g vaso⁻¹, com exceção para o IRC e MSPA em que a dose de 500 g vaso⁻¹ foi a melhor. Em relação as variáveis fisiológicas, os compostos com bagana e coco foram superiores em relação aos demais tratamentos e de modo geral, ao longo do ciclo da cultura, as trocas gasosas foram diminuindo. Vale ressaltar que tanto nos aspectos biométricos quanto nas trocas gasosas o tratamento com biocarvão provocou redução na maioria das variáveis avaliadas. Os aspectos produtivos foram incrementados em cerca de 60%, especialmente, pelos tratamentos com lodo de esgoto, composto de casca de coco e bagana quando comparados com o sem adubação. A ordem do acúmulo de nutrientes na parte aérea foi Ca>N>K>Mg>S>P para macronutrientes e Fe>Mn>B>Zn>Cu para micronutrientes. Os compostos com bagana de carnaúba e coco verde promoveram resultados satisfatórios para o crescimento, fisiologia, nutrição e produção na cultura do feijão-de-corda, sendo, portanto, alternativas viáveis para substituição ou complementação à adubação química e a dose indicada é a de 300 g vaso⁻¹.

Palavras-Chave: Adubação orgânica. Destinação de resíduos. Nutrição de plantas. Trocas gasosas.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the biometric, physiological, productive aspects and the nutrients accumulation in cowpea shoot (*Vigna unguiculata*), grown under different fertilization. The experiment was carried out in a greenhouse, it was arranged in a randomized block design, in a factorial scheme (4 x 5 + 2), and consisted of four organic fertilizers: (composed of sewage sludge, green coconut shell, carnauba straw and sewage sludge biochar), at 100, 200, 300, 400 and 500 g vase⁻¹, and two additional control treatments (without fertilization and with chemical fertilization), with five replications, totalizing 110 plants. We evaluated biometric variables: height, stem diameter, leaf area, dry mass (shoot: SDM and root dry mass: RDM), and relative chlorophyll index (RCI); gas exchange variables: photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration, instantaneous carboxylation efficiency and water use efficiency; production variables: pod length, number of pod, pod weight, seed number per pod and production; and nutrients accumulation (macronutrients, micronutrients and heavy metals). Biometric variables were increased, mainly by carnauba straw and green coconut shell, it was found that the highest values obtained for these treatments were, respectively, for height (98.75 and 89.98 cm); stem diameter (5.61 and 5.88 mm); leaf area (3867 and 3497 cm²); relative chlorophyll index (50.32 and 53.84) and shoot dry mass (50.66 and 50.21 g) as well the most representative dose for these results was 300 g vase⁻¹, except to RCI and SDM which 500 g vase⁻¹ were the best dose. In relation to physiological variables, carnauba straw and green coconut shell were higher than the other ones, including the chemical treatment, which presented during the crop cycle, decreases in the gas exchanges. It is noteworthy that both in the biometric aspects and in the gas exchanges the treatment with biochar caused reduction in most of the variables evaluated. The productive aspects were increased by about 60%, mainly for the treatment with sewage sludge, green coconut shell and carnauba straw when compared with the one without fertilization. The order of nutrient accumulation in the shoot was Ca>N>K>Mg>S>P for macronutrients and Fe>Mn>B>Zn>Cu for micronutrients. Compounds from carnauba straw and coconut green promoted satisfactory results for growth, physiology, nutrition and production in cowpea culture, and are therefore viable alternatives that could substitute or complement chemical fertilization, when 300 g vase⁻¹ of these treatments were used.

Keywords: Organic fertilization. Waste destination. Plant nutrition. Gas exchange.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	HIPÓTESE	12
3	OBJETIVOS	12
3.1	Geral.....	12
3.2	Específicos.....	12
4	REVISÃO DE LITERATURA	13
4.1	Aspectos gerais do feijão-de-corda.....	13
4.2	Adubos orgânicos.....	14
4.2.1	<i>Compostos orgânicos: efeitos no solo</i>	14
4.2.2	<i>Lodo de esgoto e Biocarvão: efeitos no solo</i>	16
4.3	Respostas do feijão-de-corda à adubação orgânica.....	18
5	MATERIAL E MÉTODOS	20
5.1	Local do experimento.....	20
5.2	Material vegetal utilizado.....	20
5.3	Delineamento experimental e tratamentos.....	20
5.4	Irrigação e tratos culturais.....	21
5.5	Adubações.....	21
5.6	Variáveis avaliadas.....	24
5.6.1	<i>Variáveis biométricas</i>	24
5.6.2	<i>Variáveis de trocas gasosas</i>	25
5.6.3	<i>Acúmulo de nutrientes na parte aérea</i>	26
5.6.4	<i>Variáveis de produção</i>	26
5.7	Análises estatísticas.....	27
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
6.1	Variáveis biométricas.....	28
6.2	Variáveis de trocas gasosas.....	35
6.3	Variáveis nutricionais.....	48
6.3.1	<i>Macronutrientes</i>	48
6.3.2	<i>Micronutrientes e alumínio</i>	53
6.3.3	<i>Metais pesados e selênio</i>	59
6.4	Variáveis produtivas.....	61
7	CONCLUSÕES	64

1 INTRODUÇÃO

A adubação é um fator determinante no processo produtivo, porém, essa prática representa um percentual significativo dos custos de produção. Além do custo financeiro, o uso excessivo e indiscriminado de fertilizantes químicos pode causar problemas ambientais, tais como contaminação dos recursos hídricos, salinização do solo, impactos na fauna e flora, além das possíveis contaminações que os produtos agrícolas podem apresentar, devido ao uso em quantidades elevadas desses agroquímicos.

Paralelo a isso, a vida moderna tem gerado cada vez mais resíduos urbanos e agroindustriais, os quais, eventualmente, podem ser tratados e passados por processo de compostagem para utilização agrícola, como adubos orgânicos. Dessa forma, a prática da compostagem e da reutilização de compostos pode trazer uma destinação correta aos resíduos, e ao mesmo tempo, melhorias na fertilidade do solo e conseqüentemente na produtividade das culturas.

Dentre as principais espécies vegetais cultivadas, destaca-se o feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L.) por ser uma cultura de ciclo rápido, possuir em sua constituição aminoácidos, tiamina, niacina, fibras dietéticas, sendo uma das leguminosas mais consumidas no mundo (FONSECA et al., 2010). Além de sua importância econômica, o cultivo do feijão gera emprego, representando para inúmeras famílias a principal fonte de renda. Então, a utilização de compostos provenientes de resíduos agroindustriais e urbanos seria uma alternativa viável para reduzir os custos com fertilizantes químicos e promover maior segurança e sustentabilidade ambiental para essa atividade agrícola.

Os materiais orgânicos mais comumente utilizados pelos agricultores são os compostos orgânicos, que são adubos com liberação relativamente lenta, provenientes do processo de compostagem, que podem promover melhorias nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, além de auxiliar na reciclagem de nutrientes (FERREIRA et al., 2013a; OLIVEIRA et al., 2016). Dentre os resíduos agroindústrias, podemos citar a bagana de carnaúba e a casca de coco verde como passivos ambientais com grande utilidade e boas características físicas e químicas, que podem ser utilizadas como matérias primas para a compostagem.

Outro resíduo que vem sendo bastante estudado para aplicação na agricultura, devido à expansão do saneamento básico e a busca por uma destinação adequada, é o lodo de esgoto, resíduo semissólido, rico em alguns macro e micronutrientes (PEREIRA et al., 2015; BITTENCOURT et al., 2017). Antes de ser utilizado em qualquer atividade agrícola, para

reduzir ou eliminar patógenos e o potencial de putrefação, o lodo de esgoto deve ser tratado e estabilizado, sendo a compostagem e a pirólise desse resíduo (para a produção de biocarvão), algumas formas de tratamento (CAMARGO et al., 2010).

O biocarvão, também conhecido como biochar, apresenta propriedades que podem alterar as características químicas, físicas (estrutura, porosidade e densidade) e biológicas do solo. Quando aplicado em doses adequadas, auxilia no crescimento e pleno desenvolvimento das plantas, contribuindo ainda para reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE) e aumentar a absorção de água e o sequestro de carbono no solo (DOWNIE et al., 2009; PETTER; MADARI, 2012).

Mesmo diante da importância do feijão-de-corda e das problemáticas causadas pela aplicação em excesso de fertilizantes químicos, estudos que relacionem o efeito de adubos orgânicos nas respostas fisiológicas, nutricionais e produtivas dessa cultura, ainda são necessários. Neste contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes compostos orgânicos originários da mistura de resíduos agroindustriais e urbanos, bem como suas doses no crescimento, fisiologia, nutrição e produção do feijão-de-corda.

2 HIPÓTESE

Os adubos orgânicos promovem melhorias nas propriedades químicas no solo, de forma a permitir melhor desempenho fisiológico, nutricional e produtivo das plantas de feijão-de-corda.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

- Avaliar o efeito de diferentes compostos orgânicos originários da mistura de resíduos agroindustriais e urbanos, bem como suas doses no crescimento, fisiologia, nutrição e produção do feijão-de-corda.

3.2 Específicos

- Avaliar as respostas fisiológicas nos diferentes estádios fenológicos da cultura;
- Verificar se os adubos orgânicos superam, se igualam ou são inferiores à adubação química;
- Determinar o acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas de feijão-de-corda;
- Averiguar se a aplicação dos adubos promove alterações químicas ao solo;
- Determinar qual o adubo e dose indicados para o cultivo de feijão-de-corda.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Aspectos gerais do feijão-de-corda

O feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), também conhecido como feijão-caupi, é uma leguminosa anual pertencente à família Fabaceae, originária do continente africano, possui fácil manejo e é bem adaptada às diversas condições edafoclimáticas (LIMA et al., 2007; SILVA et al., 2016). É uma espécie dicotiledônea, herbácea, apresenta sistema radicular que pode chegar até dois metros de profundidade (o que confere adaptabilidade à cultura), folhas compostas, que geralmente apresentam três folíolos, e produz frutos do tipo vagem (ROCHA, 2009).

A quantidade de luz influencia no crescimento e na produtividade da cultura, além de alterar a quantidade de pigmentos foliares e causar modificações nas características anatômicas, fisiológicas, morfológicas e bioquímicas das plantas (BRANT et al., 2009; SANTOS et al., 2011). Elevadas temperaturas podem prejudicar também o pleno desenvolvimento da cultura, influenciando no abortamento de flores, no vingamento e na retenção final de vagem, sendo uma faixa ideal de temperatura entre 18 a 34 °C (CARDOSO, 2000; CRAUFURD et al., 1996).

Em relação à atividade fotossintética, o feijão-de-corda é classificado como uma planta do tipo C3, ou seja, possui apenas o mecanismo de carboxilação chamado de processo redutivo da pentose fosfato (ciclo de Calvin). Por meio desse mecanismo, a planta de feijão-de-corda fixa o CO₂ atmosférico metabolizando-o em compostos orgânicos que vão compor a estrutura da planta, formada em mais de 90% por compostos de carbono e em menos de 10% por elementos minerais (CARDOSO, 2000).

A cultura apresenta grande importância socioeconômica, sendo uma das leguminosas mais cultivadas no mundo e a mais cultivada na região semiárida brasileira, por ser rica em proteínas, carboidratos, vitaminas e minerais (FONSECA et al., 2010; PÚBLIO JÚNIOR et al., 2017). No cenário mundial, os maiores produtores de feijão, incluindo o feijão-de-corda, em ordem decrescente, são Myanmar, Índia, Brasil, Estados Unidos, México e Tanzânia, responsáveis por 56,99% do total produzido no mundo (FAOSTAT, 2017).

No Brasil, seu cultivo chega a aproximadamente um milhão de hectares, com produção média anual de 3,5 milhões de toneladas, sendo as regiões Norte e Nordeste as responsáveis por cerca de 90% da área cultivada total (CONAB, 2016; SANTOS et al., 2017). Apesar de toda sua importância, o feijão-de-corda apresenta baixa produtividade nessas regiões, que está associada, especialmente, ao plantio de cultivares tradicionais (com pouca

capacidade produtiva), baixa fertilidade dos solos e escassez de água (AQUINO; NUNES, 1983; TEIXEIRA FILHO et al., 2015).

Outro fator limitante na produtividade do feijão-de-corda é o manejo de adubação empregado, pois a cultura é altamente responsiva à adubação (PEREZ et al., 2013). Para que a expressão do potencial produtivo seja atingida, é necessário satisfazer às exigências nutricionais da planta, sendo o nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (P) os nutrientes exigidos em maiores quantidades pelo feijão, seguidos pelo enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), além dos micronutrientes, zinco (Zn), boro (B), cobre (Cu), manganês (Mn), ferro (Fe) e molibdênio (Mo), que são exigidos em menores concentrações (ANDRADE, 2017).

Atualmente, os gastos com a adubação química na cultura do feijão-de-corda, representam um percentual significativo nos custos de produção, o que encarece o processo produtivo e faz com que produtores procurem alternativas visando reduzir sua utilização e, conseqüentemente, o investimento com esses insumos (COSTA et al., 2017; DOURADO NETO et al., 2012). Dentre essas alternativas, pode-se destacar a utilização de compostos orgânicos e de biocarvão como excelentes fontes de nutrientes, favorecendo o pleno desenvolvimento das plantas (GODOY, 2013; KLEIN; AGNE, 2012).

4.2 Adubos orgânicos

4.2.1 Compostos orgânicos: efeitos no solo

O homem, desde os primórdios, utiliza o solo para obtenção de alimentos e isso tem uma íntima relação com o surgimento de civilizações e povos ao longo de nossa jornada na Terra (PÉREZ et al., 2016). O solo é um recurso essencial para vida, uma vez que contribui para o desenvolvimento vegetal, sendo fonte de nutrientes e participando do fluxo de água no ambiente, além de funcionar como um tampão ambiental, na formação, atenuação e degradação de compostos naturais (BARROS, 2013).

O conhecimento sobre a relevância, dinâmica e a qualidade do solo é de suma importância na implantação de manejos sustentáveis. Nesse sentido, a matéria orgânica do solo é um atributo decisivo na definição da qualidade do solo, pois além de ser fonte de nutrientes, apresenta cargas de superfície que contribuem para o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo e, devido a sua alta reatividade, regula a disponibilidade de vários nutrientes, bem como a atividade de elementos potencialmente fitotóxicos como Al^{3+} e Mn^{2+} , em solos ácidos, e metais pesados (BARROS, 2013; ZANDONADI et al., 2014).

Uma alternativa para aumentar o percentual de matéria orgânica no solo, podendo ainda melhorar alguns de seus atributos, é a utilização de compostos orgânicos. Os mesmos são obtidos através da compostagem, que consiste em uma técnica de aproveitamento e estabilização dos resíduos (sejam eles de origem agrícola, industrial ou urbana), através de um processo aeróbio ou anaeróbio, desenvolvido por uma população diversificada de microrganismos (BELTRÃO JÚNIOR et al., 2012; PEREIRA NETO, 1987).

Segundo Carmo et al. (2019), esses compostos podem ser obtidos através de uma grande variedade de matérias-primas, sendo exemplos, os resíduos vegetais, esterco, lodo de esgoto e os subprodutos industriais e agroindustriais, como bagana de carnaúba e a casca de coco verde. A bagana de carnaúba é o resíduo agroindustrial da palha da palmeira *Copernicia prunifera*, sendo gerada após extração da cera de suas folhas, conforme descrito em Ferreira (2013b). É um resíduo abundante em propriedades rurais e geralmente é tida como um material indesejável na propriedade, onde frequentemente é queimada em entulhos visando a limpeza da área, o que gera impacto negativo ao meio ambiente (GONÇALVES et al., 2019).

Atualmente, sua utilização vem se destacando como composto e substrato para a produção de mudas, pela disponibilização de nutrientes e características físicas positivas. Nesse sentido, autores relatam aumento da fertilidade do solo e melhoria das características físicas (retenção de umidade, maior porosidade e maior aeração) através da utilização da bagana de carnaúba, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular e, logo, o crescimento das plantas (ARAÚJO et al., 2017). Pinho et al. (2016), trabalhando com diferentes compostos, verificaram que os compostos a base de bagana de carnaúba foram os que mais favoreceram o desenvolvimento das mudas de tomateiro.

Outro material que vem ganhando notoriedade por ser um passivo ambiental com boas características para utilização como composto orgânico é a casca de coco verde (*Cocos nucifera*). Após consumo, as cascas são descartadas como lixo nas cidades, gerando volumes significativos e crescentes de material inapropriado, além de provocar prejuízos ao meio ambiente e a saúde pública, de forma que estudos e pesquisas vêm buscando alternativas para o emprego desse passivo (SILVA; JERÔNIMO, 2012).

Vale ressaltar que a casca do coco verde ainda não é amplamente aproveitada, sendo o setor agrícola o principal consumidor dessa matéria prima para a produção de substratos e compostos orgânicos (SENHORAS, 2003). Porém, as boas características agronômicas do substrato a base de coco verde já foram atestadas no cultivo de mudas de cajueiro e pimentão (CORREIA et al., 2003; SALGADO et al., 2006), em que os autores

verificaram que o produto à base de casca de coco verde influenciou de forma positiva no desenvolvimento das plantas, em função da liberação de nutrientes.

Devido a variação de matérias primas, cada composto orgânico apresenta características químicas distintas e isso reflete diretamente na sua resposta no solo. Nessa perspectiva, alguns autores relatam alterações dos atributos químicos do solo com a aplicação de compostos orgânicos, sendo que os principais atributos afetados são: teores de P, matéria orgânica (MO), teores de K, Na, Ca e Mg trocáveis, além da acidez potencial ($Al^{3+} + H^+$), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%) e pH do solo (PIMENTEL et al., 2009; MONTEMURRO et al., 2010; CARDOSO et al., 2011). Todas essas características refletem no desenvolvimento e nas respostas das plantas em campo, podendo ser positivas ou negativas (MARSCHNER, 2012).

No que diz respeito às características físicas do solo, Soares et al. (2016) afirmam que as mesmas podem ser alteradas em função do manejo a que estão submetidas, sendo a aplicação de compostos um exemplo. A adição de compostos orgânicos pode reduzir a densidade do solo, elevar o volume de poros, favorecendo a infiltração e a aeração (JORDAN et al., 2010; CUNHA et al., 2011). Essas alterações podem ser observadas tanto a curto período de tempo, com apenas uma simples prática de preparo, quanto a longos períodos de tempo, sendo apenas visíveis ou mensuráveis com o uso contínuo de práticas conservacionistas que promovam melhorias das condições do solo (OLIVEIRA et al., 2014).

Em relação aos efeitos dos compostos orgânicos nos atributos biológicos do solo, vale ressaltar que os mesmos são influenciados por diversos fatores, como grau de estabilização do carbono orgânico, histórico de manejo, teor de matéria orgânica e aplicação de compostos no solo (LEITE et al., 2010). A aplicação desses compostos pode aumentar o acúmulo de carbono orgânico total, particularmente nas camadas superiores do solo, podendo isso provocar alterações nas propriedades microbiológicas do mesmo, favorecendo o desenvolvimento das plantas (COUTO et al., 2013; GUARDINI et al., 2012).

4.2.2 Lodo de esgoto e Biocarvão: efeitos no solo

Em consequência da urbanização e do avanço no saneamento básico no mundo, está ocorrendo grande elevação na quantidade de lodo de esgoto gerado pela população (RICCI et al., 2010). O lodo de esgoto é um resíduo produzido nos processos de tratamento de águas residuárias e sua disposição, de forma inadequada, é um problema em todo o mundo (ESCUDEY et al., 2011). Com isso, novas alternativas visando sua utilização, a fim de reduzir os possíveis impactos ambientais devem ser estudadas.

Uma das alternativas que vem sendo amplamente divulgada é a sua utilização na agricultura, porém, deve-se atender a legislação criada para essa finalidade, com o intuito de garantir que o resíduo não venha a causar danos ambientais ou a saúde (CONAMA, 2006). Nos artigos dessa lei também ficam definidas as possíveis fontes para a obtenção desse lodo, proibindo algumas origens, devido a suas características consideradas impróprias, como por exemplo de esgotos hospitalares e industriais, além de estabelecer a frequência de monitoramento, as condições de manuseio, transporte e aplicação do material nos cultivos.

Nesse sentido, Camargo et al. (2010) afirmam que o lodo de esgoto precisa ser tratado antes de ser utilizado em qualquer atividade agrícola com o objetivo de reduzir ou eliminar patógenos. Dentre os processos de estabilização desse semissólido, a compostagem, a incineração e a pirólise para produção de biocarvão mostram-se como alternativas viáveis, uma vez que submetidos à elevadas temperaturas, os microrganismos patogênicos são mortos, além de reduzir significativamente o volume do resíduo (HECK et al., 2013; LOPES, 2013).

Biocarvão, também conhecido internacionalmente como biochar, é um produto obtido a partir da pirólise da biomassa utilizando processo de decomposição térmica entre 300 e 800 °C, na ausência total ou parcial de oxigênio, obtendo três produtos: carvão vegetal (combustível sólido ou biocarvão), bio-óleo (combustível líquido) e gás combustível contendo CO, CO₂, H₂, CH₄, C₂H₄, C₂H₆ e outros hidrocarbonetos (NÓBREGA, 2011; LEHMANN; JOSEPH, 2015). As características do produto final dependem da matéria prima usada, do tempo e da temperatura empregada, bem como do método de processamento ao qual foi submetida a biomassa inicial (BRICK; LYUTSE, 2010; GHANI et al., 2013).

O biocarvão obtido através da pirólise do lodo de esgoto é rico em carbono, nitrogênio, fósforo, magnésio, cobre, ferro e zinco, podendo ser utilizado como uma excelente fonte de nutrientes para as culturas agrícolas (HOSSAIN et al., 2011). Além disso, pode contribuir para melhorias físicas e biológicas do solo, auxiliando na retenção de água, estruturação e servindo de habitat para microrganismos benéficos, o que favorece o desenvolvimento vegetal (DEVI; SAROHA, 2013).

Nessa perspectiva, Lopes (2013) verificou que a aplicação do biocarvão de lodo de esgoto promoveu enriquecimento relativo de macro e micronutrientes, área superficial e volume de poros do solo. Em complemento, Vendruscolo et al. (2016), ao avaliarem os atributos químicos de um solo degradado em função da adição de lodo de esgoto e de biocarvão, verificaram que as características químicas foram influenciadas positivamente em longo prazo com a introdução de lodo de esgoto e, em curto prazo, com a incorporação do biochar, aumentando a disponibilidade de nutrientes como o fósforo e o potássio.

No que diz respeito aos efeitos do biocarvão nas características físicas do solo, devido à sua porosidade e, conseqüentemente, sua alta superfície específica, a aplicação do mesmo pode aumentar significativamente a capacidade de retenção de água, melhorar a densidade do solo, elevando o volume de poros, além de favorecer a sua aeração (ATKINSON et al., 2010; BEESLEY et al., 2011). Nesse sentido, Carvalho et al. (2014), ao avaliarem a aplicação de biocarvão em um Plintossolo Háplico de textura arenosa, verificaram aumento na capacidade de retenção de água no solo, com aumento de 0,8 a 1% na água disponível para as plantas a cada mg ha⁻¹ de biocarvão aplicado.

Todas essas alterações nas características físicas podem levar a mudanças em outras propriedades do solo, principalmente químicas e biológicas, em função do surgimento de sítios quimicamente reativos e habitats de proteção para microrganismos do solo (BRADY; WEIL, 2008). Vale ressaltar, ainda, que esses atributos influenciam diretamente no desenvolvimento das plantas em campo, uma vez que permitem melhores condições de plantio (RIZHIYA et al., 2015).

4.3 Respostas do feijão-de-corda à adubação orgânica

A adubação é um dos fatores que mais influenciam no desenvolvimento, nas trocas gasosas e na produtividade do feijão-de-corda, uma vez que essa cultura apresenta certa exigência no que diz respeito ao fornecimento de nutrientes (PEREZ et al., 2013; SOUSA et al., 2013). Sendo assim, é fundamental o entendimento da dinâmica de liberação dos nutrientes no solo, oriundos de adubos orgânicos, para o estabelecimento de práticas de manejo que permitam melhorar a eficiência dos mesmos, como fonte de nutrientes às culturas, de forma a permitir melhor desempenho nutricional, fisiológico e produtivo das plantas de feijão-de-corda (LOURENÇO et al., 2013).

No que se refere aos aspectos biométricos, Pereira et al. (2013) ao avaliarem o crescimento do feijão-de-corda submetido à adubação orgânica, verificaram que as plantas, quando cultivadas com adubos orgânicos, apresentaram maior diâmetro do caule, ramo principal, área foliar e índice de área foliar em relação às plantas cultivadas sem adubação. Nesse mesmo sentido, Malta et al. (2017) verificaram que a aplicação de esterco bovino influenciou positivamente na altura, no diâmetro do caule, no comprimento e na largura das folhas, bem como na matéria fresca e seca do feijoeiro.

Em relação aos aspectos fisiológicos, sabe-se que o pleno desenvolvimento e o desempenho fisiológico das plantas dependem, especialmente, da disponibilidade e da absorção de nutrientes, bem como dos fatores climáticos (tais como temperatura, umidade e

luminosidade), podendo ainda ser afetados por alguns estresses, como hídrico e salino (TAIZ et al., 2017). Vale ressaltar que os insumos orgânicos estimulam a redução do potencial osmótico no interior do sistema radicular, contribuindo para a absorção de água e ajustamento osmótico, o que reflete positivamente nas trocas gasosas das plantas (LACERDA et al., 2010; FREIRE et al., 2015).

No que diz respeito à nutrição mineral, ainda são necessários trabalhos que façam correlação dos teores de nutrientes com o fornecimento de adubos orgânicos. Em contribuição, Flyman e Afolayan (2008) verificaram que os teores foliares, tanto de macro como de micronutrientes, em plantas de feijão-de-corda, variaram de acordo com o estágio fenológico, estando essa variação diretamente relacionada com a disponibilidade e demanda de nutrientes nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura.

Em complemento, Magalhães et al. (2017) analisando a produtividade e exportação de nutrientes em feijoeiro adubado com esterco de galinha, verificaram que a adubação do solo com esterco de galinha melhora o estado nutricional das plantas e as quantidades de macronutrientes (kg ha^{-1}) exportadas pelas vagens, em ordem decrescente, foram: N (49,7) > K (18,7) > P (6,2) > Mg (4,3) > Ca (4,2) > S (2,9), considerando uma produtividade de vagens de $16,3 \text{ t ha}^{-1}$ e adubação com 40 t ha^{-1} de esterco de galinha.

Por sua vez, Guareschi et al. (2013), ao analisarem a adubação com cama de frango e esterco bovino em feijão azuki, verificaram que esses adubos proporcionaram produtividade de grãos semelhante à adubação química, sem afetar o desenvolvimento da planta e reduzindo os custos de produção. Nesse mesmo sentido, Teixeira Filho et al. (2015) trabalhando com feijão-de-corda cultivado em sistema convencional e orgânico, verificaram que as melhores produtividades foram obtidas em sistema orgânico.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação coberta com plástico de 200 micras UV do Departamento de Fitotecnia, localizada no Campus do Pici, pertencente à Universidade Federal do Ceará (UFC), situada em Fortaleza – CE, com latitude de 3°43'02" S, longitude de 38° 32'35" W e altitude de 12 m do nível do mar (Figura 1).



Figura 1 - Casa de vegetação onde o experimento foi realizado, Campus do Pici – UFC.

5.2 Material vegetal utilizado

Foram utilizadas sementes de feijão-de-corda, cultivar BRS-Pujante, fornecidas pelo Banco Ativo de Germoplasma do feijão Caupi da Universidade Federal do Ceará (UFC) e semeadas em vasos plásticos com capacidade para 12 dm³, contendo solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (LIMA et al., 2002) coletado no Campo Experimental de Pacajus, pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

5.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em um arranjo fatorial 4 x 5 + 2, sendo quatro adubos orgânicos (compostagem de lodo de esgoto, coco verde triturado, bagana de carnaúba e biochar de lodo de esgoto), cinco doses (100, 200, 300, 400 e 500 g vaso⁻¹), 2 tratamentos adicionais (sem adubação e com adubação química) e 5 repetições, totalizando 110 unidades experimentais (Figura 2).



Figura 2 - Distribuição das unidades experimentais de forma aleatória.

5.4 Irrigação e tratos culturais

A irrigação foi determinada pelo método gravimétrico (Figura 3), que consiste no uso da fórmula proposta por Klar et al. (1966), mantendo a cultura a 80% da capacidade de retenção de água (CRA), sendo obtida pela diferença entre: peso do solo na capacidade de campo - peso do solo seco naturalmente. O percentual de perda de massa representa a quantidade de água que se encontrava retida no solo. No decorrer do ciclo de cultivo foram efetuados também os tratos culturais necessários para a adequada condução da cultura, tais como tutoramento e eliminação de plantas infestantes.



Figura 3 - Pesagem dos vasos antes da irrigação para determinação da água aplicada.

5.5 Adubações

A adubação química utilizada no tratamento adicional foi aplicada antes da coleta do solo, segundo a metodologia de Faquin et al. (2008), baseado em estudos anteriores em vasos com solo. Em relação as três compostagens que foram utilizadas no experimento, as mesmas foram obtidas por ação de microrganismos aeróbicos, provenientes dos materiais:

lodo de esgoto, coco verde e bagana de carnaúba, ambas foram individualmente misturadas com esterco de galinhas poedeiras, na proporção de 3/1 (v/v) + gesso, dispostos sob camadas em leiras com 2,5 m de comprimento, 2 m de largura e 1 m de altura. As leiras foram reviradas semanalmente com o objetivo de auxiliar na aeração, irrigação e oxigenação e, conseqüentemente, no processo de decomposição do material pelos microrganismos.

Após um período de sete meses, os compostos foram triturados, peneirados em malha de 5 mm, colocados para secar por 48 horas em estufa com circulação de ar forçado a 45 °C; posteriormente, foram pesados de acordo com os tratamentos: 100, 200, 300, 400 e 500 g e misturados ao solo (13 kg vaso⁻¹) + 1,25 g de calcário por vaso com auxílio de uma betoneira, por um período de 10 minutos.

Em relação ao biochar de lodo de esgoto, o mesmo foi obtido através do processo de pirólise conduzido em forno caseiro com uma taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹, a uma temperatura final de carbonização entre 400 e 500 °C e ausência de oxigênio. Em seguida, o biochar foi triturado, peneirado em malha de 2 mm e pesado de acordo com os tratamentos: 100, 200, 300, 400 e 500 g e misturados ao solo (13 kg vaso⁻¹) + 1,25 g de calcário por vaso com auxílio de uma betoneira, por um período de 10 minutos.

O lodo de esgoto utilizado no experimento, tanto para a fabricação do composto orgânico quanto para o biochar, foi fornecido na forma seca pela estação de tratamento de esgoto (ETE) de Fortaleza. Já a casca de coco verde foi fornecida pela Paraipaba Agroindústria e a bagana de carnaúba fornecida pela empresa Tijuca Alimentos LTDA.

Antes e após o período de incubação (30 dias) e aplicação dos tratamentos, foram coletadas amostras do solo com auxílio de um trado, à profundidade de 20 cm, e após secagem natural foram determinados os teores dos elementos minerais disponíveis no mesmo, conforme descrito no manual de análises químicas de solos da Embrapa (2009). As propriedades químicas do solo antes e após a aplicação dos tratamentos encontram-se na Tabela 1 e 2:

Tabela 1 - Características químicas do solo antes da aplicação dos adubos.

MO	P	K	Mg	Ca	Na	H+Al	SB	CTC	V	PST	pH	CE
(g/dm ³)	(mg/dm ³)	.....	(mmolc/dm ³)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	(%)	.....	(dS/m)
3,6	3	0,37	3,6	5,4	0,18	8	7,6	12,6	60	1	6,4	1,11

Fonte: Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais (LABSAT) do IFCE – Campus Limoeiro do Norte (2018).

Tabela 2 - Propriedades químicas do solo após a aplicação dos tratamentos.

Trat	Dose	MO	P	Zn	Mn	Fe	Cu	K	Mg	Ca	Na	H+Al	pH	SB	CTC	V	CE
	(g vaso ⁻¹)	(g/dm ³)	.....	(mg/dm ³)	.....	.....	.....	.....	(mmolc/dm ³)	.....	.....	-	(mmolc/dm ³)	(%)	(mS/cm)		
S + BA	100	5,4	79	2,4	3,7	10	0,2	0,7	4	30,8	1,8	3,3	6,7	37,1	40,4	92	2,85
	200	5,8	186	3,9	6,6	12	0,2	0,8	5,3	47,5	1,6	4,1	6,9	55,2	59,3	93	3,16
	300	5,9	265	6,3	9,2	13	0,3	0,9	7	66,9	1,2	2,3	6,9	75,9	78,2	97	3,54
	400	6,7	302	7,2	11,1	15	0,35	1,0	7,8	73,6	1,1	0	7,3	83,3	83,3	100	3,36
	500	7	308	8,3	13,6	16	0,35	1,3	9,7	91,1	0,7	0	7,3	102,4	102,4	100	3,51
S + CC	100	4,8	92	2,6	5,1	9	0,25	0,5	4,9	33,4	1	0	7,2	39,7	39,7	100	2,79
	200	5,1	236	4,6	6,7	11	0,35	0,7	6,2	49,2	1,1	0	7,3	57,1	57,1	100	2,91
	300	6,4	276	7,1	10,6	13	0,35	0,8	7,7	64,6	1,1	0	7,3	73,9	73,9	100	3,23
	400	6,6	304	8	12,6	14	0,35	1,0	8,1	69,4	1,2	0	7,4	79,3	79,3	100	3,29
	500	6,8	281	9,6	12,9	14	0,35	1,2	10	81,1	1,2	0	7,4	92,8	92,8	100	3,3
S + LE	100	5,7	64	15,9	5,4	27	4,65	0,7	4	19,1	0,6	6,1	6,3	24,3	30,4	80	2,21
	200	6,4	151	27	7,4	42	9,25	1	4,2	29,1	0,9	5,3	6,3	35	40,3	83	2,69
	300	6,6	193	38,8	9,5	46	12,7	1,2	4,9	35	1,7	8,7	6,2	42,6	51,4	86	3,06
	400	7,5	243	50,8	12	59	17,5	1,2	4,8	36,9	2	6,4	6,3	44,9	51,6	87	3,14
	500	10,3	303	59,8	15,5	70	21,7	1,5	6	47,6	2,5	9,1	6,4	56,5	65,6	87	3,5
S + B	100	6	57	21,6	4,5	49	3,95	0,5	5,6	12,3	1,4	0	7	19,8	19,8	100	2,61
	200	6,5	104	41	8	88	8,05	0,6	7,8	18,2	1,8	5	6,9	28,5	33,4	85	3,26
	300	9,5	160	58	11,3	129	12,55	0,7	10,2	24,5	2,1	5,6	6,8	37,6	43,3	87	4,13
	400	10,7	208	71,1	14,4	154	15,25	0,7	11,6	30	2,3	3,3	6,8	45	48,3	93	4,56
	500	10,9	245	77,5	15,6	157	16,5	0,7	12,1	30,7	2,4	4,8	6,9	44,4	49,2	95	4,69
Q	-	4,5	154	1,9	6,5	21	0,85	1,9	5,6	13,4	0,4	15	5,5	21,4	36,4	59	3,31
SA	-	3,4	5	0,5	2,6	5	1	0,3	3,3	6,4	0	9,8	6,4	9,9	19,8	50	1,12

Tratamentos: S + BA (solo + composto de bagana de carnaúba), S + CC (solo + composto com coco triturado), S + LE (solo + composto de lodo de esgoto), S + C (solo + biocarvão de lodo), Q (químico) e SA (sem adubação).

5.6 Variáveis Avaliadas

5.6.1 Variáveis biométricas

Aos 35 dias após a semeadura (DAS) foram mensurados a altura da planta (AP), utilizando uma régua graduada e medindo-se a partir do colo até a última inserção foliar (Figura 4A), e o diâmetro do caule (DC) medido a 3 cm do colo da planta por meio de um paquímetro digital (Figura 4B). Aos 70 DAS (final do experimento), foi realizada a coleta dos órgãos vegetativos, para obtenção da área foliar e massa seca (parte aérea e raízes).

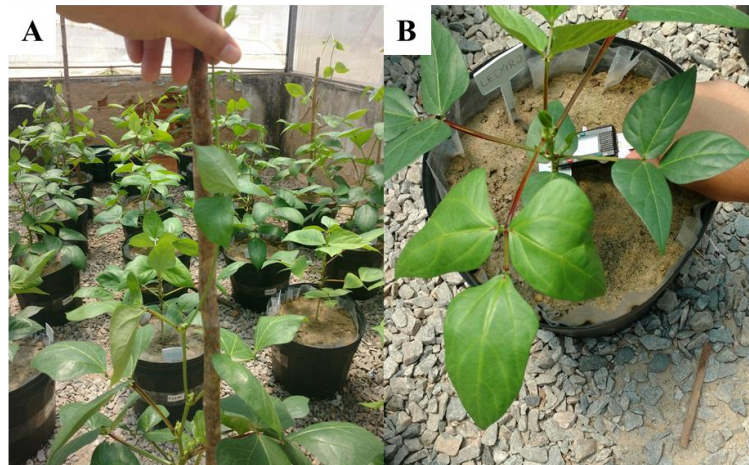


Figura 4 - Mensuração da altura (A) e diâmetro do caule (B) de plantas de feijão-de-corda.

A área foliar foi determinada por meio de um integrador de superfície (LI – 3100, Área Meter, Li-Cor., Inc., Lincoln, 87 Nebraska, USA) (Figura 5A). Já para obtenção das massas secas, os órgãos vegetativos foram coletados, separados em partes (folhas, caule e raízes), lavados com solução de ácido clorídrico (HCl) 30%, alocados em sacos de papel devidamente identificados e colocados para secagem em estufa com circulação de ar forçado a 65°C até massa constante (Figura 5B). Durante o experimento, as folhas que caíram foram coletadas para contabilização da área foliar e massa seca.



Figura 5 - Mensuração da área foliar (A) e secagem dos órgãos vegetativos em estufa (B).

Em complemento, aos 35 DAS foi realizada ainda a determinação do índice relativo de clorofila (IRC), através de um medidor de clorofila SPAD. As leituras foram realizadas entre 9:00 e 12:00 h, em folhas totalmente expandidas (Figura 6). Vale ressaltar que o índice SPAD pode ser considerado um parâmetro biométrico por estar diretamente relacionado com os teores de N foliar e consequentemente com o crescimento das plantas.



Figura 6 - Medição do índice relativo de clorofila através do SPAD.

5.6.2 Variáveis de trocas gasosas

Aos 20, 30 e 50 DAS (período vegetativo, pré-floração e reprodutivo) foram realizadas medições da taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática (g_s), taxa de transpiração (E) e concentração interna de CO_2 (C_i), em folhas completamente desenvolvidas, entre 9:00 e 12:00 h, utilizando um analisador de gás no infravermelho (IRGA; modelo LCI BioScientific) (Figura 7). Com posse desses dados, foi calculado a eficiência instantânea do uso da água (A/E) e a eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i).



Figura 7 - Utilização do IRGA para análise de trocas gasosas.

5.6.3 Acúmulo de nutrientes na parte aérea

Para avaliar o estado nutricional das plantas, foram utilizadas amostras de folhas e caules maduros (parte aérea), coletados aos 70 DAS, secos em estufa. Os órgãos foram triturados em moinho tipo Willey com malha de abertura de 1 mm, obtendo-se o extrato vegetal em pó. Em seguida, o extrato obtido foi colocado em potes de polietileno identificados e levados para a determinação dos teores dos seguintes elementos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), alumínio (Al), crômio (Cr), níquel (Ni), chumbo (Pb), selênio (Se), cádmio (Cd), mercúrio (Hg) e arsênio (As).

Os teores de N foram determinados pelo método de Kjeldahl (destilação) e quantificados por titulometria com ácido diluído H_2SO_4 0,01N (Figura 8A); boro determinado por meio de utilização da solução de azometina-H e quantificação por espectrofotometria (Figura 8B e 8C). Já os demais elementos foram determinados por espectrometria de emissão óptica por plasma (Figura 8D) acoplado indutivamente (Agilent, ICP-OES 5100) após digestão úmida com solução nitro-perclórica $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ na proporção de 3:1, conforme metodologia da Embrapa (2009). O acúmulo de nutrientes foi obtido através da multiplicação dos respectivos teores dos elementos pela massa seca da parte aérea, sendo os macronutrientes expressos em mg kg^{-1} e os micronutrientes em $\mu\text{g kg}^{-1}$.

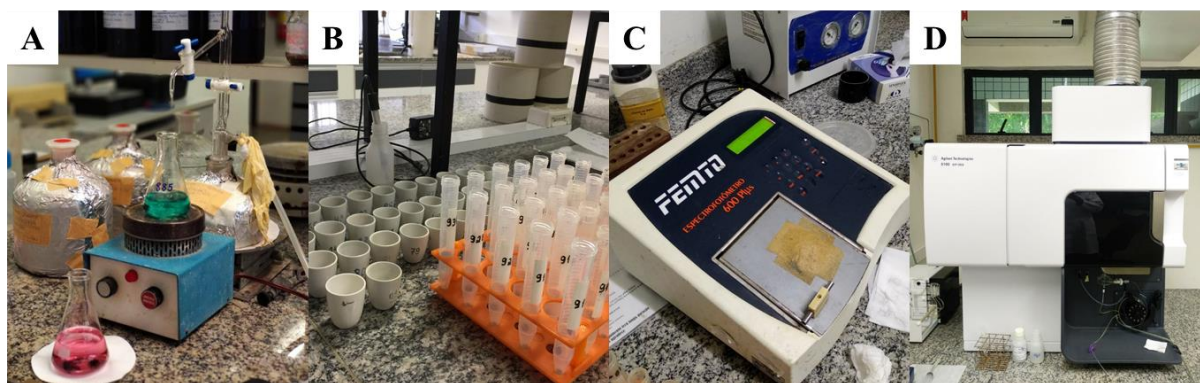


Figura 8 - Metodologias utilizadas para quantificação dos teores de nitrogênio (A), boro (C e D) e demais nutrientes (E).

5.6.4 Variáveis de produção

A partir do início da fase reprodutiva (60 DAT), foram realizadas coletas semanais das vagens maduras, posteriormente foram colocadas em estufa a $45\text{ }^\circ\text{C}$ para completar o processo de secagem, em seguida foram feitas as análises com o intuito de obter dados referentes ao comprimento das vagens, número de vagens, peso das vagens, número de sementes por vagem e produção (Figura 9).

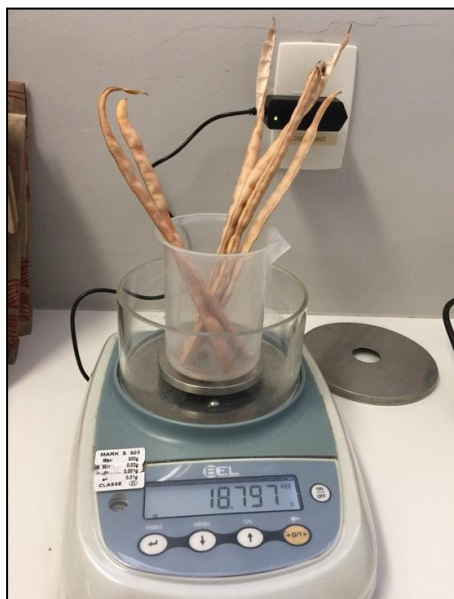


Figura 9 - Pesagem das vagens para determinação dos parâmetros produtivos.

5.7 Análises estatísticas

Os dados qualitativos das variáveis analisadas foram submetidos à análise de variância e posteriormente, quando significativos pelo teste F, submetidos ao teste de médias de Tukey com $P < 0,05$. Para os dados de natureza quantitativos, foi realizada a análise de regressão, as equações que melhor se ajustaram aos dados foram selecionadas com base na significância dos coeficientes de regressão a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F. Para as análises estatísticas e confecção dos gráficos utilizou-se os programas computacionais Assistat 7.6 Beta e e Sigmaplot [versão 11.0, (SYSTAT Software, inc.)], respectivamente.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Variáveis biométricas

Para as variáveis biométricas avaliadas, foi verificada influências significativas ao nível de 1% de probabilidade, tanto para os fatores isolados (fontes e doses) quanto para a interação entre os fatores (F x D), exceto para a variável massa seca da raiz em função das doses dos compostos aplicados (Tabela 3).

Tabela 3 - Análise de variância para altura (ALT), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), índice relativo de clorofila (SPAD), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) em plantas de feijão-de-corda, aos 30 DAS, cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

FV	GL	Quadrado Médio					
		ALT	DC	AF	SPAD	MSPA	MSR
Fontes (F)	3	14286,79**	7,59**	7966656**	98,62**	531,54**	9,03**
Doses (D)	4	1428,74**	0,43**	942468**	26,30**	93,50**	1,17 ns
Int. F x D	12	154,82**	0,31**	153261**	24,74**	22,62**	3,09**
Fat. x Adic.	1	267,24**	0,02**	666822**	81,44**	93,67**	6,17*
Adic. x Test.	1	15459,8**	18,9**	20719587**	128,16**	1151,3**	0,19 ns
Resíduo	84	5,68	0,09	6662	5,96	3,27	1,00
Total	109	-	-	-	-	-	-
Média Geral		69,73	4,87	3035,15	45,72	43,48	8,59
CV (%)		3,42	6,48	2,69	5,34	4,16	11,66

*, ** = Significativo a 5% e a 1 % pelo teste F, respectivamente e ns = não significativo.

Para a altura de plantas (Figura 10A), os dados se ajustaram aos modelos quadrático e linear, verificando que os compostos com casca de coco e lodo de esgoto apresentaram resultados positivos ao utilizar as doses entre 100 e 300 g vaso⁻¹, encontrando os pontos máximos de 90,42 cm quando as plantas foram adubadas com uma dose de 325,7 g vaso⁻¹ do composto de casca de coco e 83,68 cm com uma dose de 325,8 g vaso⁻¹ do composto de lodo. Para o biocarvão, encontrou-se um ponto máximo de 40,01 cm com a doses de 270,4 g vaso⁻¹, no entanto, para todas as doses testadas, foi observado plantas menores em relação aos demais compostos. No que diz respeito ao composto proveniente de bagana de carnaúba, foi verificada respostas crescentes de 0,06 cm para cada aumento de 1 g

vaso⁻¹, encontrando ponto máximo estimado de 101,45 cm com 500 g vaso⁻¹.

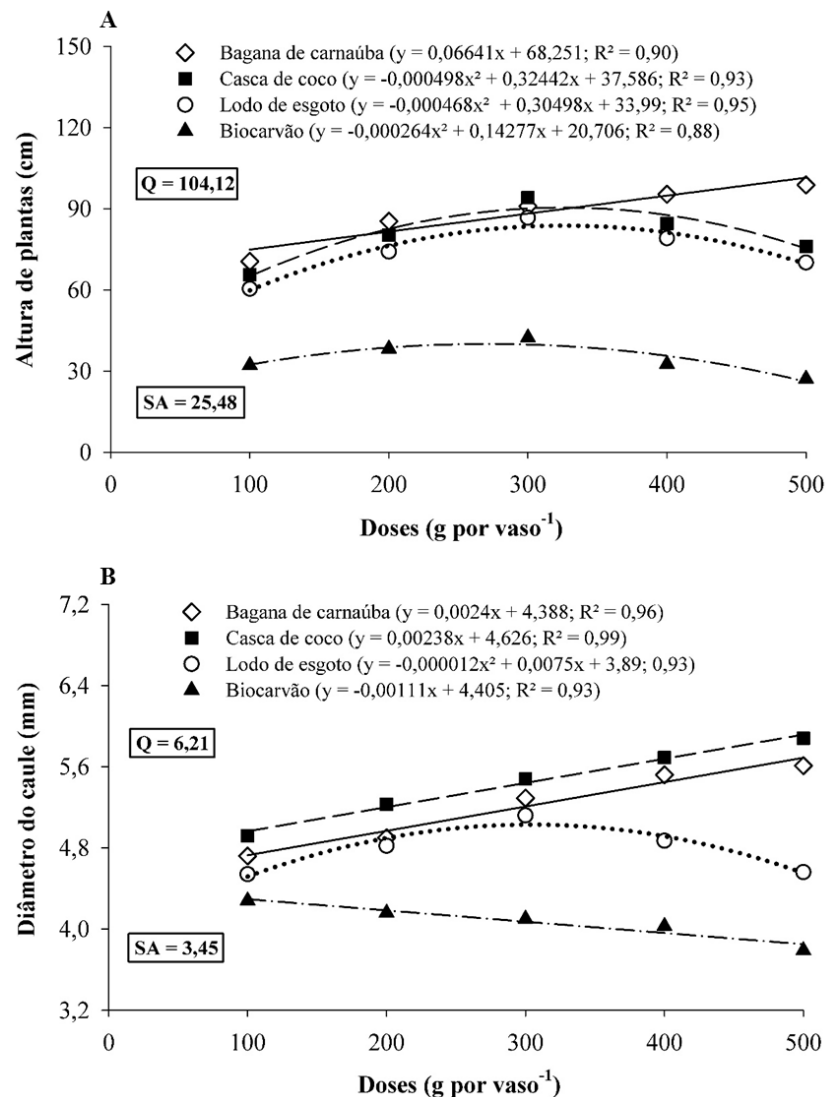


Figura 10 - Altura (A) e diâmetro do caule (B) de plantas de feijão-de-corda, cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

Em relação ao diâmetro do caule (Figura 10B), os compostos orgânicos com casca de coco verde e bagana de carnaúba apresentaram acréscimos lineares de 0,0023 e 0,0024 mm, respectivamente, para cada aumento de 1 g vaso⁻¹. Para o composto com lodo de esgoto, ajustou-se uma equação quadrática com ponto máximo de 5,06 mm quando se aplicou uma dose de 312,5 g vaso⁻¹, até essa dose, esses tratamentos se igualaram aos compostos de casca de coco verde e bagana. As plantas quando foram adubadas com biocarvão apresentaram uma redução linear de 0,001 mm para cada aumento de 1 g vaso⁻¹, apresentando um decréscimo de 10,34% da menor dose para a maior, evidenciando um efeito tóxico. Para os tratamentos adicionais, verificou-se que as plantas adubadas com tratamento químico apresentaram a

maior média absoluta, porém, muito próxima do DC estimado para 500 g vaso⁻¹ nos tratamentos com composto de casca de coco (5,82 mm) e bagana de carnaúba (5,59 mm), enquanto que o tratamento sem adubação (SA) apresentou a menor média absoluta na maior dose testada (500 g vaso⁻¹), sendo esta, próxima da média estimada na dose de 500 g vaso⁻¹ nos tratamentos com biocarvão (3,85 mm).

Considerando que as propriedades físicas e químicas são decisivas na escolha de determinada formulação de substrato, Caldeira et al. (2012) evidenciaram que a aplicação de 100 e 70% de biossólido, na composição do substrato, apresentaram melhores resultados para o crescimento e o diâmetro do caule das mudas de cedro vermelho (*Toona ciliata*), demonstrando ser alternativa viável de disposição final para o resíduo. Dessa forma, podemos associar os melhores resultados, apresentados pelos tratamentos com composto com casca de coco verde e bagana de carnaúba (tanto para altura quanto para o diâmetro do caule), às características químicas dos mesmos, que ao serem misturados com solo, proporcionaram maior quantidade de nutrientes ao solo (Tabela 2), especialmente de P e Ca, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular, que por sua vez contribuiu para o desenvolvimento em altura e diâmetro do caule das plantas de feijão.

No que se refere a área foliar (Figura 11A), os dados dos tratamentos com composto de bagana de carnaúba, casca de coco verde e lodo de esgoto se ajustaram a equações polinomiais de 2º grau, em que os compostos com bagana de carnaúba e casca de coco verde apresentaram os melhores resultados, respectivamente. Para esses compostos, foram encontrados pontos máximos de 3872 e 3503,9 cm², quando as plantas foram adubadas com as doses de 333,7 e 296,2 g vaso⁻¹, respectivamente. Vale ressaltar que as maiores doses causaram redução da AF para todos os compostos orgânicos. Para os tratamentos com biocarvão, foi verificado uma redução linear de 1,924 cm² para cada 1 g vaso⁻¹ adicionada.

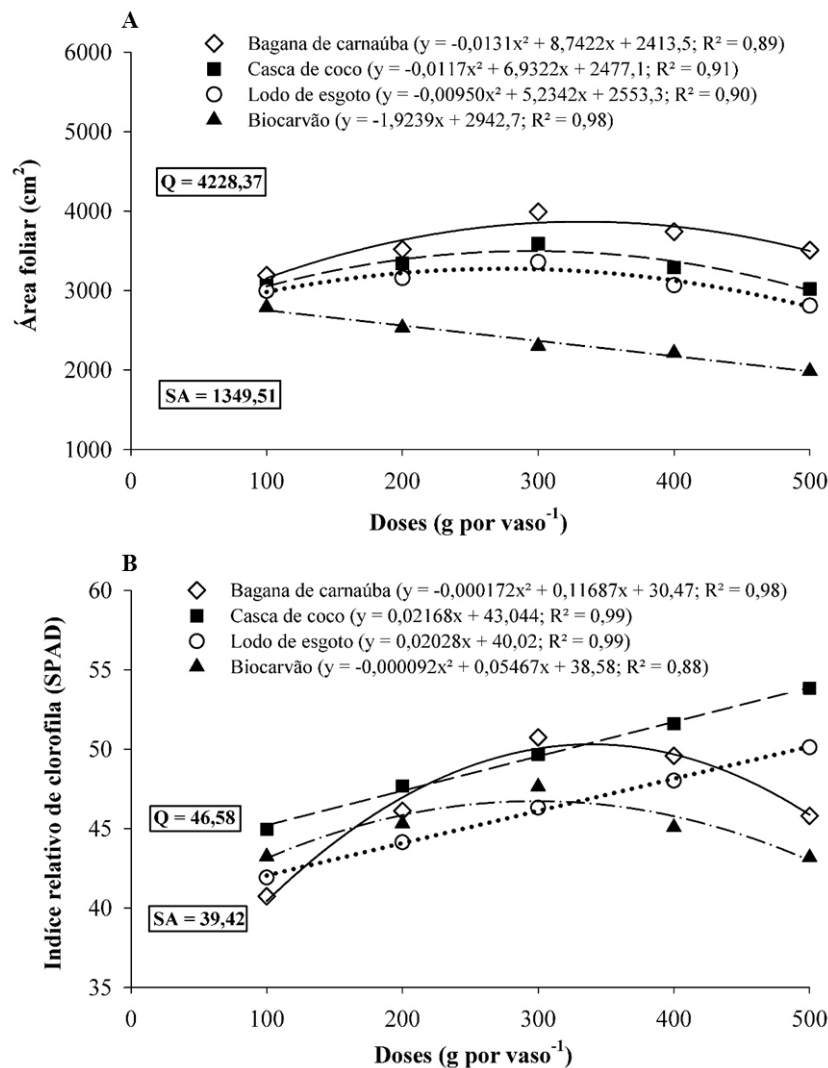


Figura 11 - Área foliar (A) e índice relativo de clorofila (B) de plantas de feijão-de-corda, cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

Em relação ao índice relativo de clorofila (Figura 11B), foi verificado acréscimo linear de 0,021 para os tratamentos com casca de coco e de 0,020 quando as plantas foram adubadas com composto de lodo de esgoto, para cada 1 g vaso⁻¹ adicionada. Fazendo uma comparação entre as menores médias estimadas desses tratamentos (45,21 e 42,05, respectivamente) com as maiores médias estimadas (53,88 e 50,16, respectivamente), verifica-se um aumento de 16,09% para as plantas adubadas com casca de coco verde e de 16,17% para as adubadas com lodo de esgoto. Os dados referentes as plantas que receberam o composto de bagana de carnaúba e biocarvão de lodo, se ajustaram à equações quadráticas com pontos máximos de 50,32 e 46,70, respectivamente, com as seguintes doses: 339,74 e 297,12 g vaso⁻¹, a partir dessas doses houve redução do IRC. As plantas que não foram adubadas (SA), apresentaram a menor média absoluta para o índice SPAD, o que pode ser

facilmente observado através de uma clorose, típica de deficiência de nutrientes, especialmente nitrogênio (Figura 12).



Figura 12 - Plantas sem adubação (A) e adubadas com biocarvão de lodo de esgoto (B), compostagem de lodo de esgoto (C), compostagem de casca de coco (D), compostagem de bagana (E) e tratamento químico (F) aos 15 DAS.

A área foliar é uma varável importante para avaliação, uma vez que tem papel fundamental para o desenvolvimento da planta. Nessa perspectiva, os resultados encontrados no presente trabalho, para os compostos orgânicos mostram-se concordantes aos encontrados por Silva et al. (2013), que trabalhando com feijão-de-corda sob aplicação de diferentes doses de biofertilizante bovino, verificaram incremento para o número de folhas e conseqüentemente para a AF até certa dose aplicada.

Sabe-se também que a área foliar e o índice relativo de clorofila são influenciados por diversos fatores, dentre eles, podemos destacar o fornecimento de nutrientes como um dos mais importantes, uma vez que a planta necessita de tais nutrientes para produção de clorofila e açúcares, ou seja, para desempenhar suas funções vitais (TAIZ et al., 2017). Vale ressaltar que o índice SPAD tem sido bastante utilizado em trabalhos de nutrição de plantas, nos quais autores como Natale et al. (2010) e Mesquita et al. (2011) correlacionam este índice com a diagnose foliar e estado nutricional da planta, especialmente para o nitrogênio e fósforo.

Então, os resultados positivos para as variáveis de AF e IRC, especialmente para os compostos com bagana de carnaúba e casca de coco verde, possivelmente estejam relacionados com o fornecimento de nutrientes para as plantas, especialmente Ca e P (Tabela 2), pois segundo Carmo et al. (2019), a adição de compostos orgânicos ao solo favorece o aumento da quantidade de macro e micronutrientes e o desenvolvimento das plantas.

Respostas semelhantes à AF também foram observadas para a massa seca da parte aérea (Figura 13A), uma vez que são variáveis diretamente relacionadas. Os dados ajustaram-se à duas equações quadráticas referentes aos compostos com bagana de carnaúba e lodo de esgoto, encontrando os pontos máximos de 50,66 e 46,40 g, quando as plantas receberam doses de 311,12 e 316,14 g vaso⁻¹, respectivamente. Vale ressaltar, que as plantas tratadas com bagana apresentaram MSPA superiores àquelas tratadas com lodo de esgoto em todas as doses testadas. Em relação ao composto com casca de coco, verificou-se incremento linear em função do aumento das doses, encontrando ponto máximo de 49,96 g na maior dose, enquanto que para o biocarvão as plantas apresentaram uma redução linear de 17,38% ao comparar as médias da menor dose (39,53 g) com a maior (32,66 g).

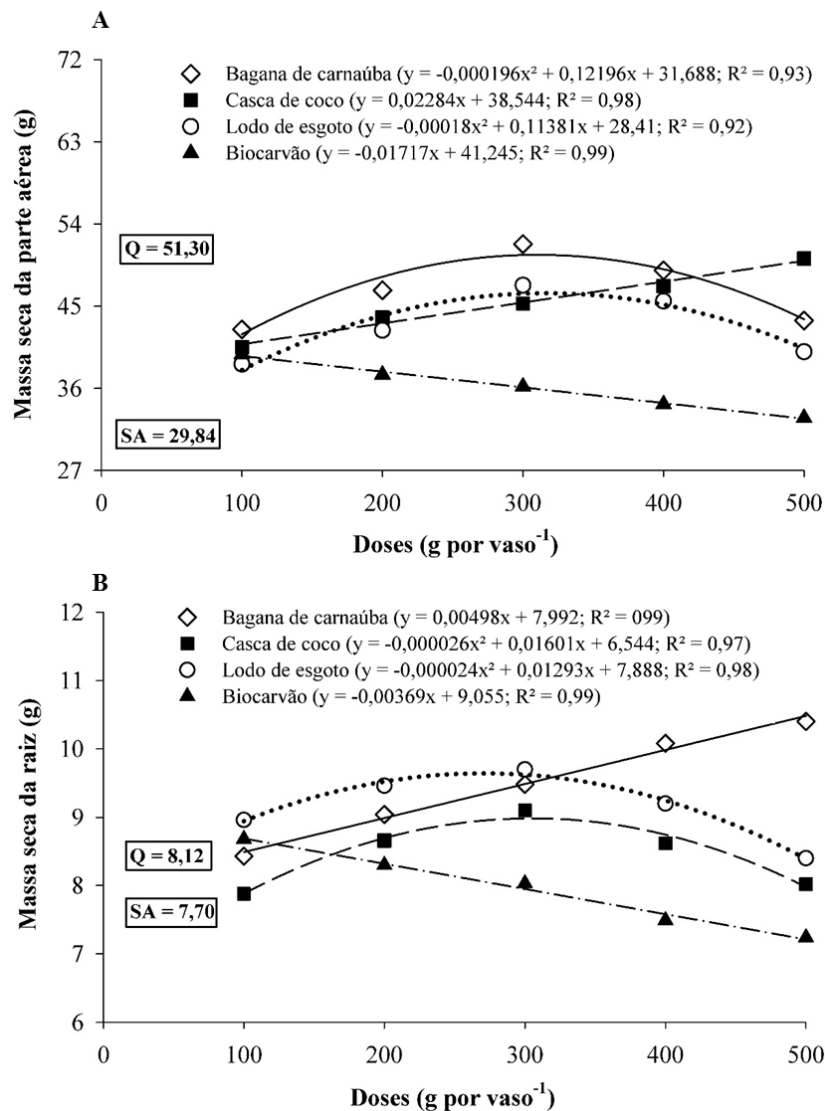


Figura 13 - Massa seca da parte aérea (A) e massa seca da raiz (B) de plantas de feijão-de-corda, cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

Em relação a massa seca da raiz (Figura 13B), de modo geral, verificou-se resultados semelhantes aos encontrados para a MSPA, porém nesta variável, houve inversão entre os tratamentos com casca de coco e lodo de esgoto, em que plantas tratadas com lodo apresentaram maior MSR do que as tratadas com casca de coco. Para estes compostos (lodo de esgoto e casca de coco), ajustaram-se duas equações quadráticas com os pontos máximos de 9,63 e 9,01 g com as respectivas doses: 269,4 e 307,9 g vaso⁻¹. Para os tratamentos com bagana de carnaúba verificou-se um aumento linear de 0,0049 g para cada aumento de 1 g vaso⁻¹, enquanto que para o tratamento com biocarvão, novamente, foi observado uma redução linear de 17,03% ao comparar com as médias da menor dose (8,69 g) com a maior (7,21 g). Para os tratamentos adicionais, observou-se que o controle químico apresentou média absoluta inferior as encontradas nos tratamentos com bagana e lodo de esgoto.

Esses resultados positivos encontrados através da aplicação dos compostos orgânicos (com exceção do biocarvão) no solo, foram obtidos, possivelmente, devido a quantidades satisfatórias de P e Ca (Tabela 2), nutrientes diretamente relacionados com a produção de compostos energéticos no metabolismo e com a estrutura da planta. Segundo Costa et al. (2017), a mistura de materiais orgânicos em proporções corretas disponibiliza maiores quantidades de nutrientes, retém maior quantidade de água, o que favorece o pleno desenvolvimento vegetal, o crescimento e o acúmulo de fitomassa nas plantas.

A importância do uso da adubação orgânica está na sua capacidade de suprir as carências nutricionais das plantas por um período de tempo maior do que a adubação química, isso ocorre devido a forma de liberação lenta dos nutrientes pelos adubos orgânicos em relação aos adubos químicos, fazendo com que os efeitos na planta ocorram de forma mais gradual ao longo do seu ciclo vegetativo (FREITAS et al., 2012). Diante disso, podemos associar o incremento de biomassa nas plantas de feijoeiro adubadas com compostos orgânicos em relação ao tratamento químico, com a maior facilidade de absorção dos nutrientes quando as plantas foram adubadas com o químico, o que evitou gastos energéticos para o desenvolvimento radicular e conseqüentemente resultou em menor MSR.

Uma maior massa seca da raiz representa um sistema radicular mais desenvolvido, e isso contribui tanto para a absorção de água quanto de nutrientes, o que favorece o crescimento e as trocas gasosas das plantas. Nesse sentido, Araújo et al. (2011) avaliando a biomassa e nutrição mineral de forrageiras cultivadas em solos do semiárido adubados com esterco, constataram que a adubação orgânica promoveu incrementos na produção de biomassa e na absorção de nutrientes na cultura do feijoeiro.

6.2 Variáveis de trocas gasosas

Na análise de variância apresentada na Tabela 4, pode ser observado que todas as variáveis fisiológicas avaliadas no período vegetativo, aos 20 dias após a semeadura (DAS), apresentaram respostas significativas, tanto para os fatores isolados (fontes e doses) quanto pela interação entre os mesmos, ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F. Isso demonstra que as respostas fisiológicas das plantas de feijão-de-corda apresentaram distinção em função das fontes e doses dos adubos orgânicos testados.

Tabela 4 - Análise de variância para fotossíntese (*A*), condutância estomática (g_s), transpiração (*E*), eficiência instantânea de carboxilação (EiC) e eficiência instantânea do uso da água (EUA) em plantas de feijão-de-corda, aos 20 DAS, cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

FV	GL	Quadrado Médio				
		<i>A</i>	g_s	<i>E</i>	EiC	EUA
Fontes (F)	3	121,01**	0,06**	7,06**	0,0013**	0,39*
Doses (D)	4	45,21**	0,01**	14,26**	0,0005**	2,73**
Int. F x D	12	22,08**	0,01**	5,05**	0,0003**	0,44**
Fat. x Adic.	1	18,54**	0,04**	11,95**	0,0002**	2,72**
Adic. x Test.	1	124,75**	0,02**	7,16**	0,002**	0,0001 ns
Resíduo	84	64,60	0,0002	0,11	0,00001	0,11
Total	109	-	-	-	-	-
Média Geral		18,74	0,29	5,34	0,06	3,59
CV (%)		4,68	4,70	6,16	5,40	9,17

*, ** = Significativo a 5% e a 1 % pelo teste F, respectivamente e ns = não significativo.

Para as variáveis fisiológicas no período de pré-floração, aos 30 DAS (Tabela 5), verificou-se que para o fator isolado fontes de adubos, apenas a variável eficiência instantânea de carboxilação não apresentou resposta significativa, enquanto que as demais foram influenciadas ao nível de 1 e 5% de probabilidade pelo teste F. Em relação ao fator isolado doses, notou-se que as variáveis condutância estomática e eficiência do uso da água não apresentaram significância pelo mesmo teste citado anteriormente, no entanto as demais foram influenciadas ao nível de 1% de probabilidade. No que diz respeito a interação entre os fatores, todas variáveis apresentaram resposta significativa, com exceção da g_s .

Tabela 5 - Análise de variância para fotossíntese (*A*), condutância estomática (g_s), transpiração (*E*), eficiência instantânea de carboxilação (EiC) e eficiência instantânea do uso da água (EUA) em plantas de feijão-de-corda, aos 30 DAS, cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

FV	GL	Quadrado Médio				
		<i>A</i>	g_s	<i>E</i>	EiC	EUA
Fontes (F)	3	6,54**	0,02**	4,62**	0,00001 ns	1,03*
Doses (D)	4	26,73**	0,0002 ns	1,85**	0,00018**	0,05ns
Int. F x D	12	4,90**	0,00004 ns	0,60**	0,00006**	0,20*
Fat. x Adic.	1	11,38**	0,008 ns	7,47**	0,000002 ns	1,83**
Adic. x Test.	1	6,37**	0,003 ns	1,90**	0,0002**	0,45*
Resíduo	84	0,39	0,00003	0,14	0,00001	0,09
Total	109	-	-	-	-	-
Média Geral		15,94	0,21	4,87	0,05	3,31
CV (%)		3,91	2,62	7,80	7,02	9,11

*, ** = Significativo a 5% e a 1 % pelo teste F, respectivamente e ns = não significativo.

Para as variáveis fisiológicas no período reprodutivo, aos 50 DAS, observou-se que para o fator isolado: fontes de adubos orgânicos, apenas a variável eficiência do uso da água não sofreu influência, enquanto que as outras variáveis apresentaram significância ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F. Em relação ao fator isolado, bem como a interação entre os fatores, verificou-se que apenas a variável eficiência instantânea de carboxilação sofreu influência significativa pelo mesmo teste citado anteriormente (Tabela 6).

Tabela 6 - Análise de variância para fotossíntese (*A*), condutância estomática (*g_s*), transpiração (*E*), eficiência instantânea de carboxilação (*EiC*) e eficiência instantânea do uso da água (*EUA*) em plantas de feijão-de-corda, aos 50 DAS, cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

FV	GL	Quadrado Médio				
		<i>A</i>	<i>g_s</i>	<i>E</i>	<i>EiC</i>	<i>EUA</i>
Fontes (F)	3	58,23**	0,007**	4,61**	0,0006**	4,04 ns
Doses (D)	4	0,26 ns	0,00007 ns	0,05 ns	0,0002**	0,16 ns
Int. F x D	12	0,61 ns	0,00008 ns	0,06 ns	0,00006**	0,28 ns
Fat. x Adic.	1	40,11**	0,005**	1,75**	0,00057**	0,13 ns
Adic. x Test.	1	38,53**	0,003**	2,81 **	0,0006**	1,35**
Resíduo	84	0,39	0,00004	0,04	0,00001	0,17
Total	109	-	-	-	-	-
Média Geral		17,09	0,20	3,15	0,06	5,49
CV (%)		3,63	3,00	6,07	5,47	7,53

*, ** = Significativo a 5% e a 1 % pelo teste F, respectivamente e ns = não significativo.

Para a variável fotossíntese no período vegetativo, aos 20 DAS (Figura 14A), ajustaram-se 3 equações polinomiais de 2º grau e uma linear decrescente, que de modo geral, verificou-se que o tratamento com composto de casca de coco verde apresentou os melhores resultados, para todas as doses testadas, seguido do composto com bagana de carnaúba, encontrando os pontos máximos de 25,05 e 21,78 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ quando se utilizou as doses de 311,7 e 304,2 g vaso⁻¹, respectivamente. Para os tratamentos com biocarvão, foi verificado uma redução de 19,95% ao comparar as médias das doses de 100 g (17,34) e 500 g (13,88) por vaso⁻¹. Já no período de pré-floração (Figura 14B), aos 30 DAS, foi verificado que o composto orgânico de bagana de carnaúba foi o que apresentou os melhores resultados, apresentando ponto máximo de 18,21 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ quando as plantas foram adubadas com uma dose de 293,3 g vaso⁻¹, sendo este ponto máximo superior 13,67% ao tratamento químico e 22,46% ao sem adubação, em termos absolutos.

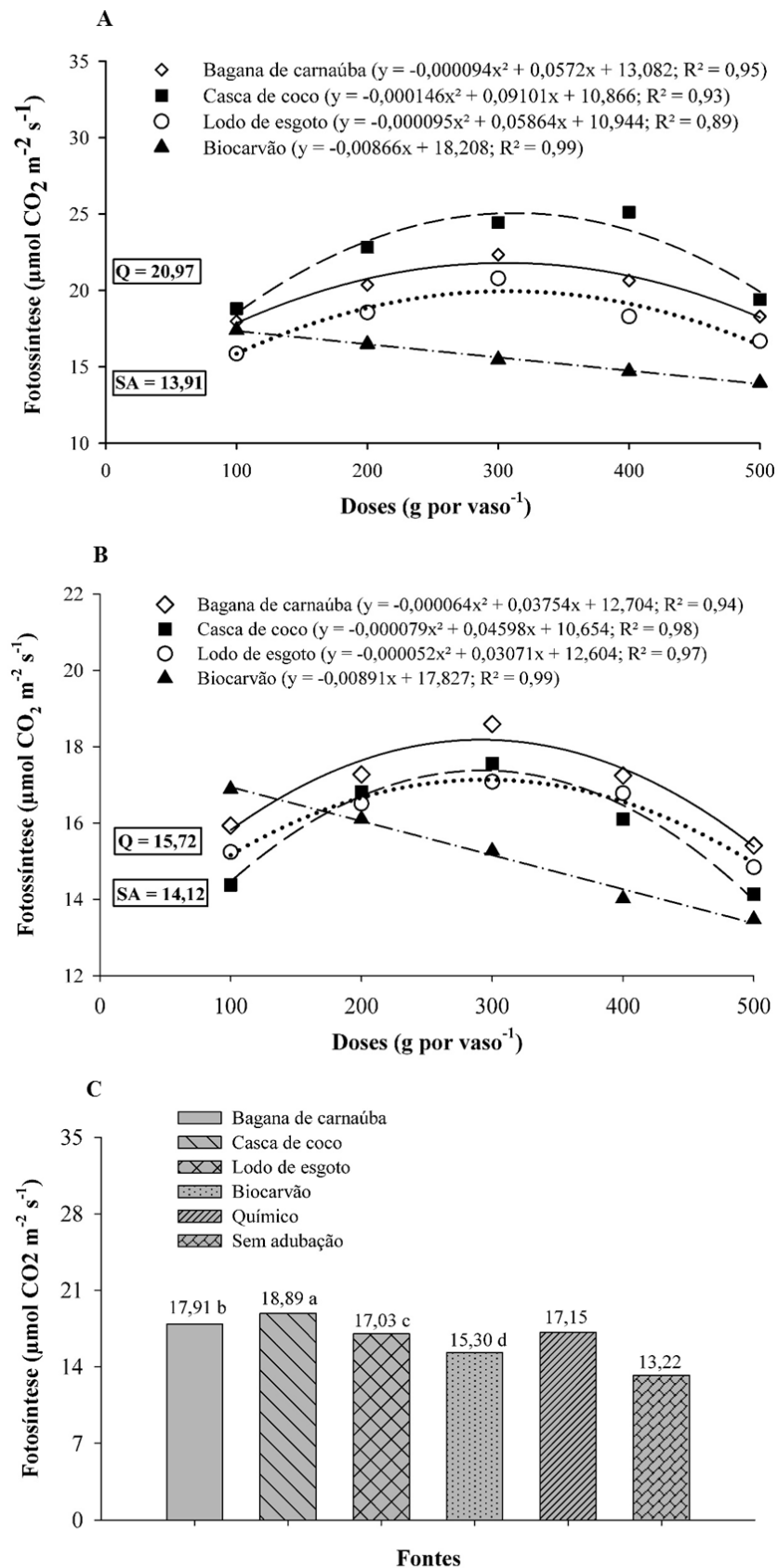


Figura 14 - Fotossíntese em plantas de feijão-de-corda, aos 20 (A), 30 (B) e 50 (C) dias após a semeadura cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

Os resultados no período reprodutivo (50 DAS), indicam que as plantas foram influenciadas apenas pelas fontes de adubos, verificando que o composto orgânico de casca de coco verde foi significativamente superior aos demais compostos, apresentando superioridade de 19% em relação ao biocarvão de lodo de esgoto (Figura 14C). Ao comparar as médias absolutas do composto com casca de coco verde com os tratamentos adicionais, químico e sem adubação, verificou-se superioridade do composto orgânico de 9,21 e 30,02%, respectivamente.

A luz e a nutrição das plantas exercem grande influência nas respostas fisiológicas e na produção vegetal (SEIXAS et al., 2013), pois são fatores de suma importância para o desempenho adequado do aparato fotossintético das plantas. Dessa forma, os resultados apresentados para a taxa fotossintética podem ser fundamentados por essa hipótese, uma vez que no período vegetativo e pré-floração as plantas responderam de forma positiva até certa dose, com exceção dos tratamentos com biocarvão (possivelmente como resposta ao excesso de Zn e Cu disponibilizado pelo mesmo). Os nutrientes desempenham funções específicas e essenciais no metabolismo das plantas, como exemplo do nitrogênio e magnésio, que são constituintes da molécula de clorofila, de forma que ao aumentar a quantidade de clorofilas isso possivelmente promoveu aumento da taxa fotossintética (TAIZ et al., 2017).

Vale ressaltar ainda, que a elevação da fotossíntese observada no período vegetativo e pré-floração, em relação ao reprodutivo, pode ser explicada pela maior área foliar encontrada nos referidos estádios (JAUER et al., 2003), pois este é um fator que influencia na interceptação da radiação, tornando a fotossíntese mais eficiente. De acordo com Teixeira et al. (2015), a redução na taxa de crescimento da cultura, após a floração, é devida à translocação de fotoassimilados, o que culmina na redução do índice de área foliar e explica o declínio da taxa fotossintética no estádio reprodutivo.

Em relação a condutância estomática durante o período vegetativo, 20 DAS (Figura 15A), ajustaram-se duas equações quadráticas para os compostos de bagana de carnaúba e lodo de esgoto, encontrando pontos máximos de 0,37 e 0,33 mol CO₂ m⁻² s⁻¹, quando as plantas foram adubadas com as doses de 266,7 e 260 g vaso⁻¹, respectivamente, enquanto que os tratamentos químicos e sem adubação apresentaram médias de 0,27 e 0,18 mol CO₂ m⁻² s⁻¹. Para o tratamento com composto de casca de coco verde, foi observado tendência linear crescente, com acréscimo de 0,00049 mol CO₂ m⁻² s⁻¹ para cada aumento de 1 g vaso⁻¹, enquanto que para o biocarvão de lodo de esgoto houve resposta contrária, apresentando um decréscimo de 0,00021 mol CO₂ m⁻² s⁻¹, com o aumento de 1 g vaso⁻¹.

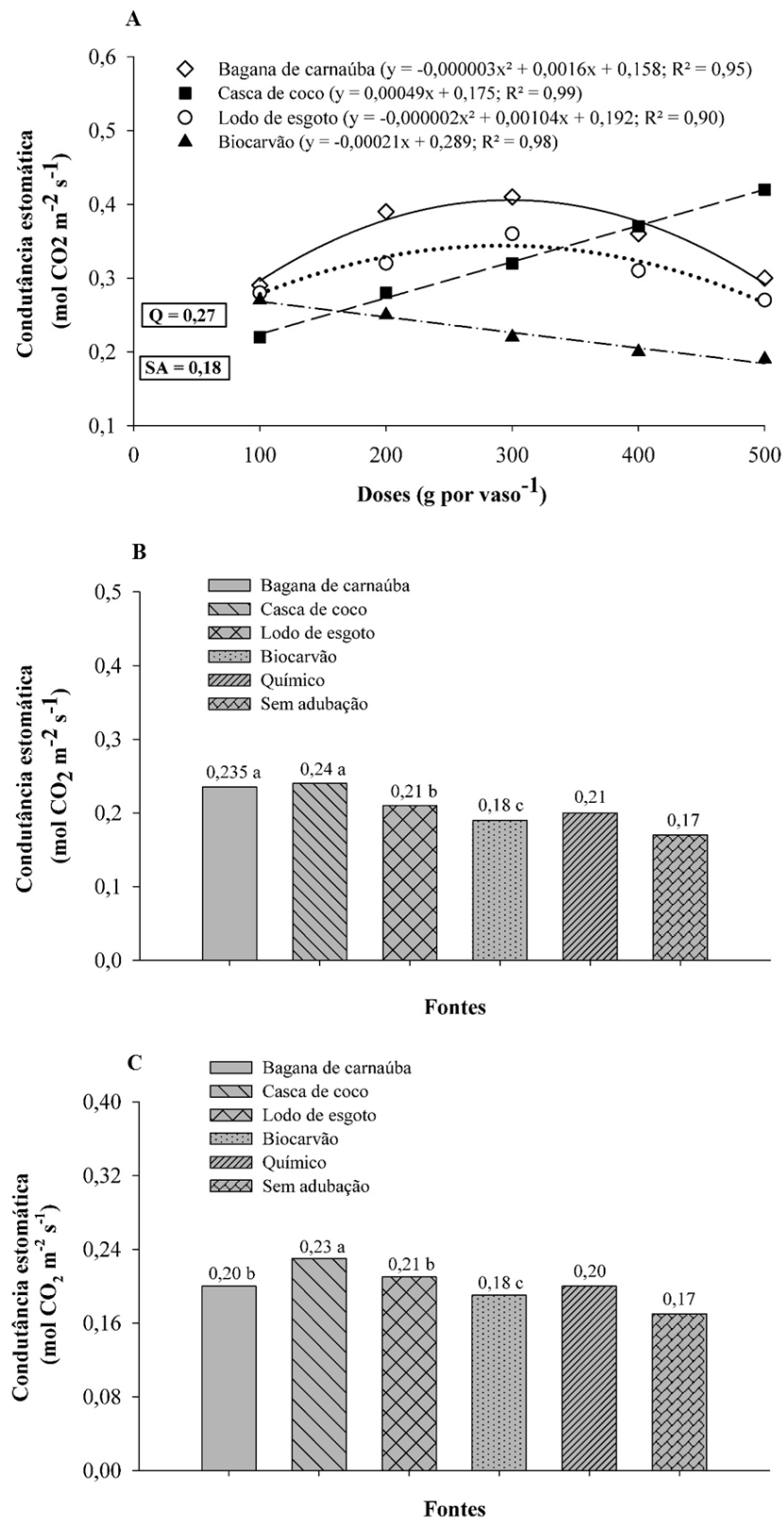


Figura 15 - Condutância estomática em plantas de feijão-de-corda, aos 20 (A), 30 (B) e 50 (C) dias cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

Para os estádios de pré-floração (Figura 15B) e reprodutivo (Figura 15C), respostas semelhantes para g_s foram observadas, em que o composto de fibra de coco verde mostrou-se significativamente superior aos demais compostos testados, com exceção do tratamento com bagana de carnaúba no período de pré-floração, em que ambos apresentaram respostas estatisticamente iguais. Fazendo uma comparação do composto que favoreceu a maior média (fibra de coco verde) com a menor (biocarvão de lodo de esgoto), observa-se uma superioridade de 25% para o período de pré-floração (Figura 15B), enquanto que para o período reprodutivo (Figura 15C) essa superioridade foi de 21,74%.

Quanto às relações hídricas e trocas gasosas, sabe-se que o influxo de CO_2 ocorre necessariamente através dos estômatos, ocorrendo também o efluxo de água, por meio da transpiração, sendo o movimento estomático o principal mecanismo de controle das trocas gasosas nas plantas superiores (SILVA et al., 2015). Dessa forma, a redução da condutância estomática, pode acarretar prejuízos às plantas, como redução da atividade fotossintética (CAVATTE et al., 2012), o que pode ser observado nos resultados.

Sabe-se que o potássio é um dos nutrientes responsáveis pela abertura e fechamento estomático (MARSCHNER, 2012), logo, em condições hídricas adequadas, sua disponibilidade e assimilação representam fatores importantes na condutância estomática. Nesse sentido, Prazeres et al. (2015) trabalhando com duas cultivares de feijão-de-corda e doses de potássio, verificaram aumento crescente da g_s em função das doses de potássio, para ambas cultivares. Então, os resultados superiores encontrados quando as plantas de feijão foram adubadas com compostos de bagana de carnaúba, casca de coco verde e lodo de esgoto, em ambos estádios de desenvolvimento, estão relacionados com a maior quantidade de K no solo em relação aos tratamentos com biocarvão (Tabela 2).

No que diz respeito à variável transpiração no período vegetativo, aos 20 DAS (Figura 16A), nota-se que o tratamento com bagana de carnaúba e casca de coco verde apresentaram os melhores resultados em relação aos demais compostos testados. Para o composto de bagana de carnaúba, ajustou-se uma equação quadrática, encontrando ponto máximo de $6,94 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ quando as plantas foram adubadas com uma dose de $269,2 \text{ g vaso}^{-1}$, enquanto que para o composto de casca de coco verde, apresentou aumento linear de $0,00759 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para cada aumento nas doses testadas, chegando na maior dose (500 g vaso^{-1}) com uma média de $7,69 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

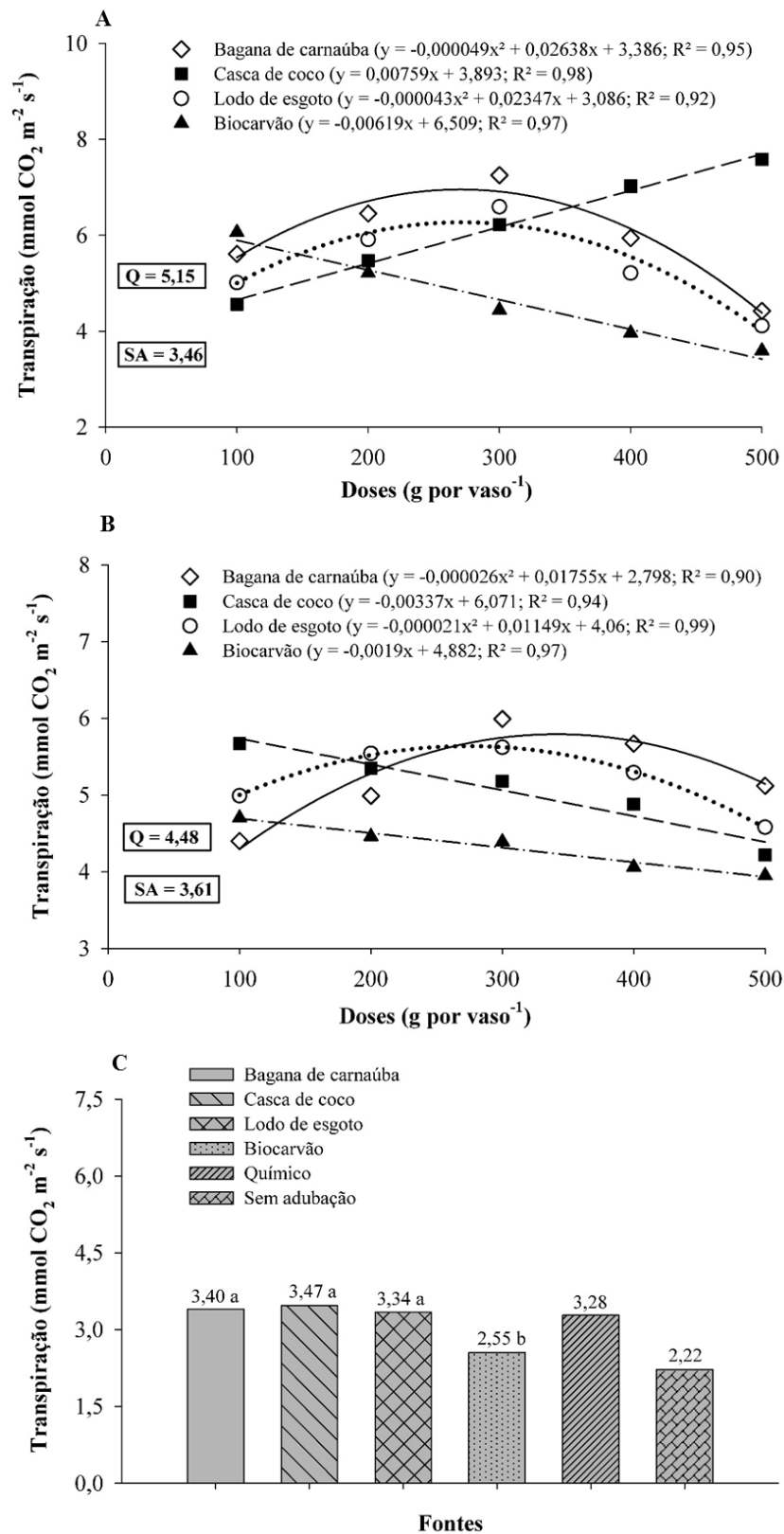


Figura 16 - Taxa de transpiração em plantas de feijão-de-corda, aos 20 (A), 30 (B) e 50 (C) dias após a semeadura cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

Para o período de pré-floração, 30 DAS (Figura 16B), os tratamentos com casca de coco e biocarvão, apresentaram redução linear de 0,0033 e 0,00196 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹, respectivamente, para cada aumento de 1g vaso⁻¹. Os tratamentos com bagana de carnaúba e lodo de esgoto, ajustaram-se a modelos polinomiais quadráticos, com pontos máximos de 5,76 e 5,63 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹, respectivamente, quando as plantas foram adubadas com as doses de 337,5 e 273,6 g vaso⁻¹, sendo estes pontos máximos superiores, em termos absolutos, aos tratamentos químico e sem adubação. No período reprodutivo, 50 DAS (Figura 16C), observa-se que os compostos com casca de coco verde, bagana de carnaúba e lodo de esgoto, apresentaram médias superiores ao biocarvão e ao comparar a maior média absoluta (3,47) com a menor (2,55), nota-se uma elevação na transpiração em torno de 26,51% para o tratamento em que as plantas receberam o composto com bagana de carnaúba.

A transpiração é um mecanismo regulatório da quantidade de água presente nas plantas, desenvolvida através das estruturas foliares, cutícula e estômatos, sendo de fundamental importância para o crescimento das plantas, uma vez que ao aumentar a taxa transpiratória há consequente elevação do fluxo de sais minerais do solo para as raízes (MARENCO; LOPES, 2005; TAIZ et al., 2017). Diante disso, e sabendo também que a transpiração está diretamente relacionada com a abertura estomática e o influxo de CO₂ atmosférico para o interior da folha, podemos relacionar os resultados positivos das variáveis *A*, *g_s* e *E* com adequado fornecimento de água e nutrientes para as plantas, o que refletiu em incrementos positivos para o crescimento e acúmulo de biomassa, especialmente nos tratamentos com compostos de bagana de carnaúba e casca de coco verde.

Em relação aos estádios de desenvolvimento, é perceptível uma redução da taxa de transpiração ao longo das épocas de avaliação, e isso já era o esperado, pois a idade da planta afeta diretamente as respostas fisiológicas. Vale ressaltar, que a redução da *E* é mais perceptível na última época de avaliação (estádio reprodutivo), uma vez que a planta inicia o processo de senescência e seu gasto de energia é metabolizado especialmente para a produção de vagens (neste caso). Em complemento a esse raciocínio, Oliveira et al. (2018), avaliando as respostas fisiológicas de tomateiro cereja em diferentes estádios fenológicos, verificaram redução significativa da transpiração no período reprodutivo, corroborando com os resultados da presente pesquisa.

Para a eficiência instantânea de carboxilação, verificou-se respostas semelhantes tanto no período vegetativo (Figura 17A) quanto no período de pré-floração (Figura 17B), pois nesses estádios, o composto de casca de coco promoveu incremento linear de 0,00011 e 0,00004, aos 20 DAS e 30 DAS, respectivamente, enquanto que o biocarvão causou redução

linear de 0,00003 e 0,00004, aos 20 DAS e 30 DAS, respectivamente.

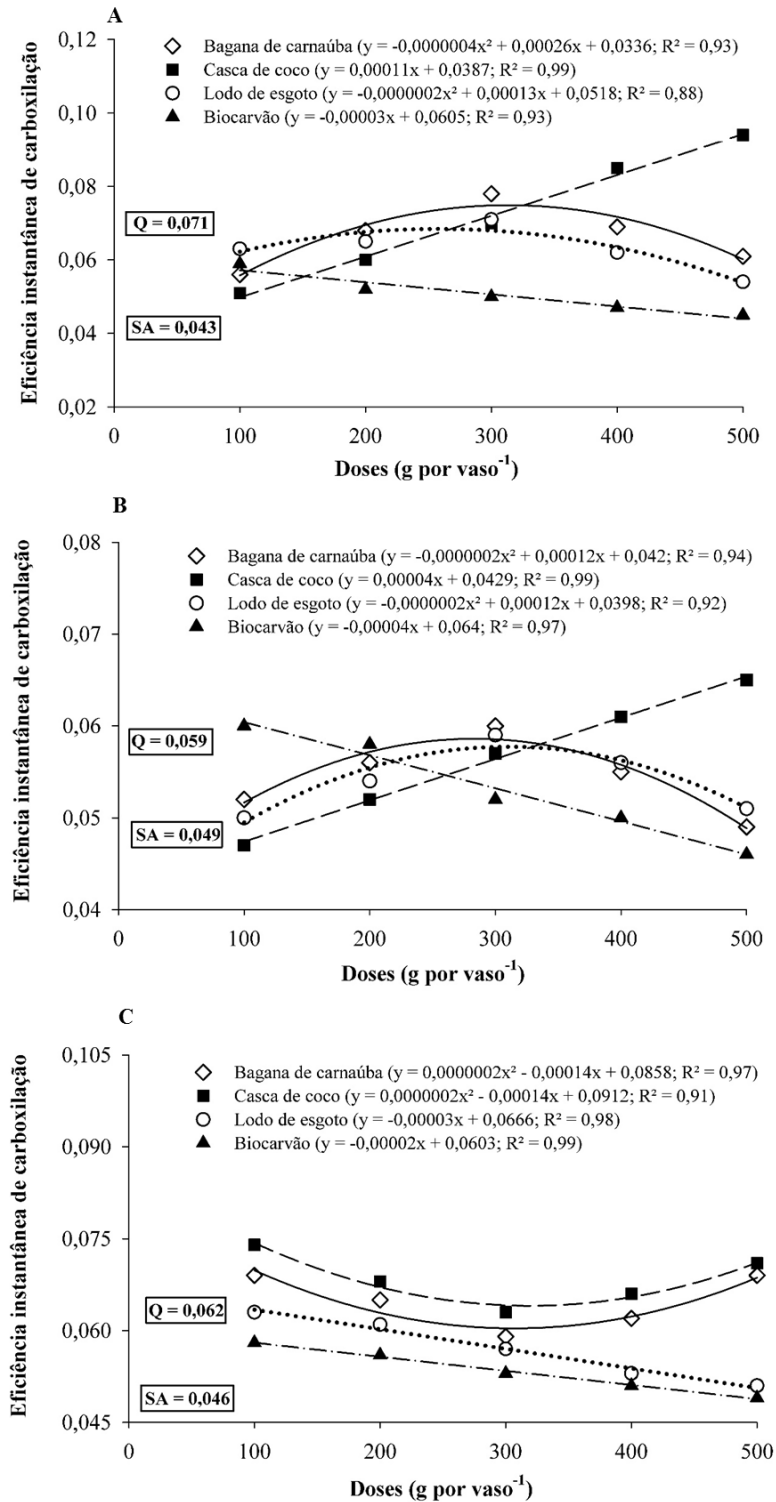


Figura 17 - Eficiência instantânea de carboxilação em plantas de feijão-de-corda, aos 20 (A), 30 (B) e 50 (C) dias após a semeadura cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

Os dados da EiC quando as plantas foram adubadas com compostos de bagana de carnaúba e lodo se ajustaram à modelos polinomiais quadráticos, apresentando pontos máximos de 0,076 e 0,073, respectivamente, quando as plantas foram adubadas com uma dose de 325 g vaso⁻¹ para período vegetativo; e no período de pré-floração, o composto de bagana de carnaúba apresentou ponto máximo de 0,06 com uma dose de 300 g vaso⁻¹ (Figura 17B). No período reprodutivo, aos 50 DAS (Figura 17C), foi verificada reduções lineares de 0,00003 e 0,00002 para os tratamentos com lodo de esgoto e biocarvão, respectivamente. Já para os tratamentos com bagana de carnaúba e de casca de coco verde, ajustaram-se duas equações quadráticas, com pontos mínimos de 0,061 e 0,067 quando as plantas foram adubadas com a dose de 350 g vaso⁻¹, a partir dessa dose, a adição do adubo elevou a EiC.

A eficiência de carboxilação, segundo Larcher (2006), é definida como a velocidade com que o CO₂ fixado é processado. Essa velocidade de fixação depende, principalmente, da quantidade e atividade enzimática e pela disponibilidade de CO₂, podendo ser influenciada ainda pela concentração do aceptor (rubisco), temperatura, estágio de desenvolvimento da planta e suprimento de substâncias minerais (especialmente fosfato). Resultados semelhantes aos da presente pesquisa foram encontrados por Anjos et al. (2014), que trabalhando com feijoeiro cultivado na presença e na ausência de NPK, verificaram aumento significativo na eficiência instantânea de carboxilação quando as plantas receberam adubação.

Então, a provável explicação para o aumento da EiC nas plantas adubadas com o composto de casca de coco verde e bagana de carnaúba, em comparação com os demais tratamentos, pode estar relacionado, principalmente, pela suplementação adequada de fósforo que atua como elemento estrutural de nucleotídeos e fosfolipídios, bem como na transferência de energia e na ativação de algumas enzimas do ciclo de Calvin-Benson (CUNHA et al., 2009). Vale ressaltar que a EiC foi reduzindo ao longo dos estádios fenológicos e que as doses entre 300 a 400 g vaso⁻¹ apresentaram melhores respostas para essa variável, com exceção para os tratamentos com biocarvão de lodo de esgoto que causaram redução em função dos estádios e das doses aplicadas.

No que diz respeito a eficiência instantânea do uso da água (*A/E*), foram observadas respostas distintas para os estádios fenológicos, onde aos 20 DAS (período vegetativo), os dados se ajustaram à duas equações quadráticas para os compostos com casca de coco verde e lodo de esgoto, esse último, apresentou respostas superiores em todas as doses avaliadas em comparação ao composto de casca de coco, porém, as tendências foram semelhantes, em que doses entre 100 e 300 g vaso⁻¹ causaram redução, encontrando os pontos

mínimos de 3,34 e 3,11 mmol CO₂ mol⁻¹ H₂O, respectivamente. Para os tratamentos com bagana de carnaúba e biocarvão de lodo de esgoto, houve incrementos lineares de 0,00289 e 0,00296 mmol CO₂ mol⁻¹ H₂O, respectivamente, para cada aumento de 1 g vaso⁻¹ (Figura 18A).

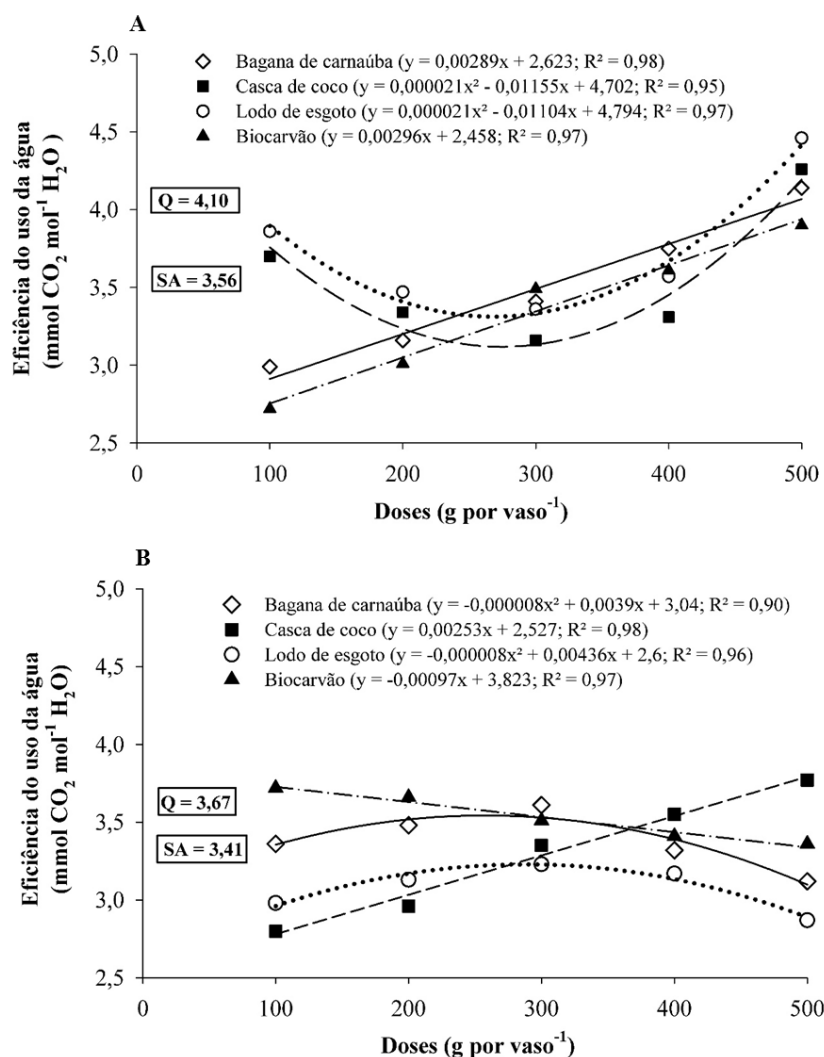


Figura 18 - Eficiência instantânea do uso da água em plantas de feijão-de-corda, aos 20 (A) e 30 (B) dias após a semeadura cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

Em relação ao estágio de pré-floração (30 DAS), ajustaram-se duas equações quadráticas para os tratamentos com bagana de carnaúba e lodo de esgoto, encontrando pontos máximos de 3,52 e 3,19 mmol CO₂ mol⁻¹ H₂O, com as respectivas doses: 243,8 e 272,5 g vaso⁻¹. Para os tratamentos com biocarvão, foi verificado uma redução linear em função das doses aplicadas, com uma porcentagem de diferença de 10,41%, enquanto que para o composto casca de coco houve acréscimo linear com uma diferença de 26,71% da

menor dose para a maior (Figura 18B).

A água é o fator ambiental mais relevante para o desenvolvimento das plantas, de modo que seu excesso ocasiona sérios prejuízos, podendo afetar a aeração na zona radicular e a lixiviação dos nutrientes enquanto que sua falta pode inibir o crescimento e afetar o metabolismo fisiológico, de forma que a manutenção do status hídrico, e consequentemente a EUA é de suma importância para o sucesso produtivo (BILIBIO et al., 2010; LIMA et al., 2012). Vale ressaltar ainda que o aumento da eficiência da água pode estar associado também com a redução da condutância estomática, uma vez que a planta fecha seus estômatos para reduzir a perda de água para a atmosfera (TAIZ et al., 2017). Assim, os resultados positivos encontrados no período vegetativo (20 DAS) para o tratamento com biocarvão podem ser explicados pela redução da g_s , o que foi verificado na Figura 15A.

6.3 Variáveis nutricionais

6.3.1 Macronutrientes

Para o acúmulo de macronutrientes (mg planta^{-1}), verificou-se que: nitrogênio, potássio e cálcio sofreram influências tanto pelos fatores isolados (fontes e doses) quanto por sua interação, enquanto que o fósforo, magnésio e enxofre foram influenciados apenas pelas fontes de adubos utilizadas (Tabela 7).

Tabela 7 - Análise de variância para o acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea de plantas de feijão-de-corda, cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

FV	GL	Quadrado Médio					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Fontes (F)	3	322738**	43635**	211310**	2006732**	125569**	19680**
Doses (D)	4	89170**	5840 ns	75127**	89658*	4052 ns	8394 ns
Int. F x D	12	60698**	404 ns	24835**	60639*	6711 ns	7749 ns
Fat. x Adic.	1	756018**	91766**	2649096**	846089**	175020**	233693**
Adic. x Test.	1	728126**	392056*	2574100**	1151962**	25606**	6625 ns
Resíduo	84	8815	348	3975	26168	1204	3419
Total	109	-	-	-	-	-	-
Média Geral		1090,23	137,02	297,83	1424,98	388,51	272,86
CV (%)		8,61	13,62	21,17	11,35	8,93	21,43

*, ** = Significativo a 5% e a 1 % pelo teste F, respectivamente e ns = não significativo.

No que diz respeito ao acúmulo de N, ajustaram-se duas equações quadráticas para os tratamentos com casca de coco verde e lodo de esgoto, encontrando pontos máximos de 1359,33 e 1269,22 mg planta^{-1} quando as plantas foram adubadas com as doses de 254,7 e 268,6 g vaso^{-1} , respectivamente. Para os tratamentos com bagana de carnaúba verificou-se um incremento linear de 0,4498 mg planta^{-1} de N para cada aumento de 1 g vaso^{-1} , apresentando um acúmulo de 1190,3 mg planta^{-1} de N na dose 500 g vaso^{-1} , enquanto que os tratamentos com biocarvão ocasionaram uma redução de 0,772 mg planta^{-1} de N para cada g a mais do composto aplicado (Figura 19A). Para o acúmulo de P, o tratamento químico apresentou a maior média absoluta, seguida dos tratamentos com bagana de carnaúba e casca de coco. Ao comparar a média do composto de bagana de carnaúba com o de biocarvão, verificou-se uma superioridade de 62,5%, para o primeiro em detrimento do segundo (Figura 19B).

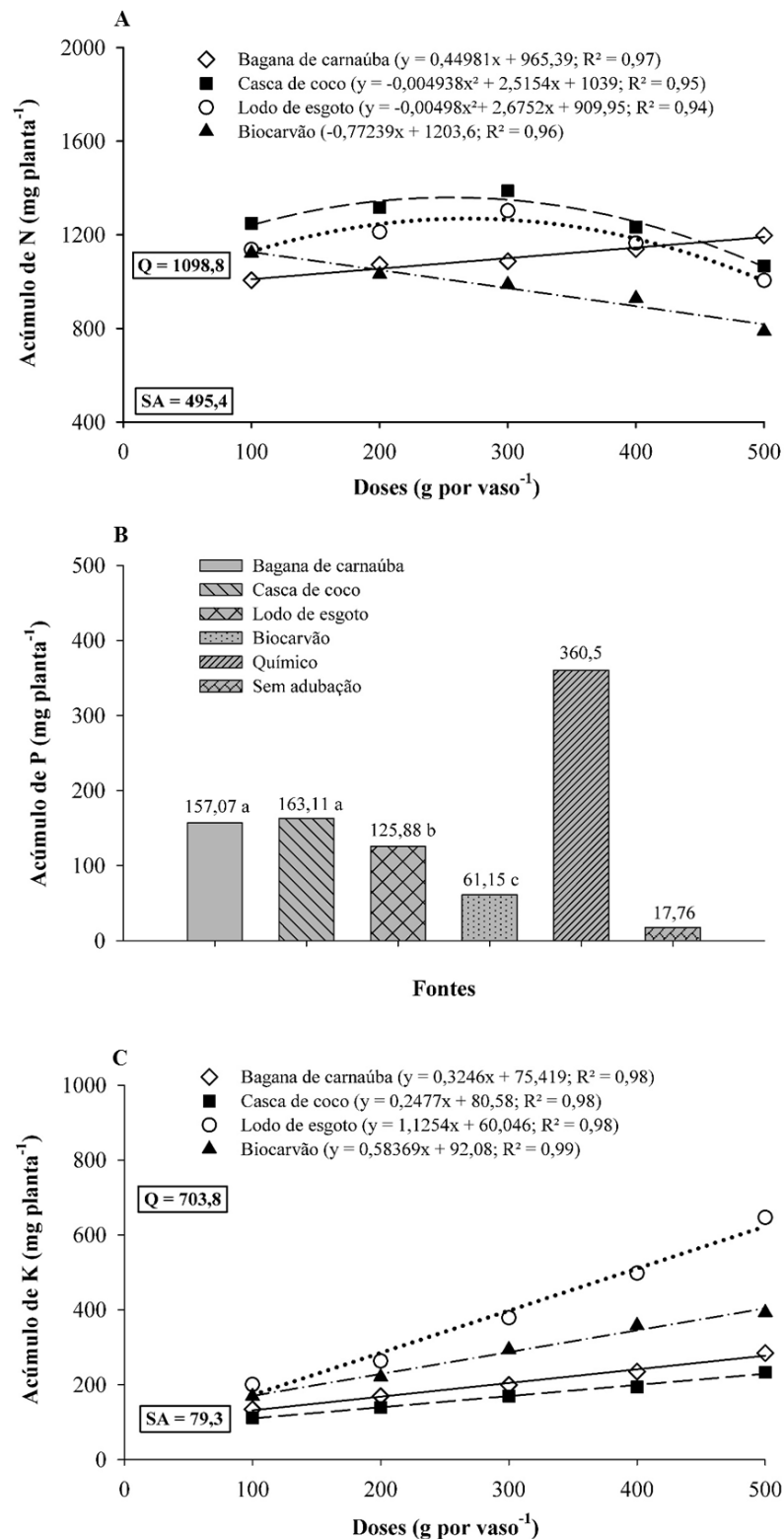


Figura 19 - Acúmulo de nitrogênio (A), fósforo (B) e potássio (C) na parte aérea de plantas de feijão-de-corda, cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

Em relação ao acúmulo de K, de modo geral, as plantas responderam de forma crescente aos tratamentos aplicados, verificando incremento linear para todos os tratamentos orgânicos com destaque para o lodo de esgoto e biocarvão, em todas doses testadas, verificando uma diferença de 72,28% entre a menor e maior dose para o lodo de esgoto e de 60,81% para o biocarvão (Figura 19C). Vale ressaltar que o acúmulo crescente desse nutriente na parte aérea, em todos os compostos avaliados, indicam que a planta requeria uma quantidade do nutriente além do que estava sendo fornecido, nesse sentido, a disponibilidade de K no solo (Tabela 2) foi maior quando as plantas foram adubadas com o composto de lodo de esgoto, o que culminou em um maior acúmulo de K para esses tratamentos.

Sabe-se que os atributos químicos e físicos do solo, bem como suas interações podem influenciar a absorção e acúmulo de nutrientes pelas plantas e provocar alterações em seu desenvolvimento (VALADÃO et al., 2017). Nesse sentido, Lourenço et al. (2013) avaliando a absorção de nutrientes pelo feijoeiro adubado com cama de aves e fertilizantes minerais verificaram que o tratamento com PK mineral proporcionou acúmulo de N nas plantas semelhante ao ocasionado pelas camas de aves. No caso do presente experimento, o acúmulo de N para os tratamentos com casca de coco, lodo de esgoto e bagana (nas maiores doses) foram superiores até mesmo ao tratamento adicional químico, isso ocorreu pelo valor superior de matéria orgânica no solo em relação ao tratamento químico (Tabela 2), pois quando mineralizada, a MO pode atuar no fornecimento de N.

Em relação ao acúmulo de fósforo, Magalhães et al. (2017) verificaram que a aplicação de adubo orgânico proporcionou aumento do teor de P com a maior dose aplicada (40 t ha^{-1}) e segundo Crusciol et al. (2013), o fornecimento de fósforo estimula o crescimento radicular. Então, o maior acúmulo de P nas plantas adubadas com casca de coco e bagana (Figura 19B), sugere que as plantas tenham apresentado um sistema radicular mais desenvolvido, o que foi confirmado através do gráfico para MSR (Figura 12B) e isso pode ter contribuído tanto para a absorção dos nutrientes quanto para a produção da cultura. Vale ressaltar que o composto de casca de coco forneceu ao solo uma maior quantidade de P em relação aos demais (Tabela 2), e essa quantidade refletiu no acúmulo deste nutriente.

Para o acúmulo de Ca na parte aérea foram ajustadas duas equações quadráticas para os tratamentos com bagana de carnaúba e lodo de esgoto, encontrando os pontos máximos de $1718,85$ e $1627,38 \text{ mg planta}^{-1}$ de Ca quando foram adubadas com doses de $301,4$ e $323,3 \text{ g vaso}^{-1}$. Os tratamentos com casca de coco verde apresentaram incremento linear de $0,83 \text{ mg planta}^{-1}$ de Ca para cada aumento de 1 g vaso^{-1} , enquanto que o biocarvão apresentou uma redução linear de $0,92 \text{ mg planta}^{-1}$ de Ca. Pode ser observado também que a

na dose de 300 g vaso⁻¹ todos os compostos, com exceção do biocarvão, apresentaram médias superiores, em termos absolutos, ao tratamento químico (Figura 20A).

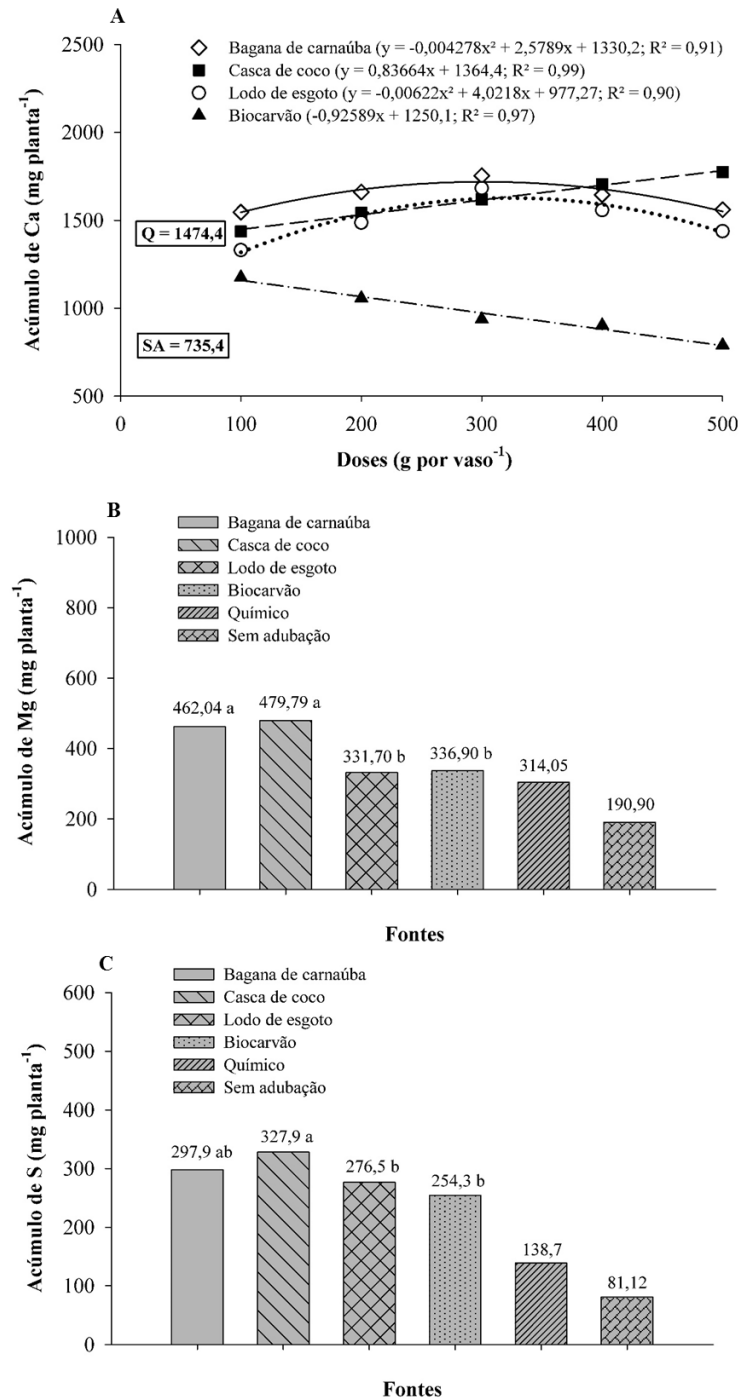


Figura 20 - Acúmulo de cálcio (A), magnésio (B) e enxofre (C) na parte aérea de plantas de feijão-de-corda, cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

Para o acúmulo dos nutrientes magnésio (Figura 20B) e enxofre (Figura 20C) foram verificadas respostas semelhantes, nos quais os tratamentos com casca de coco verde e bagana de carnaúba proporcionaram as maiores médias, em relação aos demais compostos, ainda que a bagana não tenha diferido significativamente do lodo e biocarvão quanto ao acúmulo de S. Ao comparar as maiores médias absolutas (obtidas com o composto de casca de coco) com o tratamento adicional sem adubação, observa-se incrementos de 60,21% de Mg e 75,25% de S. O enxofre, assim como outros nutrientes, apresenta importância no crescimento e desenvolvimento das plantas, principalmente por participar da constituição proteica (FIORINI et al., 2017). Nesse sentido, Alvarez et al. (2007) afirmam que deve haver um equilíbrio entre as concentrações de N e S no solo e na planta para melhores resultados no crescimento e no estado nutricional do vegetal e mesmo os valores de N e S no solo não serem apresentados na Tabela 2, podemos correlacionar esse nutrientes com os valores de MO, pois quando mineralizada ela pode atuar no fornecimento de N e S.

Então, os maiores valores no acúmulo de S na parte aérea das plantas de feijão-de-corda podem ser explicados através de uma maior quantidade de MO nos compostos orgânicos em relação ao tratamento químico (Tabela 2). Em complemento, Albuquerque & Albuquerque Neto (2008), avaliando a concentração e marcha de absorção de nutrientes pela alface, verificaram que as plantas cultivadas com substrato com casca de coco apresentaram maior acúmulo de S, fato que também pode ser constatado no presente estudo.

Para o acúmulo de Ca e Mg, podemos observar nas Figuras 20A e 20B, que tanto o acúmulo de Ca quanto de Mg foram, em geral, superiores quando as plantas de feijão-de-corda foram adubadas com os compostos de casca de coco verde e bagana de carnaúba, sugerindo que as concentrações desses nutrientes no solo estavam adequadas e não sofreram interação negativa. Ao observar a Tabela 2, podemos verificar que a quantidade de cálcio no solo foi superior quando se aplicou esses compostos, o que justifica os resultados positivos para o acúmulo de Ca na parte aérea, explicado pela aplicação de gesso durante o processo de compostagem. É importante salientar que Ca e Mg são macronutrientes cruciais para o desenvolvimento vegetal, em que o Ca tem função estrutural, participando da composição da parede celular enquanto o Mg atua, principalmente, como átomo central da molécula de clorofila (SALVADOR et al., 2011; TAIZ et al., 2017), assim, o acúmulo positivo desses nutrientes pode explicar os resultados satisfatórios para as variáveis fisiológicas.

6.4.2 Micronutrientes e alumínio

Para o acúmulo de micronutrientes ($\mu\text{g planta}^{-1}$), observou-se que o cobre, manganês, níquel e alumínio sofreram influência tanto dos fatores isolados, como pela interação entre eles. Já os acúmulos de ferro, zinco e boro foram influenciados apenas pelo fator fontes, ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F (Tabela 8).

Tabela 8 - Análise de variância para o acúmulo de cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), boro (B), Níquel (Ni) e alumínio (Al) na parte aérea de plantas de feijão-de-corda, cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

FV	GL	Quadrado Médio						
		Cu	Fe	Zn	Mn	B	Ni	Al
Fontes (F)	3	43812**	2212929**	1894405**	10503787**	308284**	3444911*	57844999**
Doses (D)	4	4426**	416260 ns	1216633 ns	14735603**	269065 ns	34576,4 ns	5931842**
Int. F x D	12	56577**	393808 ns	1450366 ns	27228486**	52475 ns	33289,4 ns	3481935*
Fat. x Adic.	1	59000**	3908742**	2371194**	36674592**	82,45 ns	365768**	9284059*
Adic. x Test.	1	3232 ns	36904358*	11134952*	25039275**	455006**	1005,76 ns	3181377 ns
Resíduo	84	830,7	534451	1037433	2049693	33629	6595,75	1449833
Total	109	-	-	-	-	-	-	-
Média Geral		219,9	3137,91	8298,59	5815,83	1636,69	140,60	2161,32
CV (%)		13,10	23,30	12,27	24,62	11,20	25,12	25,71

*, ** = Significativo a 5% e a 1 % pelo teste F, respectivamente e ns = não significativo.

Para o acúmulo de Cu, foram ajustadas equações lineares decrescentes para os tratamentos com lodo de esgoto e casca de coco verde, com reduções de 0,269 e 0,133 $\mu\text{g planta}^{-1}$ de Cu para cada aumento de 1 g vaso⁻¹, respectivamente. Para os tratamentos com biocarvão foi verificada uma diferença, da menor para a maior dose, de 26,2%, evidenciando excesso de Cu. Os dados para os tratamentos com bagana de carnaúba não se ajustaram a nenhuma equação, apresentando uma média de 210,3 $\mu\text{g planta}^{-1}$ de Cu enquanto que o químico e sem adubação apresentaram médias de 178 e 118 $\mu\text{g planta}^{-1}$ de Cu, respectivamente (Figura 21A). Em relação ao acúmulo de Fe, observou-se que o tratamento químico apresentou a maior média absoluta, seguido pelos tratamentos com lodo e biocarvão (Figura 21B).

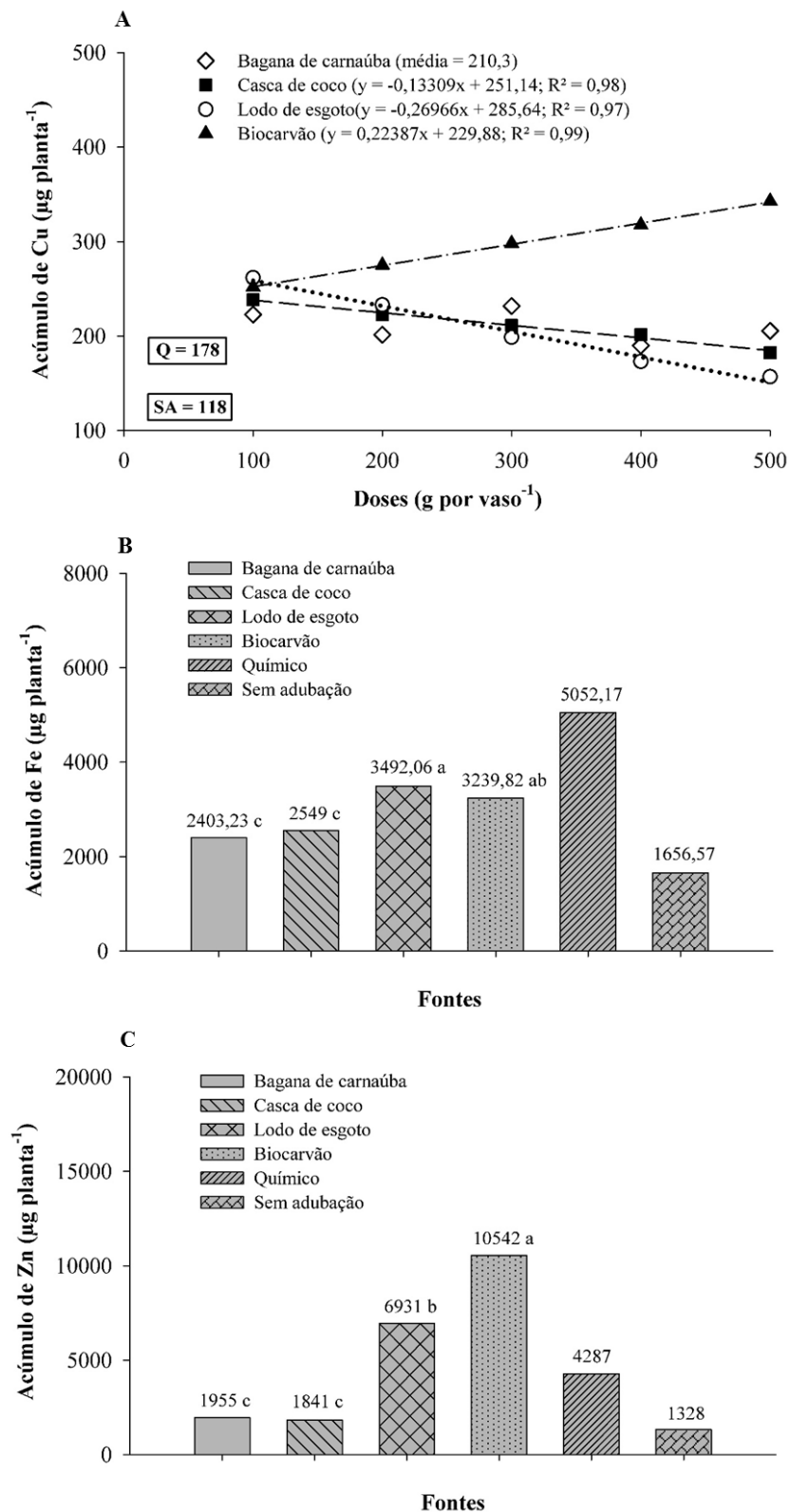


Figura 21 - Acúmulo de cobre (A), ferro (B) e zinco (C) na parte aérea de plantas de feijão-de-corda, cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

No que diz respeito ao Zn, verificou-se que os tratamentos com biocarvão e lodo de esgoto apresentaram as maiores médias enquanto que os compostos com bagana de carnaúba e casca de coco apresentaram médias estatisticamente inferiores. Ao comparar a maior média com o composto com casca de coco, nota-se uma diferença de 82,54% (Figura 21C). Esse maior acúmulo de Zn está diretamente relacionado com o maior fornecimento do mesmo pelos tratamentos com biocarvão (Tabela 2). Em termos práticos, o Zn desempenha importantes funções nas plantas, porém, a quantidade necessária de zinco no solo é pequena, devido o requerimento baixo desse nutriente pelas culturas (ROMUALDO, 2008; MARSCHNER, 2012). Então, essa maior quantidade no solo (Tabela 2) e maior acúmulo na parte aérea, quando aplicou-se os tratamentos com biocarvão, provocou efeito contrário, o que culminou numa redução no crescimento, o que pode ser observado em todas as variáveis biométricas avaliadas.

O Cu, Fe e Zn são micronutrientes que fazem parte de diversos compostos orgânicos e atuam em vários processos biológicos do organismo vegetal. No entanto, o excesso desses elementos no solo e, conseqüentemente, nos tecidos vegetais pode provocar sintomas de toxidez, como inibição da absorção de nutrientes, alteração em processos fisiológicos e bioquímicos, e danos na estrutura do sistema radicular, prejudicando o crescimento e o desenvolvimento das plantas (MELO et al., 2016). Dessa forma, as quantidades superiores desses nutrientes nos tratamentos com biocarvão em relação aos compostos orgânicos causou um efeito deletério, provocando redução no crescimento e nas trocas gasosas, como um todo.

A respeito do acúmulo de Mn, observou-se que os tratamentos com os compostos com biocarvão e casca de coco apresentaram incrementos lineares de 6,40 e 1,64 $\mu\text{g planta}^{-1}$ de Mn para cada aumento de 1 g vaso⁻¹, respectivamente, em que o primeiro apresentou os maiores valores de Mn. Já os tratamentos com lodo apresentaram redução, com diferença de 45,84% da menor para a maior, enquanto que o tratamento com bagana não se ajustou a nenhum modelo testado, apresentando uma média de 2351,5 $\mu\text{g planta}^{-1}$ de Mn (Figura 22A). Para o acúmulo de boro, observou-se que o tratamento com biocarvão apresentou média inferior aos demais compostos testados, verificando uma redução de 22,08% em relação ao composto com bagana de carnaúba (Figura 22B).

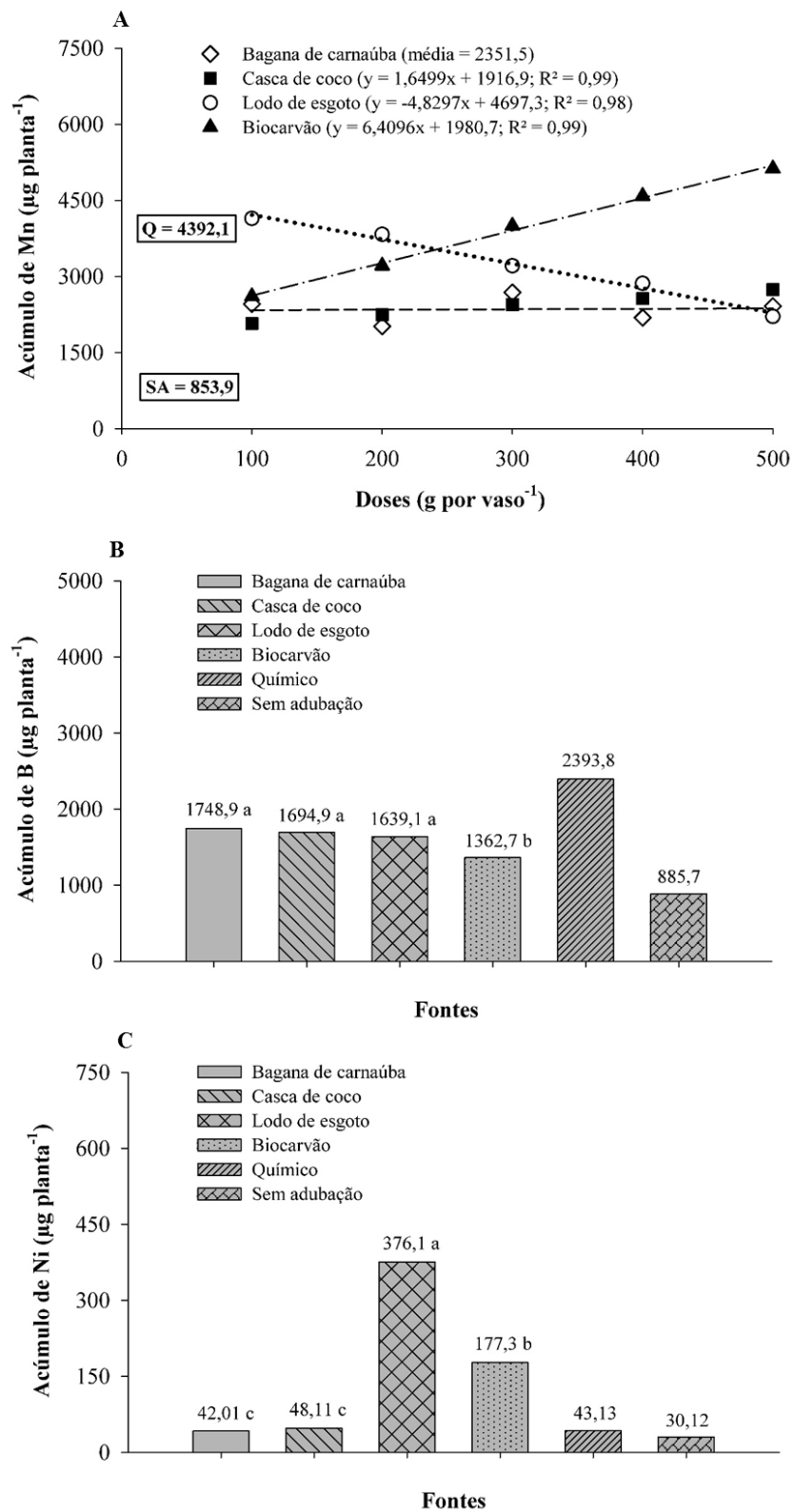


Figura 22 - Acúmulo de manganês (A), boro (B) e níquel (C) na parte aérea de plantas de feijão-de-corda, cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

Em relação ao acúmulo de Mn foi verificada resposta crescente para os tratamentos com biocarvão, em função do aumento das doses, o que está de acordo com as quantidades desse nutriente no solo (Tabela 2). Entretanto, Foy et al. (1978), afirma que o excesso de manganês pode causar efeito tóxico, reduzindo o desenvolvimento do sistema radicular, o que pode ser facilmente observado na Figura 13B. Já para o acúmulo de boro, resultados semelhantes foram observados por Trazzi et al. (2014) que avaliando o crescimento e a nutrição de mudas de teca (*Tectona grandis*) produzidas em substratos orgânicos à base de lodo de esgoto, casca de arroz carbonizada e fibra de coco verificaram que os teores de B foram superiores quando utilizou-se apenas a fibra de coco, o que favoreceu o crescimento das mudas.

Para o acúmulo de Ni (Figura 22C), foi verificado que o tratamento com lodo de esgoto apresentou a maior média, seguido pelo tratamento com biocarvão de lodo, apresentando uma diferença de 88,83% do tratamento com bagana de carnaúba. É importante deixar claro, que ao avaliar os teores de Ni do tratamento com lodo de esgoto, mesmo apresentando uma diferença significativa dos demais tratamentos, a quantidade de Ni presente na parte aérea está dentro da faixa aceitável ($0,01$ a 10 mg kg^{-1}), conforme Brown, et al. (1987) e Gerendás et al. (1999), logo, percebe-se que a aplicação do lodo de esgoto de forma adequada não causa prejuízos à saúde, levando em consideração a cultura e o órgão avaliado.

O níquel é requerido em concentrações muito baixas, de forma que o conteúdo presente nas sementes já é suficiente para que as novas plantas completem o ciclo produtivo (REIS et al., 2014). Então, o maior acúmulo de Ni através da aplicação do lodo de esgoto e biocarvão, se devem à presença em maior quantidade desse elemento nesses tratamentos (Tabela 2), contudo, a quantidade de Ni no tecido (6 mg kg^{-1}), está dentro da faixa aceitável para os teores de Ni e as plantas não apresentaram qualquer sintoma de toxidez, evidenciando valores abaixo do nível de toxidez ($>10 \text{ mg kg}^{-1}$).

Para o acúmulo de Al, ajustaram-se duas equações lineares para os tratamentos com biocarvão e casca de coco, com acréscimos de $3,68$ e $2,0 \text{ } \mu\text{g planta}^{-1}$ de Al para cada aumento de 1 g vaso^{-1} adicionada, respectivamente. Para os tratamentos com lodo de esgoto, encontrou-se um ponto máximo de $5235,28 \text{ } \mu\text{g planta}^{-1}$ quando foi aplicada uma dose de $278,4 \text{ g vaso}^{-1}$. Vale ressaltar que os dados dos tratamentos com bagana de carnaúba não se ajustaram a nenhum modelo testado, apresentando uma média de $1108,3 \text{ } \mu\text{g planta}^{-1}$ enquanto que os tratamentos adicionais, químico e sem adubação, apresentaram médias de $1968,8$ e $503,7 \text{ } \mu\text{g planta}^{-1}$, respectivamente (Figura 23).

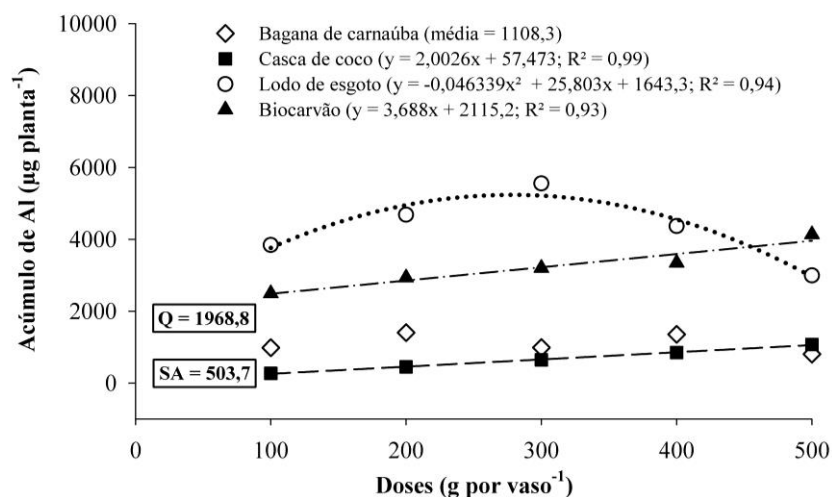


Figura 23 - Acúmulo de alumínio na parte aérea de plantas de feijão-de-corda, cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

A decomposição do lodo de esgoto gera agentes complexantes que facilitam a solubilização de fosfato combinado a ferro e alumínio no solo, bem como libera, gradualmente, nutrientes para as plantas (FERNANDES et al., 1996). Então, o aumento no acúmulo de Al nos tratamentos com lodo de esgoto e biocarvão, estão relacionados com a solubilização dos mesmos no solo, bem como pela própria constituição do lodo, o que pode ser observado através da Tabela 2 (H + Al), onde verificou-se maior acidez potencial no solo adubado com os respectivos tratamentos.

6.4.3 Metais pesados e selênio

Na análise de variância apresentada na Tabela 9, verificou-se que o acúmulo de cromo e chumbo não sofreram influências por nenhum dos fatores avaliados, constatando também quantidades inexpressivas desse elemento, ou seja, dentro da faixa aceitável, como pode ser observado na média geral da Tabela 9. Vale ressaltar que os elementos cádmio, mercúrio e selênio também foram avaliados, porém não foi verificada leitura nas amostras.

Tabela 9 - Análise de variância para cromo (Cr), níquel (Ni) e chumbo (Pb) em plantas de feijão-de-corda cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

FV	GL	Quadrado Médio	
		Cr	Pb
Fontes (F)	3	20076,11 ns	1414,06 ns
Doses (D)	4	1556,64 ns	212,58 ns
Int. F x D	12	1376,58 ns	1017,68 ns
Fat. x Adic.	1	9553,52**	3660,98 ns
Adic. x Test.	1	30,42 ns	1005,76 ns
Resíduo	84	292,64	315,92
Total	109	-	-
Média Geral		51,12	20,94
CV (%)		27,29	24,88

*, ** = Significativo a 5% e a 1 % pelo teste F, respectivamente e ns = não significativo.

O lodo de esgoto é uma fonte potencial de nutrientes e matéria orgânica para o solo, porém, ainda é pouco explorado na agricultura, devido ao fato de conter substâncias inorgânicas e orgânicas poluentes, tais como metais pesados que podem causar impactos negativos à saúde. No entanto, os resultados obtidos neste experimento, indicam que ao ser aplicado ao solo após um processo de compostagem para o cultivo de feijão-de-corda e seguindo a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 375/2006, o lodo de esgoto não causa nenhum prejuízo à saúde, visto que a quantidade desses elementos no tecido vegetal é insignificante.

6.4 Variáveis produtivas

Quanto as variáveis produtivas (Tabela 10), verificou-se que para o número de vagens, apenas o fator isolado fontes de adubo apresentou significância. Já para a interação entre os fatores isolados (fontes e doses), as variáveis que sofreram influência foram: peso das vagens e produção por planta. Vale salientar que, o comprimento das vagens e o número de sementes por vagem, não apresentaram respostas significativas para nenhum fator estudado.

Tabela 10 - Análise de variância para comprimento da vagem (CV), número de vagens (NV), peso das vagens (PV), número de sementes por vagem (NSP) e produção (PROD) de plantas de feijão-de-corda, aos 50 DAS, cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

FV	GL	Quadrado Médio				
		CV (cm)	NV	PV (g)	NSP	PROD (g planta ⁻¹)
Fontes (F)	3	5,54 ns	9,15**	132,62**	0,65 ns	94,26**
Doses (D)	4	0,52 ns	0,72 ns	16,42**	4,56 ns	17,51**
Int. F x D	12	2,67 ns	1,75 ns	51,67**	3,82 ns	27,19**
Fat. x Adic.	1	0,11 ns	1,31 ns	6,09*	1,18 ns	0,48*
Adic. x Test.	1	78,40**	36,1**	901,17**	36,10**	680,62**
Resíduo	84	4,27	0,74	2,57	3,11	2,93
Total	109	-	-	-	-	-
Média Geral		25,90	0,29	17,16	14,37	13,69
CV (%)		7,98	4,70	9,35	12,28	12,51

*, ** = Significativo a 5% e a 1 % pelo teste F, respectivamente e ns = não significativo.

A adubação química proporcionou o maior o número de vagens, em relação aos demais tratamentos, seguido pelos compostos orgânicos com bagana de carnaúba, casca de coco e lodo de esgoto (Figura 24A). Ao comparar as médias desses compostos orgânicos com o tratamento de biocarvão, verificou-se uma superioridade de 33,33%. Em relação ao peso das vagens (Figura 24B), ajustaram-se duas equações quadráticas, com pontos máximos de 45,95 g para os tratamentos com lodo de esgoto e de 41,74 g para a casca de coco, quando as plantas foram adubadas com as doses de 285 e 312,3 g vaso⁻¹, respectivamente. Para os tratamentos com bagana de carnaúba verificou-se um acréscimo linear de 0,040 g planta⁻¹ para cada aumento de 1 g vaso⁻¹, enquanto que o biocarvão ocasionou uma redução linear total de 47,65%. Os tratamentos adicionais apresentaram os extremos das médias, em termos

absolutos, com destaque para o tratamento químico.

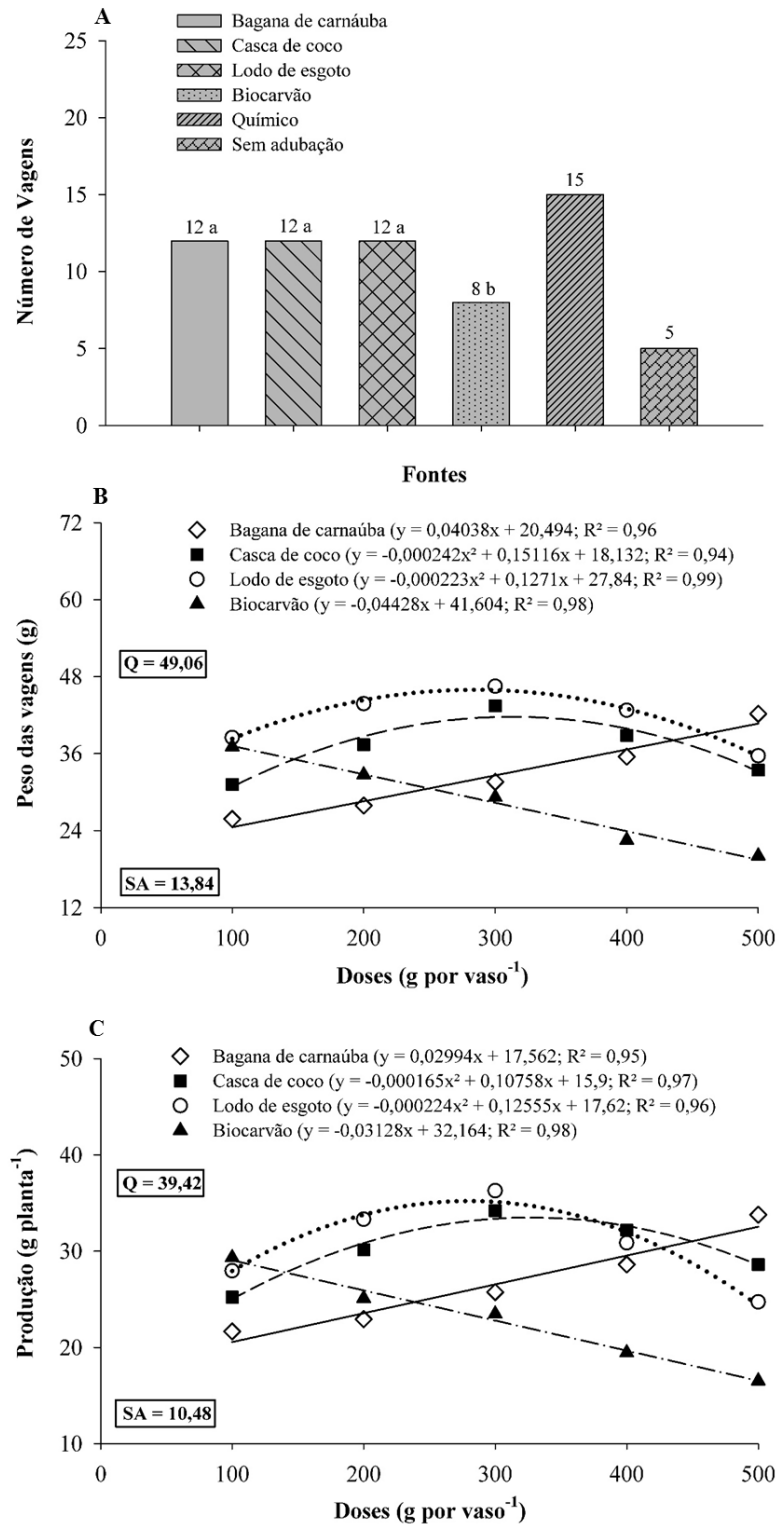


Figura 24 - Número de vagens (A), peso das vagens (B) e produção (C) de plantas de feijão-de-corda, cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos, Fortaleza – CE, 2019.

No que diz respeito à produção por planta (Figura 24C), foram observados resultados semelhantes ao peso das vagens, uma vez que são variáveis diretamente relacionadas. Novamente foram verificados ajustes quadráticos para os tratamentos com lodo de esgoto e casca de coco, encontrando os pontos máximos de 35,21 e 33,44 g planta⁻¹, com as doses de 280,2 e 326 g vaso⁻¹. Os tratamentos com bagana de carnaúba apresentam incremento linear com uma diferença, entre a menor e a maior dose, de 36,8%, enquanto que o biocarvão apresentou redução linear de 0,031 g planta⁻¹ para cada aumento de 1 g vaso⁻¹. Novamente, os tratamentos adicionais apresentaram os extremos das médias, em termos absolutos, com destaque para o tratamento químico.

O resultados encontrados no presente trabalho corroboram com os de Lobo et al. (2012), que avaliando o efeito do nitrogênio e do lodo de esgoto nos fatores produtivos do feijoeiro, verificaram que o número de vagens e o rendimento dos grãos foram superiores quando as plantas foram adubadas com composto de lodo de esgoto em relação ao tratamento sem adubação, associando esses resultados especialmente ao nitrogênio. Em complemento, Guareschi et al. (2013), ao analisarem a adubação orgânica no feijão azuki, verificaram aumento na produtividade de grãos semelhante à adubação química.

Logo, os resultados positivos encontrados para os aspectos produtivos quando as plantas foram adubadas com lodo de esgoto devem-se, provavelmente, ao fornecimento de quantidades satisfatórias de nitrogênio e potássio para as plantas, que realocaram esses nutrientes para os órgãos reprodutivos, aumento assim o desempenho produtivo da cultura. O nitrogênio e o potássio são alguns dos nutrientes mais exigidos pelo feijoeiro, sendo determinantes no rendimento de grãos haja vista que sua resposta à adubação tem sido positiva no país, de forma generalizada (MOREIRA et al., 2013). O fornecimentos desses nutrientes no solo podem ser observados na Tabela 2, onde pode-se confirmar através dos resultados de MO e K maiores quantidades dos mesmos, o que refletiu na produção.

7 CONCLUSÕES

Os compostos orgânicos com bagana de carnaúba e coco verde promoveram resultados satisfatórios para o crescimento, fisiologia, nutrição e produção na cultura do feijão-de-corda, sendo, portanto, alternativas viáveis para substituição ou complementação à adubação química e a dose indicada é a de 300 g vaso⁻¹, levando em consideração a disponibilidade do material e o custo/benefício.

A ordem do acúmulo de nutrientes na parte aérea foi Ca>N>K>Mg>S>P para macronutrientes e Fe>Mn>B>Zn>Cu para micronutrientes.

A aplicação dos compostos com bagana de carnaúba e coco verde ao solo resultaram em maior acúmulo de macronutrientes enquanto que a aplicação do composto de lodo de esgoto e biocarvão resultaram no maior acúmulo de micronutrientes.

O biocarvão de lodo de esgoto provocou redução na maioria das variáveis biométricas, fisiológicas e produtivas, indicando que as plantas sofreram efeito tóxico, sendo necessário, portanto, a experimentação de doses inferiores às testadas em novas pesquisas.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, T. C. S.; ALBUQUERQUE NETO, A. A. R. Concentração e marcha de absorção de nutrientes minerais e acúmulo de matéria fresca na alface cultivada em três substratos. In: **Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. Desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental: anais. Londrina: Embrapa Soja: SBCS: IAPAR: UEL, 2008.
- ALVAREZ, V. V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. Enxofre. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 595-644.
- ANDRADE, L. A. B. **Aplicação de fertilizantes fluidos na cultura do feijão**. 2017. 41p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Agrônômica) - Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ), Sete Lagoas, 2017.
- ANJOS, D. N.; VASCONCELOS, R.; MENDES, H. T. A.; ANNE, C. V. C. Trocas gasosas em plantas de feijoeiro submetidas à fitoreguladores, NPK e micronutrientes. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, GO, v. 10, n. 19, p. 1796-1802, 2014.
- AQUINO, S. F.; NUNES, R. P. Estrutura genética de populações de caupi e suas implicações no melhoramento genético através da seleção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 4, p. 399-412, 1983.
- ARAÚJO, E. F.; AGUIAR, A. S.; ARAUCO, M. A. S.; GONÇALVES, E. O.; ALMEIDA, K. N. S. Crescimento e qualidade de mudas de paricá produzidas em substratos à base de resíduos orgânicos. **Revista Nativa**, Mato Grosso, v. 5, n. 1, p. 16-23, 2017.
- ARAÚJO, E. R.; SILVA, T. O.; MENEZES, R. S. C.; FRAGA, V. S.; SAMPAIO, E. V. S. B. Biomassa e nutrição mineral de forrageiras cultivadas em solos do semiárido adubados com esterco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 9, p. 890-895, 2011.
- ATKINSON, C. J.; FITZGERALD, J. D.; HIPPS, N. A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. **Plant and soil**, v. 337, n. 1-2, p. 1-18, 2010.
- BARROS, J. D. S. Contribuições da matéria orgânica do solo para mitigar as emissões agrícolas de gases de efeito estufa. **POLÊMICA**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 341-351, 2013.
- BEESELEY, L.; MORENO-JIMÉNEZ, E.; GOMEZ-EYLES, J. L.; HARRIS, E.; ROBINSON, B.; SIZMUR, T. A review of biochars' potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils. **Environmental pollution**, v. 159, n. 12, p. 3269-3282, 2011.
- BELTRÃO JÚNIOR, J. A.; CRUZ, J. S.; SOUSA, E. C.; SILVA, L. A. Rendimento do feijão-caupi adubado com diferentes doses de biofertilizante orgânico produzido através da

biodegradação acelerada de resíduos do coqueiro no município de Trairí-ce. **Irriga**, Botucatu, edição especial, p. 423-437, 2012.

BILIBIO, C.; CARVALHO, J. A.; MARTINS, M.; REZENDE, F. C.; FREITAS, W. A.; GOMES, L. A. A. Função de produção da berinjela irrigada em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 1, p. 10-22, 2010.

BITTENCOURT, S.; AISSSE, M. M., SERRAT, B. M. Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do estado do Paraná, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 6, p. 1129-1139, 2017.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14. ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA. 2008. 965 p.

BRANT, R. S.; PINTO, J. E. B. P.; ROSA, L. F.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; FERRI, P. H.; CORRÊA, R. M. Crescimento, teor e composição do óleo essencial de melissa cultivada sob malhas fotoconversoras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1401-1407, 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução Conama nº 375, de 29 de agosto de 2006. **Critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 30 ago. 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2019.

BRICK, S.; LYUTSE, S. Biochar: Assessing the promise and risks to guide US policy. **Natural Resources Defense Council**, New York, p. 1-15, 2010.

BROWN, P. H.; WELCH, R. M.; CARY, E. E. Nickel: a micronutrient essential for higher plants. **Plant Physiology**, v. 85, n. 3, p. 801-803, 1987.

CALDEIRA, M. V. W.; GOMES, D. R.; GONÇALVES, E. O.; DELARMELINA, W. M.; SPERANDIO, H. V.; TRAZZI, P. A. Biossólido como substrato para produção de mudas de *Toona ciliata* var. australis. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1009-1017, 2012.

CAMARGO, R.; MALDONADO, A. C.; SILVA, P. A., COSTA, T. R. Biossólido como substrato na produção de mudas de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1304-1310, 2010.

CARDOSO, A. I. I.; FERREIRA, K. P.; VIEIRA JÚNIOR, R. M.; ALCARDE, C. Alterações em propriedades do solo adubado com composto orgânico e efeito na qualidade das sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, p. 594-599, 2011.

CARDOSO, M. J. (Org.) **A cultura do feijão caupi no Meio-Norte do Brasil**. Embrapa/Meio-Norte. Teresina, PI. 2000. 264 p. (Circular técnica, 28).

CARMO, C. O.; SILVA, F.; SILVA, R. M.; SOARES, A. C. F. Utilização de compostos orgânicos inoculados com Actinobactéria na adubação de manjeriço (*Ocimum basillicum* L.). **Magistra**, Cruz das Almas, v. 30, p. 18-27, 2019.

CARVALHO, M. T. M.; MAIA, A. H. N.; MADARI, B. E.; BASTIAANS, L.; VAN OORT, P. A. J.; HEINEMANN, A. B.; SILVA, M. A. S.; PETTER, F. A.; MARIMON JUNIOR, B. H. MEINKE, H. Biochar increases plant-available water in a sandy loam soil under an aerobic rice crop system. **Solid Earth**, v. 5, n. 2, p. 939-952, 2014.

CAVATTE, P. C.; OLIVEIRA, A. A.; MORAIS, L. E.; MARTINS, S. C.; SANGIARD, L. M.; DAMATTA, F. M. Could shading reduce the negative impacts of drought on coffee? A morphophysiological analysis. **Physiologia Plantarum**, v. 144, n. 2, p. 111-122, 2012.

CONAB. **Produção média de feijão no Brasil**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em 02 de fevereiro de 2019.

CORREIA, D.; ROSA, M. F.; NORÕES, E. R. V.; ARAUJO, F. B. S. Uso do pó da casca de coco na formulação de substratos para formação de mudas enxertadas de cajueiro anão precoce. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 557- 558, 2003.

COSTA, R. S.; OLIVEIRA, L. K. B.; HOLANDA, I. K. B.; COELHO, M. F. B.; AMORIM, A. V. Vegetative propagation of lemon balm on different substrates. **Científica**, Jaboticabal, v. 45, n. 4, p. 392–397, 2017.

COUTO, R. R.; COMIN, J. J.; SOARES, C. R. F. S.; BELLI FILHO, P.; BENEDET, L.; MORAES, M. P.; BRUNETTO, G.; BEBER, C. L. Microbiological and chemical attributes of a Hapludalf soil with swine manure fertilization. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 7, p. 774-782, 2013.

CRAUFURD, P. Q.; ELLIS, R. H.; SUMMERFIELD, R. R. J.; MENIN, L. Development in cowpea (*Vigna unguiculata*). I. The influence of temperature on seed germination and seedling emergence. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 32, n. 1, p. 1-12, 1996.

CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; MAUAD, M.; SILVA, A. C. L. Desenvolvimento radicular e aéreo, nutrição e eficiência de absorção de macronutrientes e zinco por cultivares de arroz de terras altas afetadas pela adubação fosfatada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2061-2076, 2013.

CUNHA, A. C. M.; PAIVA, H. N.; XAVIER, A.; OTONI, W. C. Papel da nutrição mineral na formação de raízes adventícias em plantas lenhosas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Paraná, n. 58, p. 35-47, 2009.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I. Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 589- 602, 2011.

DEVI, P.; SAROHA, A. K. Effect of temperature on biochar properties during paper mill sludge pyrolysis. **International Journal of Chemistry Tech Research**, v. 5, n. 2, p. 682-687, 2013.

DOURADO NETO, D.; DARIO, G. J. A.; MARTIN, T. N.; SILVA, M. R.; PAVINATO, P. S.; HABITZREITER, T. L. Adubação mineral com cobalto e molibdênio na cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. supl 1, p. 2741-2752, 2012.

DOWNIE, A.; CROSKY, A.; MUNROE, P. Physical properties of biochar. **Biochar for environmental management: Science and Technology**, p.13-32, 2009.

EMBRAPA SOLOS. In: SILVA, F. C. S. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

ESCUDEY, M.; MORAGA, N.; ZAMBRA, C.; ANTILÉN, M. Sewage sludge disposal and applications: self-heating and spontaneous combustion of compost piles - trace metals leaching in volcanic soils after sewage sludge disposal. **Waste Water - Evaluation and Management**, v. 1, p. 399-430, 2011.

FAOSTAT. **Crops: production beans dry and green**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em 01 de fevereiro de 2019.

FAQUIN, V.; VALE, F. R.; FURTINI NETO, A. E. **Cultivo de plantas em ambiente controlado: solução nutritiva, hidroponia e em vasos com solo**. Lavras: UFLA, 2008.

FERNANDES, F.; ANDRAUS, S.; ANDREOLI, C. V.; BONNET, B. R. P.; BORGES, J.C.; CANTO, L. A.; MEDEIROS, M. L. B. Eficiência dos processos de desinfecção do lodo da ETE - Belém com vista a seu uso agrícola. **Sanaré**, Sobral, v. 5, n. 5, p. 46-58, 1996.

FERREIRA, A. G.; BORBA, S. N. S.; WIZNIEWSKY, J. G. A prática da compostagem para a adubação orgânica pelos agricultores familiares de Santa Rosa/RS. **Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 307-317, 2013a.

FERREIRA, C. S.; NUNES, J. A. R.; GOMES, R. L. F. Manejo de corte das folhas de *Copernicia prunifera* (Miller) H. E. Moore no Piauí. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 2, p. 25-30, 2013b.

FIORINI, I. V. A.; PINHO, R. G. V.; PEREIRA, H. D.; PIRES, L. P. M.; FIORINI, F. V. A.; RESENDE, E. L. Acúmulo de matéria seca, clorofila e enxofre foliar em milho adubado com diferentes fontes de enxofre. **Journal Bioenergy and Food Science**, v. 4, n. 1, p. 1-11, 2017.

FLYMAN, M.V.; AFOLAYAN, A.J. Effect of plant maturity on the mineral content of the leaves of *Momordica balsamica* L. and *Vigna unguiculata* Subsp. *sesquipedalis* (L.) Verdc. **Journal of Food Quality**, v. 31, p. 661-671, 2008.

FONSECA, M. R.; FERNANDES, A. R.; SILVA, G. R.; BRASIL, E. C. Teor e acúmulo de nutrientes por plantas de feijão caupi em função do fósforo e da saturação por bases. **Revista de Ciências Agrárias**, Amazônia, v. 53, n. 2, p. 195-205, 2010.

FOY, C. D.; CHANEY, R. L.; WHITE, M. C. The physiology of metal toxicity in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 29, n. 1, p. 511-566, 1978.

FREIRE, J. L. O.; CAVALCANTE, L. F.; DIAS, T. J.; DANTAS, M. M. M.; MACEDO, L. P. M.; AZEVEDO, T. A. O. Teores de micronutrientes no solo e no tecido foliar do maracujazeiro amarelo sob uso de atenuantes do estresse salino. **Agropecuária Técnica**, Paraíba, v. 36, n. 1, p. 65-81, 2015.

- FREITAS, G. A.; SOUSA, C. R.; CAPONE, A.; AFFÉRI, A. V. M.; SILVA, R. R. Adubação orgânica no sulco de plantio e sua influência no desenvolvimento do sorgo. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, n. 1, p. 61-67, 2012.
- GERENDÁS, J.; POLACCO, J. C.; FREYERMUTH, S. K.; SATTELMACHER, B. Significance of nickel for plant growth and metabolism. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 162, n. 3, p. 241-256, 1999.
- GHANI, W. A. W. A. K.; MOHD, A.; SILVA, G.; BACHMANN, R. T.; TAUFIQ-YAP, Y. H.; RASHID, U.; AL-MUHTASEB, A. A. H. Biochar production from waste rubberwood-sawdust and its potential use in C sequestration: Chemical and physical characterization. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 18-24, 2013.
- GODOY, L. C. A logística na destinação do lodo de esgoto. **Revista Científica on-line-Tecnologia, Gestão e Humanismo**, Guaratinguetá, v. 2, n. 1, p. 1-5, 2013.
- GONÇALVES, M. P. M.; SILVA, M. I. O.; GRUGIKI, M. A.; FELICIANO, A. L. P.; SILVA, L. B. Substratos alternativos na produção de mudas de *Harpalyce brasiliiana* benth. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, p. 464-472, 2019.
- GUARDINI, R.; COMIN, J. J.; SCHMITT, D. E.; TIECHER, T.; BENDER, M. A.; SANTOS, D. R.; MEZZARI, C. P.; OLIVEIRA, B. S.; BRUNETTO, G. Accumulation of phosphorus fractions in typic Hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep pig litter in a no-tillage system. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 93, n. 2, p. 215-225, 2012.
- GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; ROCHA, A. C.; ANDRADE, D. N. Adubação com cama de frango e esterco bovino na produtividade de feijão azuki (*Vigna angularis*). **Revista Agrarian**, Dourados, v. 6, n. 19, p. 29-35, 2013.
- HECK, K.; MARCO, É. G.; HAHN, A. B.; KLUGE, M.; SPILKI, F. R.; VAN DER SAND, S. T. Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 54-60, 2013.
- HOSSAIN, M. K.; STREZOV, V.; CHAN, K. Y.; ZIOLKOWSKI, A.; NELSON, P. F. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 1, p. 223-228, 2011.
- JAUER, A.; DUTRA, L. M. C.; ZABOT, L.; LUCCA FILHO, O. A.; LOSEKANN, M. E.; UHRY, D.; STEFANELO, C.; FARIAS, J. C.; LUDWIG, M. P. Análise de crescimento da cultivar de feijão pérola em quatro densidades de semeadura. **Revista da FZVA**, Rio Grande do Sul, v. 10, n. 1, p. 1-12, 2003.
- JORDAN, A.; ZAVALA, L. M.; GIL, J. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. **Catena**, v. 81, n. 1, p. 77-85, 2010.
- KLAR, A. E.; NOVA, N. A. V.; MARCOS, Z. Z.; CERVELLINI, A. Determinação da umidade do solo pelo método das pesagens. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**. Piracicaba, 23:16-30 p., 1966.

KLEIN, C.; AGNE, S. A. A. Fósforo: de nutriente à poluente. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 8, n. 8, p. 1713-1721, 2012.

LACERDA, C. F.; COSTA, R. N. T.; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Estratégias de manejo para uso de água salina na agricultura. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Eds.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCT Sal, 2010. p. 303-318.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA Artes e Textos, 2006. 532p.
LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed.). **Biochar for environmental management: science, technology and implementation**. Routledge, 2015. 907p.

LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S.; HOLANDA NETO, M. R.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1273- 1280, 2010.

LIMA, A. A. C.; OLIVEIRA, F. N. S.; AQUINO, A. R. L. Classificação e aptidão agrícola dos solos do Campo Experimental de Pacajus, Ceará, para a fruticultura. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. p. 20. (**Documentos, 53**).

LIMA, C. J. G. S.; OLIVEIRA, F. D. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M. K. T.; ALMEIDA JÚNIOR, A. B. Resposta do feijão caupi a salinidade da água de irrigação. **Revista Verde Agroecologia Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 2, n. 2, p. 79-86, 2007.

LIMA, M. E.; CARVALHO, D. F.; SOUZA, A. P.; ROCHA, H. S.; GUERRA, J. G. M. Desempenho do cultivo da berinjela em plantio direto submetida a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 6, p.604-610, 2012.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; BÜLL, L. T. Efeito do nitrogênio e do lodo de esgoto nos fatores produtivos do feijoeiro. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 1, p. 118-124, 2012.

LOPES, H. M. **Caracterização química e física de biocarvão de lodo de esgoto sob diferentes temperaturas de pirólise**. 2013. 38p. Monografia (Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária) - Universidade de Brasília (UnB), Brasília, 2013.

LOURENÇO, K. S.; CORRÊA, J. C.; ERNANI, P. R.; LOPES, L. S.; NICOLOSO, R. S. Crescimento e absorção de nutrientes pelo feijoeiro adubado com cama de aves e fertilizantes minerais. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 37, n. 2, p. 462-471, 2013.

MAGALHÃES, I. P. B.; SEDIYAMA, M. A. N.; SILVA, F. D. B.; VIDIGAL, S. M.; PINTO, C. L. O.; LOPES, I. P. C. Produtividade e exportação de nutrientes em feijão-vagem adubado com esterco de galinha. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n. 1, p. 98-107, 2017.

MALTA, A. O.; ATAIDE, E. B.; ALMEIDA, D. J.; OLIVEIRA, V. E. A.; SANTOS, A. S. Crescimento de feijoeiro sob influência de carvão vegetal e esterco bovino. **Revista Sítio Novo**, Palmas, v. 1, n. 1, p. 190-202, 2017.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa, MG: UFV, 2005. 451 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed. London, Elsevier, 2012. 651.p
MELO, G. W. B.; ZALAMENA, J.; BRUNETTO, J. Z. G.; CERETTA, C. A. Calagem, adubação e contaminação em solos cultivados com videiras (2016). **Embrapa Uva e Vinho**. Cap. 6, p. 91-110.

MESQUITA, M. A. M.; SILVEIRA, P. M.; BERNARDES, T. G.; GONZAGA, A. C. O. Relação do teor de clorofila em feijoeiro irrigado com variáveis de solo e de folha. In: Congresso Nacional De Pesquisa De Feijão, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2011.

MONTEMURRO, F.; FERRI, D.; TITTARELLI, F.; CANALI, S.; VITTI, C. Anaerobic digestate and on-farm compost application: Effects on lettuce (*Lactuca sativa* L.) crop production and soil properties. **Compost Science & Utilization**, v. 18, p. 184- 193, 2010.

MOREIRA, G. B. L.; PEGORARO, R. F.; VIEIRA, N.; BORGES, I.; KONDO, M. K. Desempenho agrônômico do feijoeiro com doses de nitrogênio em semeadura e cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 8, p. 818-823, 2013.

NATALE, W.; SOUZA, H. A.; DIAS, M. J. T.; MODESTO, V. C.; ROZANE, D. E. Adubação com fósforo em mudas de goiabeira em viveiro comercial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia - MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 1-2.

NÓBREGA, Í. P. C. **Efeitos do biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: sequestro de carbono no solo**. 2011. 35p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Instituto Superior de Agronomia/Universidade Técnica de Lisboa (ISA/UTL), Portugal, 2011.

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; AQUINO, R. E.; MARQUES JÚNIOR, J.; FREITAS, L.; SOUZA, Z. M. Semivariograma escalonado no planejamento amostral da resistência à penetração e umidade de solo com cana-de-açúcar. **Revista de Ciências Agrárias**, Amazônia, v. 57, n. 4, p. 287-296, 2014.

OLIVEIRA, J. G. R.; TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C. Alterações na física do solo com a aplicação de dejetos animais. **Geographia Opportuno Tempore**, Londrina, v. 2, n. 2, p. 66-80, 2016.

OLIVEIRA, L. K. B.; COSTA, R. S., SANTOS, J. L. G.; LIMA, F. E. O.; AMORIM, A. V.; MARINHO, A. B. Respostas fisiológicas de tomateiros cereja a diferentes fontes de adubos orgânicos. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 12, n. 4, p. 2799-2807, 2018.

PEREIRA NETO, J. T. **On the treatment of municipal refuse and sewage sludge using aerated static pile composting-a low cost technology approach**. University of Leeds, Inglaterra, p. 839-845, 1987.

PEREIRA, M. S. Utilização de lodo de esgoto na agricultura. **Revista brasileira de gestão ambiental**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2015.

PEREIRA, R. F.; CAVALCANTE, S.; LIMA, A.; MAIA FILHO, F. C. F.; SANTOS, J. Crescimento e rendimento de feijão vigna submetido à adubação orgânica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 8, n. 3, p. 91-96, 2013.

PEREZ, A. A. G.; SORATTO, R. P.; MANZATTO, N. P.; SOUZA, E. F. C. Extração e exportação de nutrientes pelo feijoeiro adubado com nitrogênio, em diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1276-1287, 2013.

PÉREZ, D. V.; BREFIN, M. L. M.; POLIDORO, J. C. Solo, da origem da vida ao alicerce das civilizações: uso, manejo e gestão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1-5, 2016.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E. Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 7, p. 761-768, 2012.

PIMENTEL, M. S.; DE-POLLI, H.; LANA, Â. M. Q. Atributos químicos do solo utilizando composto orgânico em consórcio de alface-cenoura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 225-232, 2009.

PINHO, A. V.; BARROS, E. N.; OLIVEIRA, F. R. A.; SILVA, T. C.; CASTRO, N. R.; ALBUQUERQUE, T. B. Avaliação de compostos orgânicos como substrato alternativo para produção de mudas de tomateiro. **Anais... I Simpósio de Manejo do Solo e Água: UFERSA, Mossoró - RN**, 2016.

PRAZERES, S. S.; LACERDA, C. F.; BARBOSA, F. E. L.; AMORIM, A. V.; ARAUJO, I. C. S.; CAVALCANTE, L. F. Crescimento e trocas gasosas de plantas de feijão-caupi sob irrigação salina e doses de potássio. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 9, n. 2, p. 111-118, 2015.

PÚBLIO JÚNIOR, E.; MORAIS, O. M.; ROCHA, M. M.; PÚBLIO, A. P. P. B.; BANDEIRA, S. A. Características agronômicas de genótipos de feijão-caupi cultivados no sudoeste da Bahia. **Científica**, Jaboticabal, v. 45, n. 3, p. 223-230, 2017.

REIS, A. R.; RODAK, B. W.; PUTTI, F. F.; MORAES, M. F. Papel fisiológico do níquel: essencialidade e toxidez em plantas. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 147, p. 10-24, 2014.

RICCI, A. B.; PADOVANI, V. R. C.; JÚNIOR, D. R. P. Uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado. I- Atributos físicos e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 535-542, 2010.

RIZHIYA, E. Y.; BUCHKINA, N. P.; MUKHINA, I. M.; BELINETS, A. S.; BALASHOV, E. V. Effect of biochar on the properties of loamy sand Spodosol soil samples with different fertility levels: A laboratory experiment. **Eurasian soil science**, v. 48, n. 2, p. 192-200, 2015.

ROCHA, M. M.; CARVALHO, K. J. M.; FREIRE FILHO, F. R.; LOPES, A. D. A.; GOMES, R. L. F.; SOUSA, I. D. S. Controle genético do comprimento do pedúnculo em feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 270-275, 2009.

ROMUALDO, L. M. **Modos de aplicação de zinco no crescimento inicial de plantas de milho e de sorgo em casa de vegetação**. 2008. 54 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (JABOTICABAL/SP), Brasil, 2008.

SALGADO, E. V.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; ROSA, M. F.; HERNANDEZ, F. F. F.; BEZERRA, F. C. Comparação entre substrato de coco verde e outros materiais na produção de mudas de pimentão. **Anais...** V Encontro Nacional de Substratos para Plantas: Ceplac, Ilhéus: BA, 2006.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 9, n. 1, p. 27-32, 2011.

SANTOS, E. R.; BORGES, P. R. S.; SIEBENEICHLER, S. C.; CERQUEIRA, A. P.; PEREIRA, P. R. Crescimento e teores de pigmentos foliares me feijão-caupi cultivado sob dois ambientes de luminosidade. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n.4, p. 14-19, 2011.

SANTOS, L. A. C.; SILVA, D. M. P.; OLIVEIRA, I. A.; PEREIRA, C. E.; CAMPOS, M. C. C. Crescimento de cultivares de feijão-caupi em solo de terra firme e várzea. **Ambiência**, Guarapuava, v. 13, n. 1, p. 261-270, 2017.

SEIXAS, P. T. L.; CASTRO, H. G.; CARDOSO, D. P.; CHAGAS JÚNIOR, A. F.; NASCIMENTO, I. R.; BARBOSA, L. C. A. Efeito da adubação mineral na produção de biomassa e no teor e composição do óleo essencial do capim-citronela. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 4, p. 852-858, 2013.

SENHORAS, E. M. **Estratégias de uma agenda para a cadeia agroindustrial do coco: transformando a ameaça dos resíduos em oportunidades eco-eficientes**. 2003. 36p. Monografia (Instituto de Economia) - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2003.

SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 10, p. 946-9522, 2015.

SILVA, G. C.; MAGALHÃES, R. C.; SOBREIRA, A. C.; SCHMITZ, R.; SILVA, L. C. Rendimento de grãos secos e componentes de produção de genótipos de feijão-caupi em cultivo irrigado e de sequeiro. **Revista Agro@mbiente**, Boa Vista, v. 10, n. 4, p. 342-350, 2016.

SILVA, G. O.; JERÔNIMO, C. E. Estudo de alternativas para o aproveitamento de resíduos sólidos da industrialização do coco. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 10, n. 10, p. 2193-2208, 2012.

SILVA, M. L. N.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA, M. K. T.; MAIA, P. M. E.; SILVA, R. C. P.; SILVA, O. M. P. Efeito de biofertilizante bovino aeróbico na cultura do feijão caupi. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 110-116, 2013.

SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; CUNHA, J. M.; SANTOS, L. A. C.; FONSECA, J. S.; SOUZA, Z. M. Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM. **Revista de Ciências Agrárias**, Amazônia, v. 59, n. 1, p. 9-15, 2016.

SOUSA, M. D. M.; CARVALHO, C. M.; SABINO, R. K.; LOPES, P. H.; ALCÂNTARA, V. S.; SILVESTRE, A. C. A. Efeito da adubação potássica no crescimento do feijão de corda preto. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 7, n. 1, p. 66-73, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TEIXEIRA FILHO, A. J.; SILVEIRA, E. O.; PAIVA, A. N. Produção de feijão caupi nos sistemas de cultivos orgânicos e convencional. Parintins-AM. **Revista Eletrônica Ciência e Desenvolvimento**, Amazônia, v. 1, n. 1, p. 2-11, 2015.

TEIXEIRA, G. C.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B. Eficiência do uso da radiação solar e índices morfofisiológicos em cultivares de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 1, p. 9-17, 2015.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; CUSATIS, A. C.; HIGA, A. R. Crescimento e nutrição de mudas de *Tectona grandis* produzidas em substratos orgânicos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 49-56, 2014.

VALADÃO, F. C. A.; WEBER, O. L. S.; JÚNIOR, D. V.; SANTIN, M. F. M.; SCAPINELLI, A. Teor de macronutrientes e produtividade da soja influenciados pela compactação do solo e adubação fosfatada. **Revista de Ciências Agrárias**, Amazônia, v. 40, n. 1, p. 183-195, 2017.

VENDRUSCOLO, E. P.; LEAL, A. J. F.; ALVES, M. C.; SOUZA, E. J.; SOUTO FILHO, S. N. Atributos químicos de solo degradado em função da adoção de biochar, culturas de cobertura e residual da aplicação de lodo de esgoto. **Revista de Ciências Agrárias**, Amazônia, v. 59, n. 3, p. 235-242, 2016.

ZANDONADI, D. B.; SANTOS, M. P.; MEDICI, L. O.; SILVA, J. Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 1, p. 14-20, 2014.