



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

**FRANCISCA EVELICE CARDOSO DE SOUZA**

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE MAMOEIRO CULTIVADAS EM SUBSTRATOS**  
**PROVENIENTES DE RESÍDUOS ORGÂNICOS**

**FORTALEZA**

**2020**

FRANCISCA EVELICE CARDOSO DE SOUZA

PRODUÇÃO DE MUDAS DE MAMOEIRO CULTIVADAS EM SUBSTRATOS  
PROVENIENTES DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia.

Orientador: Prof. Dr. William Natale  
Coorientadora: Profª. Dra. 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)

---

S238p Souza, Francisca Evelice Cardoso de.  
Produção de mudas de mamoeiro cultivadas em substratos provenientes de resíduos orgânicos /  
Francisca Evelice Cardoso de Souza. – 2020.  
145 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias,  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2020.  
Orientação: Prof. Dr. William Natale.  
Coorientação: Profª. Dra. Marilena de Melo Braga.

1. Carica papaya L. 2. Substrato alternativo. 3. Crescimento. 4. Trocas gasosas. 5. Nutrição. I.  
Título.

CDD 630

---

FRANCISCA EVELICE CARDOSO DE SOUZA

PRODUÇÃO DE MUDAS DE MAMOEIRO CULTIVADAS EM SUBSTRATOS  
PROVENIENTES DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia.

Aprovada em: 21/02/2020.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. William Natale (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profª. Dra. Marilena de Melo Braga (Coorientadora)  
Instituto Federal do Maranhão (IFMA)

---

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

---

Profª. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus, por tornar todos os sonhos possíveis.  
A minha família, pela presença em minha vida,  
embora distantes fisicamente, pelo incentivo e  
confiança, por serem minha fortaleza e o  
aconchego na hora da aflição.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por te me permitido chegar até aqui. Porque dele e por ele são todas as coisas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

À Universidade Federal do Ceará, em especial ao Departamento de Pós-graduação em Fitotecnia.

A minha família, em especial meu esposo, por todo amor e compreensão, pelo estímulo durante esses dois anos e pelas palavras de incentivo nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador Pr. Dr. William Natale, pelo acolhimento e ensinamento durante esses dois anos, e principalmente, pelo exemplo de humildade e de ser humano.

Aos professores participantes da banca examinadora William Natale, Márcio Cleber, Marilena de Melo e Rosilene Mesquita pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

A minha coorientadora Dr<sup>a</sup>. Marilena de Melo pela confiança para a realização deste trabalho.

À Embrapa Agroindústria Tropical, em especial ao Laboratório de Solos, pela disponibilização das instalações para a realização das análises desta dissertação.

Ao Grupo de Estudo em Ecofisiologia Produção e Nutrição de Plantas (GEEPEN), pelo apoio durante a realização dos experimentos. Sem ajuda de todos teria sido impossível.

Às técnicas do Laboratório de Solos da Embrapa Agroindústria Tropical Lilian Chayn e Vanderleia Bezerra, pela ajuda nas análises.

Aos colegas da turma de mestrado, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

A todos que de alguma forma contribuíram para que eu pudesse chegar até aqui.

**Muito obrigada!**

## RESUMO

O uso de resíduos orgânicos para a produção de substratos de plantas se configura como uma importante alternativa ambiental e econômica. Nessa perspectiva, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o crescimento, as trocas gasosas e o acúmulo de nutrientes minerais em mudas de mamoeiro cultivadas em sacos de polietileno e em bandejas de poliestireno com substratos provenientes de resíduos orgânicos, com adição ou não de biocarvão da casca de coco verde. O trabalho foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal do Ceará, localizada em Fortaleza, Ceará, e foi dividido em dois experimentos: produção de mudas de mamoeiro em saco de polietileno e produção de mudas de mamoeiro em bandeja de poliestireno. Em ambos experimentos foi adotado o delineamento inteiramente casualizado. O experimento 1 foi composto por quatro tratamentos e cinco repetições, com seis plantas em cada repetição, sendo os tratamentos formados por quatro tipos de substratos, sendo três provenientes da compostagem do lodo de esgoto, da casca de coco verde e da bagana de carnaúba, e um o comercial Turfa Fértil. O experimento 2 foi constituído por oito tratamentos e quatro repetições, com dez plantas em cada repetição, sendo os tratamentos compostos por oito tipos de substratos, sendo estes: compostagem do lodo de esgoto, da casca de coco verde, da bagana de carnaúba, substrato comercial Turfa Fértil, compostagem do lodo + biochar, compostagem da casca de coco + biochar, compostagem da bagana + biochar e substrato comercial + biochar. O biochar foi produzido a partir da casca de coco verde, adicionado na proporção de 10% ao volume dos substratos. Em ambos os experimentos foram avaliadas variáveis biométricas: altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar, comprimento da maior raiz, massas secas (aérea, raízes e total) e índice de qualidade de Dickson; variáveis fisiológicas: fotossíntese, condutância estomática, transpiração, eficiência do uso da água, eficiência instantânea de carboxilação; e, acúmulo de nutrientes e de metais pesados nas plantas. Para o cultivo do mamoeiro em sacos de polietileno os substratos casca de coco verde e bagana de carnaúba se mostraram eficientes, enquanto para a produção de mudas em bandejas de poliestireno o lodo de esgoto, lodo + biochar e bagana + biochar foram os mais adequados. O substrato comercial produziu mudas de qualidade inferior em ambos os recipientes. A adição de biocarvão de casca de coco verde aos substratos foi benéfica, tendo promovido aumento das variáveis biométricas e nutricionais das mudas.

**Palavras-chave:** *Carica papaya* L. Substrato alternativo. Crescimento. Trocas gasosas. Nutrição.

## ABSTRACT

The use of organic waste for the production of plant substrates is an important environmental and economic alternative. In this perspective, the objective of this study was to evaluate growth, gas exchange and the accumulation of mineral nutrients in papaya seedlings grown in polyethylene bags and polystyrene trays with substrates from organic waste, with or without the addition of biochar. of the green coconut shell. The work was carried out in a greenhouse at the Federal University of Ceará, located in Fortaleza, Ceará, and was divided into two experiments: production of papaya seedlings in a polyethylene bag and production of papaya seedlings in a polystyrene tray. In both experiments, a completely randomized design was adopted. Experiment 1 consisted of four treatments and five repetitions, with six plants in each repetition, with the treatments formed by four types of substrates, three of which came from the composting of sewage sludge, green coconut shell and carnauba bagana, and a commercial Turfa Fertile. Experiment 2 consisted of eight treatments and four repetitions, with ten plants in each repetition, the treatments being composed of eight types of substrates, these being: composting sewage sludge, green coconut shell, carnauba bagana, substrate commercial Turf Fertil, composting sludge + biochar, composting coconut shell + biochar, composting bagana + biochar and commercial substrate + biochar. The biochar was produced from green coconut shell, added at a proportion of 10% to the volume of substrates. In both experiments, biometric variables were evaluated: plant height, stem diameter, number of leaves, leaf area, length of the largest root, dry masses (aerial, roots and total) and Dickson's quality index; physiological variables: photosynthesis, stomatal conductance, transpiration, water use efficiency, instant carboxylation efficiency; and, accumulation of nutrients and heavy metals in plants. For the cultivation of papaya in polyethylene bags the substrates of green coconut shell and carnauba bagana proved to be efficient, while for the production of seedlings in polystyrene trays the sewage sludge, sludge + biochar and bagana + biochar were the most suitable. The commercial substrate produced lower quality seedlings in both containers. The addition of green coconut shell biochar to the substrates was beneficial, promoting an increase in the biometric and nutritional variables of the seedlings.

**Keywords:** *Carica papaya* L. Alternative substrate. Growth. Gas exchange. Nutrition.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Plantio das sementes de mamoeiro em sacos de polietileno .....   | 36 |
| Figura 2 – Irrigação manual com borrifador .....  | 36 |
| Figura 3 – Preenchimento das bandejas com substratos (A) e plantio das sementes (B) .....   | 37 |
| Figura 4 – Substrato comercial Turfa Fértil® .....  | 39 |
| Figura 5 – Saturação dos substratos em água desionizada (A) e amostras dos substratos em mesa de tensão (B) .....                                 | 40 |
| Figura 6 – Agitação de substratos em agitador do tipo Wagner, para obtenção de extrato .....  | 41 |
| Figura 7 – Filtragem de material para a obtenção da CTC .....   | 41 |
| Figura 8 – Medição da altura (A) e do diâmetro do caule em mudas de mamoeiro .....  | 43 |
| Figura 9 – Coleta de raízes de mudas de mamoeiro plantadas em bandejas .....  | 44 |
| Figura 10 – Equipamento usado para a medição de área foliar .....   | 44 |
| Figura 11 – Lavagem de material vegetal das mudas de mamoeiro .....   | 44 |
| Figura 12 – Pesagem de parte aérea para obtenção de massa de matéria seca .....   | 45 |
| Figura 13 – Medição de trocas gasosas em mudas de mamoeiro .....  | 46 |
| Figura 14 – Moinho utilizado na trituração de amostras (A) e, pesagem das amostras (B) trituradas .....   | 46 |
| Figura 15 – Mudas de mamoeiro 34 DAS cultivadas no substrato bagana de carnaúba (B), casca de coco (CC), lodo de esgoto (L) e comercial (C) ..... | 49 |
| Figura 16 – Altura das mudas de mamoeiro, aos 35 (A) e 42 DAS (B), cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....                | 49 |
| Figura 17 – Diâmetro do caule de mudas de mamoeiro, aos 35 (A) e 42 DAS (B) cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....       | 50 |
| Figura 18 – Número de folhas de mudas de mamoeiro, aos 35 (A) e 42 DAS (B) .....  | 51 |

|  |    |
|--|----|
| cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....  |    |
| Figura 19 – Raízes de mudas de mamoeiro 42 DAS cultivadas no substrato bagana de carnaúba (B), casca de coco (CC), lodo de esgoto (L) e comercial (C) .....                      | 53 |
| Figura 20 – Área foliar (A) e comprimento da raiz principal (B) de mudas de mamoeiro, aos 45 DAS, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....                | 53 |
| Figura 21 – Massa de matéria seca da parte aérea (A) e massa de matéria seca das raízes (B) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos Fortaleza - CE, 2019 ..... | 56 |
| Figura 22 – Massa de matéria seca total de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....  | 57 |
| Figura 23 – Índice de qualidade de Dickson de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....   | 58 |
| Figura 24 – Fotossíntese (A) e eficiência de uso da água (B) de mudas de mamoeiro aos 44 DAS, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE 2019 .....                     | 61 |
| Figura 25 – Acúmulo de fósforo na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....  | 64 |
| Figura 26 – Acúmulo de potássio na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 ..... | 65 |
| Figura 27 – Acúmulo de cálcio na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....   | 66 |
| Figura 28 – Acúmulo de magnésio na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 ..... | 67 |
| Figura 29 – Acúmulo de enxofre na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza                   |    |

|  |    |
|--|----|
| - CE, 2019 .....   | 68 |
| Figura 30 – Acúmulo de sódio na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....    | 69 |
| Figura 31 – Acúmulo de ferro nas raízes de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....  | 72 |
| Figura 32 – Acúmulo de zinco na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....    | 73 |
| Figura 33 – Acúmulo de manganês na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 ..... | 74 |
| Figura 34 – Acúmulo de cobre na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....    | 75 |
| Figura 35 – Acúmulo de níquel na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....   | 76 |
| Figura 36 – Acúmulo de alumínio na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 ..... | 79 |
| Figura 37 – Acúmulo de arsênio nas raízes de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....  | 80 |
| Figura 38 – Acúmulo de cromo na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....    | 81 |
| Figura 39 – Acúmulo de chumbo na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....   | 82 |
| Figura 40 – Acúmulo de selênio nas raízes (A) e na planta inteira (B) de mudas de  |    |



|  |     |
|--|-----|
| Figura 53 – Fotossíntese de plantas de mamão, aos 33 dias, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....   | 98  |
| Figura 54 – Eficiência instantânea de uso da água (A) e eficiência instantânea de carboxilação (B) de plantas de mamão, aos 33 dias, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 ..... | 99  |
| Figura 55 – Acúmulo de nitrogênio na parte aérea de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....   | 101 |
| Figura 56 – Acúmulo de fósforo na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....                      | 102 |
| Figura 57 – Acúmulo de potássio na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....                     | 103 |
| Figura 58 – Acúmulo de cálcio na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....                       | 104 |
| Figura 59 – Acúmulo de magnésio na parte aérea (A) e na planta inteira (B) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 ....                                      | 105 |
| Figura 60 – Acúmulo de enxofre na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....                      | 106 |
| Figura 61 – Acúmulo de sódio na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....                        | 107 |
| Figura 62 – Acúmulo de ferro na parte aérea de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....  | 110 |
| Figura 63 – Acúmulo de zinco na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019 .....                        | 110 |
| Figura 64 – Acúmulo de manganês na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta   |     |

|  |     |
|--|-----|
| inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos<br>Fortaleza - CE, 2019 .....  | 112 |
| Figura 65 – Acúmulo de cobre na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C)<br>de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza -<br>CE, 2019 .....    | 113 |
| Figura 66 – Acúmulo de níquel na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C)<br>de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza -<br>CE, 2019 .....   | 114 |
| Figura 67 – Acúmulo de alumínio na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira<br>(C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza<br>- CE, 2019 ..... | 116 |
| Figura 68 – Acúmulo de cromo na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C)<br>de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza -<br>CE, 2019 .....    | 117 |
| Figura 69 – Acúmulo de chumbo na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira<br>(C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza<br>- CE, 2019 .....   | 119 |
| Figura 70 – Acúmulo de selênio na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira<br>(C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza<br>- CE, 2019 .....  | 120 |

## LISTA DE TABELAS

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Tabela 1 | – Concentração máxima de substâncias inorgânicas permitidas no lodo de esgoto ou produto derivado .....   | 28 |
| Tabela 2 | – Densidade global (Dg) e capacidade de retenção de água (CRA) dos substratos a base de resíduos orgânicos, Fortaleza- CE, 2019 .....   | 40 |
| Tabela 3 | – Análise dos elementos químicos dos substratos: comercial (C), casca de coco (CC), bagana de carnaúba (B), lodo de esgoto (L), comercial + biochar (C + B), casca de coco + biochar (CC + B), bagana + biochar (B + B) e lodo + biochar (L + B), Fortaleza- CE, 2019 .....                                   | 42 |
| Tabela 4 | – Análise de pH, CE e CTC dos substratos: comercial, casca de coco, bagana de carnaúba, lodo de esgoto, comercial + biochar, casca de coco + biochar, bagana + biochar, lodo + biochar, Fortaleza- CE, 2019 .....   | 43 |
| Tabela 5 | – Resumo da análise de variância para as variáveis altura (H), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) em mudas de mamoeiro aos 35 DAS, Fortaleza - CE, 2019 .....   | 48 |
| Tabela 6 | – Resumo da análise de variância para as variáveis altura (H), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) em mudas de mamoeiro aos 42 DAS, Fortaleza - CE, 2019 .....   | 48 |
| Tabela 7 | – Resumo da análise de variância para as variáveis área foliar (AF), comprimento da raiz (CR), massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), massa de matéria seca das raízes (MSR), massa de matéria seca total (MST) e índice de qualidade de Dickson (IQD) em mudas de mamoeiro, Fortaleza - CE, 2019 ..... | 52 |
| Tabela 8 | – Resumo da análise de variância para as variáveis fotossíntese (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), eficiência instantânea de uso da água (A/E) e eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci) em mudas de mamoeiro aos 44 DAS, Fortaleza - CE, 2019 .....                                   | 60 |

|   |    |
|---|----|
| Tabela 9 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e sódio na parte aérea de mudas de mamoeiro, Fortaleza - CE, 2019 .....    | 62 |
| Tabela 10 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e sódio nas raízes de mudas de mamoeiro, Fortaleza - CE, 2019 .....       | 63 |
| Tabela 11 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e sódio planta inteira de mudas de mamoeiro, Fortaleza - CE, 2019 .....   | 63 |
| Tabela 12 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de ferro, zinco, manganês, cobre e níquel na parte aérea de mudas de mamoeiro, Fortaleza - CE, 2019 .....                 | 71 |
| Tabela 13 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de ferro, zinco, manganês, cobre e níquel nas raízes de mudas de mamoeiro, Fortaleza - CE, 2019 .....                     | 71 |
| Tabela 14 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de ferro, zinco, manganês, cobre e níquel na planta inteira de mudas de mamoeiro, Fortaleza - CE, 2019 .....              | 71 |
| Tabela 15 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de alumínio, cromo, chumbo e selênio na parte aérea de mudas de mamoeiro, Fortaleza - CE, 2019 .....                      | 78 |
| Tabela 16 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de alumínio, arsênio, cromo, chumbo e selênio nas raízes de mudas de mamoeiro, Fortaleza - CE, 2019 .....                 | 78 |
| Tabela 17 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de alumínio, cromo, chumbo e selênio na planta inteira de mudas de mamoeiro, Fortaleza - CE, 2019 .....                   | 78 |
| Tabela 18 – Resumo da análise de variância para as variáveis altura (H), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) em mudas de mamoeiro aos 20 DAS, Fortaleza - CE, 2019 ..... | 85 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 19 – Resumo da análise de variância para as variáveis altura (H), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) em mudas de mamoeiro aos 27 DAS, Fortaleza - CE, 2019 .....   | 87  |
| Tabela 20 – Resumo da análise de variância para as variáveis área foliar (AF), comprimento da raiz (CR), massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), massa de matéria seca das raízes (MSR), massa de matéria seca total (MST) e índice de qualidade de Dickson (IQD) em mudas de mamoeiro, Fortaleza - CE, 2019 .....                               | 90  |
| Tabela 21 – Resumo da análise de variância para fotossíntese ( <i>A</i> ), condutância estomática ( <i>g<sub>s</sub></i> ), transpiração ( <i>E</i> ), eficiência do uso da água ( <i>A/E</i> ) e eficiência instantânea de carboxilação ( <i>A/C<sub>i</sub></i> ) de mudas de mamão cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza – CE, 2019 ..... | 97  |
| Tabela 22 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e sódio na parte aérea de mudas de mamoeiro, Fortaleza - CE, 2019 .....   | 100 |
| Tabela 23 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e sódio nas raízes de mudas de mamoeiro, Fortaleza - CE, 2019 .....   | 100 |
| Tabela 24 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e sódio na planta inteira de mudas de mamoeiro, Fortaleza - CE, 2019 .....  | 101 |
| Tabela 25 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de ferro, zinco, manganês, cobre e níquel na parte aérea de mudas de mamoeiro, Fortaleza - CE, 2019 ...   | 109 |
| Tabela 26 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de ferro, zinco, manganês, cobre e níquel nas raízes de mudas de mamoeiro, Fortaleza - CE, 2019 .....   | 109 |
| Tabela 27 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de ferro, zinco, manganês, cobre e níquel na planta inteira de mudas de mamoeiro, Fortaleza-CE, 2019...   | 109 |
| Tabela 28 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de alumínio, cromo, chumbo e selênio na parte aérea de mudas de mamoeiro, Fortaleza - CE, 2019 .....  | 115 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 29 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de alumínio, arsênio, cromo, chumbo e selênio nas raízes de mudas de mamoeiro, Fortaleza - CE, 2019 ..... | 116 |
| Tabela 30 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de alumínio, cromo, chumbo e selênio na planta inteira de mudas de mamoeiro, Fortaleza - CE, 2019 .....   | 116 |

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                     | <b>20</b> |
| 1.1      | Hipótese (s) científica (s) .....                           | 21        |
| 1.2      | Objetivos .....   | 21        |
| 1.2.1    | <i>Objetivo geral .....</i>                                 | 21        |
| 1.2.2    | <i>Objetivos específicos .....</i>                          | 22        |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>                          | <b>23</b> |
| 2.1      | Aspectos gerais da cultura do mamão .....                   | 23        |
| 2.2      | Produção de mudas de mamoeiro .....                         | 24        |
| 2.3      | Utilização de resíduos na produção de mudas .....           | 25        |
| 2.4      | Substratos para plantas .....                               | 29        |
| 2.5      | Biocarvão .....   | 31        |
| 2.6      | Utilização de recipientes na produção de mudas .....        | 32        |
| <b>3</b> | <b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                             | <b>35</b> |
| 3.1      | Local dos experimentos .....                                | 35        |
| 3.2      | Espécie vegetal utilizada .....                             | 35        |
| 3.3      | Experimento 1 .....   | 35        |
| 3.3.1    | <i>Instalação e condução do experimento .....</i>           | 35        |
| 3.3.2    | <i>Delineamento experimental .....</i>                      | 36        |
| 3.4      | Experimento 2 .....   | 37        |
| 3.4.1    | <i>Instalação e condução do experimento .....</i>           | 37        |
| 3.4.2    | <i>Delineamento experimental .....</i>                      | 37        |
| 3.5      | Obtenção dos substratos .....                               | 38        |
| 3.6      | Variáveis analisadas .....                                  | 39        |
| 3.6.1    | <i>Caracterização química e física dos substratos .....</i> | 39        |
| 3.6.2    | <i>Análises biométricas .....</i>                           | 43        |
| 3.6.3    | <i>Análises fisiológicas .....</i>                          | 45        |
| 3.6.4    | <i>Nutrientes minerais da parte aérea e raízes .....</i>    | 46        |
| 3.7      | Análise estatística .....                                   | 47        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                         | <b>48</b> |
| 4.1      | Experimento 1 .....   | 48        |
| 4.1.1    | <i>Análises biométricas .....</i>                           | 48        |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 4.1.2 | <i>Análises fisiológicas</i> .....  | 60  |
| 4.1.3 | <i>Nutrientes minerais na parte aérea e nas raízes</i> .....  | 62  |
| 4.1.4 | <i>Considerações finais</i> .....   | 84  |
| 4.2   | <b>Experimento 2</b> .....  | 85  |
| 4.2.1 | <i>Análises biométricas</i> .....   | 85  |
| 4.2.2 | <i>Análises fisiológicas</i> .....  | 97  |
| 4.2.3 | <i>Nutrientes minerais na parte aérea e nas raízes</i> .....  | 100 |
| 4.2.4 | <i>Considerações finais</i> .....   | 121 |
| 5     | <b>CONCLUSÕES</b> .....   | 122 |
|       | <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | 123 |
|       | <b>APÊNDICE A - MÉDIAS DOS TEORES DE MACRONUTRIENTES, DO ELEMENTO SÓDIO E DE MICRONUTRIENTES NA PARTE AÉREA DE MUDAS DE MAMOEIRO CULTIVADAS NOS SUBSTRATOS COMERCIAL (C), BAGANA DE CARNAÚBA (B), CASCA DE COCO (CC) E LODO DE ESGOTO (L), FORTALEZA - CE, 2019</b> .....       | 138 |
|       | <b>APÊNDICE B - MÉDIAS DOS TEORES DE MACRONUTRIENTES, DO ELEMENTO SÓDIO E DE MICRONUTRIENTES NO SISTEMA RADICULAR DE MUDAS DE MAMOEIRO CULTIVADAS NOS SUBSTRATOS COMERCIAL (C), BAGANA DE CARNAÚBA (B), CASCA DE COCO (CC) E LODO DE ESGOTO (L), FORTALEZA - CE, 2019</b> ..... | 139 |
|       | <b>APÊNDICE C - MÉDIAS DOS TEORES DE METAIS PESADOS NA PARTE AÉREA DE MUDAS DE MAMOEIRO CULTIVADAS NOS SUBSTRATOS COMERCIAL (C), BAGANA DE CARNAÚBA (B), CASCA DE COCO (CC) E LODO DE ESGOTO (L), FORTALEZA - CE, 2019</b> .....  | 140 |
|       | <b>APÊNDICE D – MÉDIAS DOS TEORES DE METAIS PESADOS NO SISTEMA RADICULAR DE MUDAS DE MAMOEIRO CULTIVADAS NOS SUBSTRATOS COMERCIAL (C), BAGANA DE CARNAÚBA (B), CASCA DE COCO (CC) E LODO DE ESGOTO (L), FORTALEZA - CE, 2019</b> .....  | 141 |
|       | <b>APÊNDICE E – MÉDIAS DOS TEORES DE MACRONUTRIENTES,</b>   | 142 |

|   |            |
|---|------------|
| <b>DO ELEMENTO SÓDIO E DE MICRONUTRIENTES NA PARTE AÉREA DE MUDAS DE MAMOEIRO CULTIVADAS NOS SUBSTRATOS COMERCIAL (C), LODO DE ESGOTO (L), CASCA DE COCO (CC), BAGANA DE CARNAÚBA (B), COMERCIAL + BIOCHAR (C + B), LODO + BIOCHAR (L + B), CASCA DE COCO + BIOCHAR (CC + B) E BAGANA+ BIOCHAR (B + B), FORTALEZA - CE, 2019 .....</b>  |            |
| <b>APÊNDICE F – MÉDIAS DOS TEORES DE MACRONUTRIENTES, DO ELEMENTO SÓDIO E DE MICRONUTRIENTES NO SISTEMA RADICULAR DE MUDAS DE MAMOEIRO CULTIVADAS NOS SUBSTRATOS COMERCIAL (C), LODO DE ESGOTO (L), CASCA DE COCO (CC), BAGANA DE CARNAÚBA (B), COMERCIAL + BIOCHAR (C + B), LODO + BIOCHAR (L + B), CASCA DE COCO + BIOCHAR (CC + B) E BAGANA+ BIOCHAR (B + B), FORTALEZA - CE, 2019 .....</b> | <b>143</b> |
| <b>APÊNDICE G - MÉDIAS DOS TEORES DOS ELEMENTOS ALUMÍNIO, CROMO, CHUMBO E SELÊNIO NA PARTE AÉREA DE MUDAS DE MAMOEIRO CULTIVADAS NOS SUBSTRATOS COMERCIAL (C), LODO DE ESGOTO (L), CASCA DE COCO (CC), BAGANA DE CARNAÚBA (B), COMERCIAL + BIOCHAR (C + B), LODO + BIOCHAR (L + B), CASCA DE COCO + BIOCHAR (CC + B) E BAGANA + BIOCHAR (B + B), FORTALEZA - CE, 2019 .....</b>                 | <b>144</b> |
| <b>APÊNDICE H - MÉDIAS DOS TEORES DOS ELEMENTOS ALUMÍNIO, ARSÊNIO, CROMO, CHUMBO E SELÊNIO NO SISTEMA RADICULAR DE MUDAS DE MAMOEIRO CULTIVADAS NOS SUBSTRATOS COMERCIAL (C), LODO DE ESGOTO (L), CASCA DE COCO (CC), BAGANA DE CARNAÚBA (B), COMERCIAL + BIOCHAR (C + B), LODO + BIOCHAR (L + B), CASCA DE COCO + BIOCHAR (CC + B) E BAGANA + BIOCHAR (B + B), FORTALEZA - CE, 2019 .....</b>  | <b>145</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial traz consigo duas problemáticas relevantes: o aumento da necessidade de se produzir alimentos e a maior geração de resíduos, seja no meio urbano ou rural. O incremento da produção de alimentos enfrenta vários obstáculos, desde o potencial genético das culturas até a disponibilidade de áreas agricultáveis, sendo o solo um recurso bastante limitante à produção, tanto pela sua disponibilidade como por sua capacidade de nutrir os vegetais e por abrigar patógenos danosos às plantas.

A exploração do solo está seriamente comprometida pelos diferentes tipos de manejo empregados, os quais, quando mal utilizados, podem trazer prejuízos ao meio ambiente, ocasionando perdas de solo, água e nutrientes em virtude do processo erosivo. Um grande volume de solo é perdido anualmente devido a exploração desordenada da agropecuária que acelera a degradação da terra, sendo a taxa de erosão em solo agrícola e de pastagem intensiva entre 100 e 1000 vezes maior que a erosão natural (FAO; ITPS, 2015).

Diante dessa problemática, o cultivo em substratos se apresenta como uma alternativa capaz de atenuar as limitações impostas pelo uso do solo, além de ser uma técnica que contribui para a preservação deste recurso natural. A utilização desse sistema de produção pode, ainda, diminuir o impacto causado pelo aumento da geração de resíduos, uma vez que parte do lixo produzido pode ser reaproveitado na forma de compostos orgânicos, os quais podem ser empregados como substratos para a produção de mudas de plantas, ou podem ainda ser utilizados como adubos orgânicos, reciclando os nutrientes.

O uso de resíduos orgânicos na agricultura tem crescido bastante, sendo empregado, também, na produção de biocarvão, o qual é um resíduo fino, que pode ser fabricado a partir de materiais como a biomassa vegetal e o lodo de esgoto. O uso do biocarvão na agricultura visa trazer melhorias nas condições de crescimento das plantas, visto que modifica as propriedades químicas dos solos, além de apresentar vantagens ao meio ambiente por meio do sequestro de carbono.

Para a fabricação de substratos, vários são os resíduos que possuem potencial de uso como, por exemplo, o lodo de esgoto, a casca de coco verde e a bagana de carnaúba. A utilização desses materiais para a produção de substratos representa uma alternativa para mitigar o impacto causado pelo descarte de resíduos no meio ambiente e, contribui para a diminuição dos custos produtivos com a compra de substratos comerciais, os quais são onerosos. Além disso, o emprego de substratos para a produção de mudas apresenta como benefícios maior controle das características nutricionais do material, maior praticidade no

transplântio da muda e menor chance de infecção das plantas por patógenos do solo.

Vários são os cultivos que utilizam substratos para a produção de mudas como, por exemplo, hortaliças, plantas ornamentais, silvícolas e frutíferas. Dentre as frutíferas, pode-se destacar o mamoeiro, por ser uma cultura de grande importância no Brasil, particularmente na região Nordeste e, em especial, no estado do Ceará. Apesar de já existirem trabalhos que estudaram o cultivo dessa espécie em substratos, como de Mendonça *et al.* (2007); Costa *et al.* (2009); Araújo *et al.* (2013), se faz necessária a realização de estudos que investiguem o crescimento da muda em substratos com diferentes composições, uma vez que os materiais possuem características variáveis que podem ser alteradas em função de sua composição.

É importante ressaltar que a produção de mudas é uma das fases primordiais para se obter sucesso em cultivos agrícolas, visto que a qualidade da muda influencia o estabelecimento da planta no campo e, conseqüentemente, a precocidade da produção. Durante esta fase várias tecnologias estão envolvidas, podendo-se citar o emprego de substratos, além do uso de recipientes, sendo que na atualidade os recipientes mais usados para a produção de mudas são os sacos de polietileno, as bandejas de poliestireno e os tubetes de polipropileno.

### ***1.1 Hipótese (s) científica (s)***

Os resíduos orgânicos bagana de carnaúba, casca de coco verde e lodo de esgoto compostados são eficientes constituintes para a fabricação de substratos agrícolas e para a produção de mudas de mamoeiro.

O resíduo lodo de esgoto pode ser utilizado com segurança, sem ocasionar problemas de contaminações ao meio ambiente.

A adição de biocarvão na composição dos substratos agrícolas pode afetar suas características físicas e químicas, bem como o crescimento de mudas de mamoeiro.

## **1.2 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivo geral***

Avaliar o crescimento, as trocas gasosas e o acúmulo de nutrientes em mudas de mamoeiro cultivadas em sacos de polietileno e em bandejas de poliestireno com substratos provenientes de resíduos orgânicos, com adição ou não de biocarvão de casca de coco verde.

### ***1.2.2 Objetivos específicos***

- Identificar qual substrato proporciona melhor crescimento para as mudas de mamoeiro;
- Verificar se os tipos de recipientes interferem no crescimento das mudas de mamoeiro;
- Verificar se os substratos utilizados fornecem de modo satisfatório os nutrientes para o crescimento das mudas de mamoeiro;
- Verificar se a adição de biocarvão aos substratos agrícolas influencia o crescimento das mudas de mamoeiro;
- Analisar as propriedades físicas e químicas dos substratos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Aspectos gerais da cultura do mamão

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) é uma planta típica das regiões tropicais e subtropicais, cujo centro de origem fica no Noroeste da América do Sul. É bastante difundido no Brasil, onde encontra condições edafoclimáticas propícias à sua exploração econômica (MARTINS *et al.*, 2005). O Brasil é o segundo maior produtor mundial de mamão, sendo uma das cinco frutas mais comercializadas nas centrais de abastecimento do País no ano de 2017, com a produção concentrada nos estados da Bahia, Espírito Santo, Ceará, Rio Grande do Norte e Minas Gerais (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2018).

O mamoeiro é uma frutífera pertencente ao gênero *Carica*, que possui plantas masculinas, femininas e hermafroditas, com rápido crescimento e altura variando entre 3 e 8 m; tem caule ereto, herbáceo, fistuloso, com concentração de folhas na região apical, dispostas em posição espiralada e de modo alternado. A planta se desenvolve bem em solos com textura média ou areno-argilosa, ricos em matéria orgânica, com boa profundidade, aeração e drenagem e com pH entre 5,5 e 6,7 (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

O mamão é um alimento consumido mundialmente como fruta fresca, sendo bastante apreciado em virtude do sabor adocicado, da polpa levemente perfumada e da coloração que varia de amarelo a vermelho (RODOLFO JÚNIOR *et al.*, 2007). Seus frutos são fonte de carotenoides, carboidratos, vitaminas, fibras e potássio (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2006), possuindo assim importante papel econômico e alimentício nos países em que é produzido, a exemplo do Brasil.

A exigência nutricional do mamoeiro é alta e contínua, sendo a demanda de nutrientes em cada estágio de desenvolvimento distinta e crescente; o potássio e o nitrogênio são os macronutrientes absorvidos em maiores quantidades pela parte aérea da planta, e o ferro e o manganês são os micronutrientes mais absorvidos (OLIVEIRA *et al.*, 2009). Ressalta-se que as exigências nutricionais podem variar em função dos genótipos da planta.

Atualmente, as cultivares mais comercializadas no País são as dos grupos Solo e Formosa. O grupo Solo é bastante explorado em muitas regiões do mundo, em virtude de produzir frutos adequados para a exportação, com polpa avermelhada e tamanho pequeno. O grupo Formosa consiste em híbridos comerciais, com frutos de polpa laranja-avermelhada e tamanho médio, os quais vêm ganhando espaço nos mercados interno e externo, devido ao aumento nas vendas para Europa, Canadá e Estados Unidos (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

## 2.2 Produção de mudas de mamoeiro

O mamoeiro pode ser propagado sexualmente, por meio de sementes, ou assexuadamente por estaquia, enxertia e por cultura de tecidos. Todavia, apesar de ser possível a propagação assexuada, aquela através de sementes ainda predomina como forma de produção de mudas. O plantio das sementes é realizado principalmente em recipientes plásticos, porém, existem outras técnicas de plantio, como a semeadura em leiras e canteiros, com posterior repicagem para os recipientes plásticos, característicos de produção de mudas de plantas (FRANCISCO *et al.*, 2010).

Os recipientes são amplamente utilizados para o cultivo de mudas de mamão, visto que facilitam o manejo desde o plantio até o transplantio para o campo. Para a produção de mudas a semeadura é efetuada em sacos de polietileno, bandejas ou tubetes, sendo que dentre os recipientes, o saco de polietileno com dimensões de 7,0 cm × 18,50 cm × 0,06 cm ou 15,0 cm × 25,0 cm × 0,06 cm é o mais utilizado (OLIVEIRA *et al.*, 2009), e a bandeja com 72 células e 120 mm de profundidade é a indicada para o mamoeiro (SOUSA *et al.*, 1997).

Segundo Chaves *et al.* (2000), a germinação das sementes de mamão ocorre entre 10 a 20 dias após a semeadura, sendo recomendado fazer o desbaste quando as mudas apresentarem entre 3 e 5 cm de altura, ou 2 folhas definitivas, deixando-se apenas uma planta por recipiente; quando as mudas atingirem altura entre 15 e 20 cm, com idade mínima de 30 dias após a germinação, estando vigorosas e livres de pragas, doenças e ervas daninhas, deve ser realizado o transplantio para o campo.

O cultivo do mamoeiro, assim como para diversas espécies de frutíferas, passa pela produção de mudas, a qual é uma das principais fases para a exploração técnica e comercial. Tendo em vista que se trata de uma cultura perene, os erros cometidos no processo de produção de mudas poderão provocar danos durante o período de exploração do pomar (SARAIVA *et al.*, 2011). Logo, deve-se ter o máximo cuidado nessa fase, buscando melhorar o manejo com a escolha de substratos e recipientes adequados para este fim, visando produzir mudas saudáveis e vigorosas para a formação de novas lavouras (MENDONÇA *et al.*, 2007).

Nesse sentido, Negreiros *et al.* (2005), estudando a produção de mudas de mamoeiro do grupo Solo em substratos constituídos por areia, solo, esterco bovino, substrato comercial e vermiculita, observaram que os substratos com o esterco bovino, solo, areia e vermiculita (2:1:1:1), e Plantmax®, esterco bovino, solo e areia (1:1:1:1), são adequados para a formação de mudas de mamoeiro. Do mesmo modo, Mendonça *et al.* (2009), avaliando a produção de mudas do mamoeiro Formosa em substratos formados por composto orgânico,

areia, solo e substrato comercial, verificaram que o substrato Plantmax® + areia + solo, na proporção de 1:1:3, promoveu os melhores resultados para a produção de mudas.

Costa *et al.* (2009), avaliando a produção de mudas de mamoeiro em diferentes substratos, ambientes de cultivo e recipientes, verificaram que a sacola de polietileno promoveu maiores valores que a bandeja de poliestireno de 72 células para a produção das mudas, e que os substratos que possuíam vermiculita em sua composição proporcionaram maiores acúmulos de biomassa. Esses resultados corroboram os de Mendonça *et al.* (2003) que verificaram que as sacolas de polietileno proporcionaram o melhor desenvolvimento das mudas de mamoeiro, em comparação com as bandejas de isopor e os tubetes de plástico.

Mesquita *et al.* (2012), ao realizarem trabalho com substratos contendo solo e doses de esterco bovino em volumes de recipientes (1 L e 2 L), observaram que a mistura de 20% de solo e 80% de esterco bovino em sacos de polietileno com 2 L de volume, induziu o maior crescimento e produção de matéria seca das mudas do mamoeiro. De modo contrário, Francisco *et al.* (2010) não observaram diferença significativa entre os recipientes sacos plásticos de 700 mL e 1000 mL para a produção de mudas de mamoeiro Sunrise Solo.

Diante dos resultados de pesquisas com recipientes, observa-se que o saco de polietileno promove as melhores condições para a produção e o crescimento das mudas de mamoeiro, visto que o maior volume desse recipiente propicia maiores espaços e disponibilidade de nutrientes (COSTA *et al.*, 2009). Todavia, atualmente, os recipientes mais utilizados são as bandejas, tendo em vista que possuem menor custo, pois podem ser reutilizadas e necessitam de menor volume de substrato, promovendo economia para o produtor. Contudo, possui o inconveniente da muda ser levada ao campo com menor tamanho, o que requer maior cuidado durante o manejo inicial.

Apesar de estudos com substratos para a produção de mamoeiro já virem sendo desenvolvidos, e da grande importância da cultura para a fruticultura nacional, de modo geral, faz-se necessária a realização de pesquisas regionais com essa frutífera, particularmente quanto à formação de mudas, aproveitando materiais de origem local e de fácil aquisição para a produção de substratos, aliado à perspectiva de redução do tamanho do recipiente para a formação de mudas de boa qualidade e com menor custo (FRANCISCO *et al.*, 2010).

### **2.3 Utilização de resíduos na produção de mudas**

O aumento populacional e as mudanças no padrão de consumo da sociedade têm provocado crescimento na geração de resíduos sólidos advindos de atividades humanas

(SILVA, 2007). Tais resíduos podem ser classificados de diversas maneiras, por exemplo, quanto aos riscos de contaminação do meio ambiente (classe I e classe II) de acordo com a NBR 10.004 da ABNT (2004), quanto a origem (domiciliar, comercial, industrial, agrícola, entre outras), natureza física (seca ou úmida) e composição química (orgânica ou inorgânica) segundo a classificação realizada por autores como Schalch *et al.* (2002) e Flohr *et al.* (2005).

No Brasil, segundo informações da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2011), os resíduos gerados pela população são compostos por 51,4% de materiais orgânicos, 31,9% de recicláveis e 16,7% de outros materiais, como por exemplo, resíduos da construção civil. No ano de 2017, foram gerados 78,4 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos no País; desse total, 91,2% foram coletados, sendo que o restante, mais de 6 milhões de toneladas, não passaram por coleta e, conseqüentemente, tiveram destinação imprópria (ABRELPE, 2018).

A disposição inadequada de resíduos cria problemas sociais e de saúde pública, causando grande impacto ambiental (NEVES; CASTRO, 2012). Apesar da enorme quantidade de lixo orgânico produzido no Brasil, somente uma pequena parcela é tratada de modo adequado e aproveitada na forma de composto orgânico, sendo que o tratamento inadequado do lixo traz problemas ambientais, como a emissão de gases do efeito estufa. Em contrapartida, quando tratado corretamente e utilizado como composto, esse material fornece nutrientes ao solo e aumenta sua capacidade de reter água (GOMES; STEINBRÜCK, 2012).

Diante dessa problemática, o processo de compostagem se apresenta como uma técnica eficaz e econômica de tratar os resíduos orgânicos, podendo reduzir o volume descartado no meio ambiente, além de estabilizar a matéria orgânica, uma vez que dá destino adequado e evita sua acumulação no ambiente. É um processo de decomposição microbiana aeróbia, em temperatura elevada para permitir o crescimento de microrganismos termofílicos, tendo o produto resultante, o composto, características adequadas para uso como fertilizante, substrato para plantas, produto de biorremediação, entre outros (HERBETS *et al.*, 2005).

Todavia, deve-se ressaltar que o uso de compostos orgânicos apresenta algumas limitações, como a qualidade da matéria-prima e o manejo empregado na compostagem, visto que quando o material é de má qualidade pode ocorrer a adição de metais pesados ao solo, os quais, por consequência, podem adentrar na cadeia alimentar e, quando o composto é manejado de forma inadequada, pode ocasionar a salinização do solo e a contaminação do lençol freático e dos vegetais cultivados (SILVA *et al.*, 2002).

Para a produção do composto é necessário fazer uso de dois tipos de materiais: os de fácil decomposição, como os esterco, e os que se decompõem de modo mais lento, como

serragem de madeira e folhas (MAGALHÃES *et al.*, 2006). Comumente, no processo de compostagem, se utilizam resíduos sólidos oriundos de fontes variadas, como resíduos urbanos, agroindustriais e agropecuários; todavia, também é possível utilizar resíduos líquidos, sendo necessário modificar as características físicas do material, por meio do uso de agentes estruturantes como, por exemplo, a casca de arroz (VALENTE *et al.*, 2009).

A utilização dos compostos orgânicos como substratos para plantas, além de trazer benefícios ao meio ambiente, diminui os custos produtivos, uma vez que os substratos comerciais possuem valor elevado, enquanto os substratos provenientes da compostagem são obtidos a partir de resíduos disponíveis na região. No Nordeste do Brasil, vários são os resíduos orgânicos disponíveis em abundância que possuem alto potencial para compor substratos, podendo-se destacar a casca de coco verde ou madura e a bagana de carnaúba.

A casca de coco verde é um subproduto da industrialização da água de coco. É um material de difícil decomposição, sendo comumente descartado de modo inadequado; por isso, sua utilização correta possui importância ambiental e social. A aplicação desse material é viável, por suas fibras terem alta porosidade, o que aliado à sua facilidade de obtenção e o baixo custo, tornam o coco verde um importante componente para substratos (CARRIJO *et al.*, 2002). Além disso, suas propriedades físicas e químicas, aliadas a estrutura e durabilidade, oferecem condições para seu uso na produção de mudas (LACERDA *et al.*, 2006).

A carnaubeira é uma palmeira de grande ocorrência no Nordeste brasileiro. Sua exploração tem como principal produto o pó cerífero, que está presente nas folhas e é transformado em cera para uso industrial. O resíduo da folha, após o processo de retirada do pó mecanicamente, é denominado de bagana e se caracteriza pelos elevados teores de materiais lignocelulósicos (FAVARO; MIRANDA, 2013). Este resíduo possui diversos usos, sendo comumente empregado como adubo orgânico, substrato e na alimentação animal.

Outro material possível de ser utilizado no processo de compostagem é o lodo de esgoto. O biossólido, conhecido popularmente como lodo, é um produto de origem orgânica proveniente do tratamento de efluentes de esgoto, podendo ser reutilizado, contanto que não cause prejuízos ambientais, para a saúde humana ou de animais. Tendo em vista os benefícios do uso de fertilizantes orgânicos e os prejuízos ambientais que o biossólido causa se descartado incorretamente, o lodo compostado pode ser empregado na agricultura como condicionador de solos ou na recuperação de áreas degradadas (HECK *et al.*, 2013).

A utilização agrícola do lodo de esgoto é uma prática que traz vantagens tanto para a área agrícola, pelo uso de material de baixo custo e com grande diversidade de nutrientes, como para o meio ambiente, visto que seu descarte incorreto ocasiona

contaminação ambiental. Entretanto, para seu uso na agricultura é necessário seguir as normas vigentes no Brasil que regulamentam a utilização desse material, uma vez que o lodo pode ter metais pesados e patógenos em concentrações danosas à saúde e ao meio ambiente.

A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 375/2006 define os critérios e procedimentos para o uso agrícola do lodo de esgoto e seus derivados (produto que contenha lodo na composição), visando benefícios à agricultura e diminuição dos riscos à saúde e ao meio ambiente. Para utilização agrícola, o biossólido deverá se tornar estável, passando por processo de redução de patógenos e da atratividade de vetores. Para a redução de patógenos se adotam os processos de digestão aeróbia, secagem em leitos de areia ou em bacias, digestão anaeróbia, compostagem e estabilização com cal (CONAMA, 2006).

O uso de lodo de esgoto ou produto derivado na agricultura é condicionado a algumas culturas, ficando vedada sua utilização em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos, raízes e culturas inundadas, assim como para as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo (CONAMA, 2006). Para ser considerado seguro para o uso agrícola, o lodo deverá atender aos requisitos mínimos de qualidade, estando dentro do limite para as substâncias potencialmente tóxicas, conforme disposto na Tabela 1.

Tabela 1 - Concentração máxima de substâncias inorgânicas permitidas no lodo de esgoto ou produto derivado

| Substâncias Inorgânicas | Concentração Máxima (mg kg <sup>-1</sup> - base seca) |
|-------------------------|---|
| Arsênio                 | 41  |
| Bário                   | 1300  |
| Cádmio                  | 39  |
| Chumbo                  | 300   |
| Cobre                   | 1500  |
| Crômio                  | 1000  |
| Mercúrio                | 17  |
| Molibdênio              | 50  |
| Níquel                  | 420   |
| Selênio                 | 100   |
| Zinco                   | 2800  |

Fonte: CONAMA, 2006.

É importante ressaltar que se obedecidas as definições da Resolução CONAMA nº 375/2006 que regulamenta o uso agrícola de lodo de esgoto e seus produtos derivados, o emprego desse material na agricultura traz vantagens ambientais e proporciona a reciclagem de nutrientes, a qual é imperativa nos tempos atuais, visto que sua importância tem crescido consideravelmente nos últimos anos em virtude da previsão de aumento da demanda e de escassez futura de elementos essenciais (SAMPAIO, 2013).

## 2.4 Substratos para plantas

Substrato é o material que dá suporte ao desenvolvimento de uma planta, devendo garantir a manutenção mecânica do sistema radicular do vegetal, promover o balanço ideal entre água e ar, fornecer oxigênio, além de permitir o transporte de gás carbônico entre as raízes e o meio externo (FARIAS *et al.*, 2012). De acordo com a Instrução Normativa Nº 5/2016 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), os substratos são classificados quanto à origem e o tipo de matérias-primas utilizadas na sua fabricação, sendo que as matérias-primas não devem conferir características indesejáveis (MAPA, 2016).

O substrato ideal é aquele que reúne em sua composição materiais capazes de permitir o adequado desenvolvimento do vegetal. Nesse sentido, a composição do substrato é de extrema importância, visto que a combinação de diferentes materiais facilita a obtenção de substratos com as características desejadas, pois, a produção de substrato com apenas um componente dificilmente irá oferecer as condições físico-químicas necessárias ao crescimento e a formação de uma muda vegetal.

A composição do substrato interfere na produção de mudas em diferentes aspectos, podendo modificar a emergência, o crescimento e a concentração de pigmentos fotossintéticos presentes nos vegetais. Desta forma, a junção de diferentes tipos de materiais na composição dos substratos pode melhorar as condições para o crescimento das plantas, sendo por isso indicado misturar materiais inertes aos orgânicos, como forma de melhorar a textura e criar condições apropriadas ao estabelecimento das mudas (AFONSO *et al.*, 2017).

Há diversos substratos comerciais disponíveis no mercado, contudo, são onerosos e o seu uso representa um custo adicional na produção de mudas. Diante disso, tem-se buscado materiais alternativos de baixo custo, que possam participar da constituição de novos substratos, como por exemplo, resíduos agrícolas e industriais, podendo-se, com a utilização destes materiais, reduzir os custos, promover melhor qualidade das mudas (OZA *et al.*, 2018), além de reciclar nutrientes e reduzir o descarte no ambiente.

O efeito de substratos provenientes de resíduos vem sendo estudado em diferentes culturas. Serrano *et al.* (2006), trabalhando com substrato composto por resíduos da agroindústria canavieira na produção de mudas de maracujá amarelo, verificaram que as plantas produzidas neste tipo de substrato e no substrato comercial, ambos fertilizados com adubo de liberação lenta, apresentaram melhor estado nutricional, do que as mudas produzidas nestes mesmos substratos sem o uso de adubo de liberação lenta.

Em estudo com substratos orgânicos para a produção de mudas de mamoeiro

Formosa, Araújo *et al.* (2013) observaram que o substrato formado por húmus de minhoca proporcionou maior número de folhas, altura de plantas, diâmetro caulinar, área foliar, massa seca do caule, massa seca da raiz e massa seca das folhas, do que os substratos formados por solo, composto orgânico e esterco bovino.

Afonso *et al.* (2017), estudando os parâmetros fisiológicos de mudas de angico branco produzidas em diferentes proporções de materiais nos substratos, em uma mistura de areia com substrato comercial, formado por casca de pinus compostada, fibra de coco, casca de arroz carbonizada, vermiculita expandida e carvão vegetal, observaram que os teores de clorofila das plantas apresentaram alteração qualitativa e quantitativa em função da composição do material utilizado, e que a combinação entre substrato comercial e areia forma um substrato com potencial de emprego para a produção de mudas de angico branco.

Suassuna *et al.* (2016), em trabalho com mudas de cajueiro anão precoce com substratos formados por diferentes proporções de solo, húmus e pó de rocha, observaram que os substratos constituídos pelas proporções de 25% areia + 50% solo + 25% húmus e, a mistura de 25% areia + 50% solo + 25% húmus + 50 g MB-4 (rocha moída) promoveram os melhores índices de crescimento, acúmulo de matéria seca e qualidade das mudas de cajueiro.

A definição correta da composição do substrato, de acordo com as necessidades das plantas, é de extrema importância, tendo em vista que algumas características vegetais podem ser afetadas em função do tipo de substrato, como por exemplo, a germinação e o crescimento das plântulas; assim, a escolha do material que irá compor o substrato deve ser realizada em função das exigências da semente em relação ao seu tamanho e formato (BEZERRA *et al.*, 2004).

Nesse sentido, pesquisas com diferentes combinações de materiais vêm sendo realizadas, visto que o uso de resíduos orgânicos na formulação de substratos e/ou em mistura com substratos comerciais pode ser uma alternativa de amenizar os custos de produção, além de proporcionar ganhos em produtividade (PETTER *et al.*, 2012). Em trabalho com substratos formados por proporções de terra, substrato comercial, esterco caprino e esterco bovino para a produção de mudas de mamoeiro, Araújo *et al.* (2010) observaram que a mistura de 30% terra + 35% Plantmax + 35% esterco caprino foi a mais eficiente para a formação das mudas.

Além da escolha adequada dos materiais que irão participar da composição do substrato, algumas características devem ser atendidas para propiciar o crescimento das plantas: o material deve ser uniforme em sua composição, ter baixa densidade, boa porosidade, possuir adequada capacidade de retenção de água e capacidade de troca catiônica, além de não abrigar pragas, organismos patogênicos e nem sementes de plantas daninhas.

Deve-se atentar, ainda, que para a seleção de um substrato é necessário considerar, além dos aspectos técnicos, a disponibilidade do material a ser utilizado (CUNHA *et al.*, 2005).

Dentre as tecnologias que envolvem a produção de mudas de plantas, os substratos e os recipientes são muito importantes. O cultivo em recipientes demanda irrigações e fertilizações frequentes, o que torna necessário o conhecimento das propriedades químicas e físicas dos substratos, para que se determine o manejo dos cultivos. Para avaliar as propriedades químicas, as características mais utilizadas são: o pH, a capacidade de troca de cátions (CTC) e a condutividade elétrica. Enquanto para as propriedades físicas, determina-se: densidade, porosidade, espaço de aeração e disponibilidade hídrica (SCHMITZ *et al.*, 2002).

Apesar dos numerosos substratos comerciais disponíveis no mercado atualmente, verifica-se a necessidade da realização de estudos visando a fabricação de novos produtos a serem utilizados como substratos. Há inúmeras alternativas para a formulação de substratos, como o uso de resíduos industriais, florestais e urbanos, os quais são gerados em grande volume sendo um grave problema ambiental, se tiverem destinação inadequada. Todavia, tais resíduos devem ser estudados visando seu uso agrícola, visto que as propriedades dos substratos variam em função de sua origem, método de produção e proporção dos materiais na mistura. Assim, se houver possibilidade, todo substrato deve ter suas propriedades avaliadas (KRATZ *et al.*, 2013).

## **2.5 Biocarvão**

O biocarvão ou “biochar”, como também é conhecido, é um resíduo fino proveniente da carbonização da biomassa, a qual é transformada em pó. O uso deste material representa uma estratégia para a melhoria das condições de crescimento das plantas, uma vez que possui características que aumentam a retenção de água e nutrientes no solo, o que promove melhorias da produtividade vegetal, além de trazer benefícios ao meio ambiente graças ao sequestro de carbono (SOUCHIE *et al.*, 2011).

O biochar é um material direcionado para emprego no solo, com o intuito de melhorar suas propriedades físicas e químicas (RÓZ *et al.*, 2015). A sua utilização oferece inúmeros benefícios ao meio agrícola e ambiental, visto que é obtido pelo gerenciamento de resíduos, podendo-se utilizar na sua produção diferentes recursos de biomassa como: dejetos suínos, podas de lavoura e resíduos sólidos urbanos, o que contribui com a preservação do meio ambiente, além de gerar passivos ambientais (FELIPE *et al.*, 2016).

Estudos com biocarvão no meio agrícola demonstram que seu emprego como

substrato promove maior eficiência de uso dos nutrientes (LIMA *et al.*, 2016). Este material atua nas propriedades físicas e químicas do solo, aumentando a retenção de água e de íons nutrientes para as plantas, além de promover aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) e de atuar no controle do pH do solo, o que contribui para corrigir a acidez do solo (REZENDE *et al.*, 2011).

A influência do biocarvão sobre o substrato e o solo foi descrita por diversos autores, em que diferentes doses de biochar funcionaram como um eficiente condicionador de substrato para a produção de mudas de alface (PETTER *et al.*, 2012), e promoveram incremento da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo, com aumento da retenção de carbono (ANDRADE *et al.*, 2015), além de ter se destacado com potencial de uso para a produção de mudas de qualidade (LIMA *et al.*, 2016).

O efeito do biocarvão vem sendo relatado para diferentes culturas. Silva *et al.* (2017) verificaram que o biochar contribuiu de forma significativa para o crescimento e a produção de feijão adubado com biocarvão, pois, proporcionou aumento na massa seca da raiz, da parte aérea, dos grãos, no número de vagens e no número de grãos. Souchie *et al.* (2011) observaram que o uso de carvão vegetal proporcionou maior crescimento das mudas de taxi-branco (*Tachigali vulgaris*).

Matos *et al.* (2018), estudando o efeito do biochar, de fungos micorrizicos e micorrizas associadas ao biochar sobre a nutrição nitrogenada e a taxa fotossintética de plantas de mamão por meio da espectroscopia fotoacústica, concluíram que a utilização do biocarvão, da micorriza ou da micorriza + biochar proporcionou aumento no crescimento e no conteúdo de nitrogênio das folhas, além de maior intensidade da cor verde no mamoeiro, com redução da clorose, em comparação as plantas sem esses tratamentos.

Rodrigues *et al.* (2016), cultivando mudas de eucalipto com biocarvão fabricado a partir de resíduos de folhas de palmeira dendê, observaram que a aplicação de biochar ao solo proporcionou aumento da capacidade de retenção de água e diminuição da densidade, aumento da capacidade de troca catiônica e elevação das concentrações de nutrientes no solo. Contudo, verificaram também, que são necessários mais estudos para se determinar a dose a ser utilizada, visto que há riscos de toxidez por excesso de nutrientes.

## **2.6 Utilização de recipientes na produção de mudas**

O uso de substratos associados a recipientes tem tornado o sistema de produção de mudas cada vez mais eficiente e específico. Com o desenvolvimento tecnológico e o avanço

dos sistemas agrícolas, têm surgido novas técnicas e metodologias para o cultivo de mudas, tendo a produção passado de canteiros no solo, para a semeadura em recipientes com a utilização de substratos (RODRIGUES *et al.*, 2010), fato que vem contribuindo para o aumento da qualidade das mudas.

Recipiente é a estrutura física usada para o acondicionamento de substratos para o cultivo de plantas, podendo englobar desde o plantio, o crescimento de mudas até a comercialização da muda pronta (OLIVEIRA *et al.*, 2016). O emprego de recipientes otimiza os sistemas de produção de mudas, visto que sua utilização promove melhor ocupação do viveiro, facilita a semeadura, o transporte da muda para o campo e o manejo adotado na cultura. Todos esses fatores podem interferir no custo final e na qualidade da muda (BEZERRA, 2003).

Um dos aspectos a se considerar na produção de mudas é o tamanho do recipiente utilizado, tendo em vista que essa característica influencia no custo produtivo, pois, a partir do tamanho do recipiente define-se a quantidade de substrato e de insumos que irá demandar, o espaço que irá ocupar no viveiro e a mão-de-obra para o transporte (QUEIROZ; MELÉM JÚNIOR, 2001). O tamanho do recipiente tem influência, ainda, sobre as características da muda, como taxa de sobrevivência à campo e produtividade da cultura (AJALA *et al.*, 2012).

Na escolha do tamanho do recipiente deve-se optar por aquele que permita o crescimento do sistema radicular sem restrições significativas, durante o tempo de permanência da muda no viveiro (OLIVEIRA-JÚNIOR *et al.*, 2012). Deve-se atentar, ainda, que mudas produzidas em recipientes pequenos têm custos produtivos reduzidos se comparados aos custos com os recipientes grandes; porém, mudas produzidas em recipientes pequenos, geralmente, possuem menores tamanhos e vigor do que aquelas de recipientes maiores (BEZERRA, 2003).

Os recipientes utilizados na produção de mudas de diversas espécies são bandejas de plástico, bandejas de isopor, sacos plásticos e tubetes (BEZERRA, 2003). Os sacos plásticos são muito utilizados, porém, seu uso vem diminuindo em virtude da necessidade de grande quantidade de substrato, do peso da muda pronta e da ocupação de uma área grande no viveiro, o que diminui a produção por unidade de área e aumenta o custo da muda (AJALA *et al.*, 2012). Em contrapartida, a utilização de bandejas vem aumentando em virtude das vantagens desse recipiente, pois proporciona economia de substrato, ocupa menor área no viveiro e promove menor custo no manejo fitossanitário (OLIVEIRA *et al.*, 1993).

Diante desses aspectos, vários são os estudos realizados comparando diferentes recipientes na produção de mudas das mais diversas espécies. Em trabalho com recipientes

para a produção de mudas de guabiroba, Bardivieso *et al.* (2011) observaram que o tubete com capacidade de 125 cm<sup>3</sup> proporcionou a obtenção de mudas com maior massa seca, altura e comprimento de raízes do que as mudas produzidas em tubetes de 50 cm<sup>3</sup>. Rodrigues *et al.* (2010) observaram que as bandejas de poliestireno de 72 células promoveram maior crescimento de mudas de tomate do que as bandejas de menor volume (128 e 200 células).

De modo semelhante, Vallone *et al.* (2010), estudando a produção de mudas de cafeeiro nos recipientes tubetes de polietileno de 50 mL e de 120 mL e saquinhos de polietileno com capacidade de 700 mL, verificaram que os recipientes de maior volume (saquinho de polietileno e tubete de 120 mL) promoveram o maior desenvolvimento das mudas. Todavia, Oliveira Júnior *et al.* (2012) ressaltam que nem todas as espécies têm respostas significativas quando se utiliza recipientes grandes, sendo que estes só devem ser usados quando promoverem maior desenvolvimento das mudas, visto que seu uso gera maiores custos de produção.

Nessa perspectiva, Ajala *et al.* (2012), comparando a influência do volume de recipientes na produção de mudas de pinhão manso, observaram que os tubetes de 120 cm<sup>3</sup> proporcionaram crescimento equivalente ao de mudas produzidas em recipientes de maior volume (saco plástico de 1,178 cm<sup>3</sup> e tubetes de 180 cm<sup>3</sup>), porém, com economia de substrato, de espaço no viveiro e de esforços no plantio.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi dividido em dois experimentos: produção de mudas de mamoeiro em sacos de polietileno e produção de mudas de mamoeiro em bandejas de poliestireno.

#### 3.1 Local dos experimentos

Os dois experimentos foram realizados em casa de vegetação coberta com plástico de 200  $\mu$  de espessura do Departamento de Fitotecnia, no Campus do Pici, pertencente à Universidade Federal do Ceará (UFC), localizada em Fortaleza/CE, com coordenadas geográficas de: 3°43'02" S e 38° 32'35" W e, com altitude de 12 m do nível do mar. Segundo Köppen, o clima local é do tipo Aw', ou seja, tropical chuvoso, muito quente, com chuvas predominantes nas estações do verão e outono.

#### 3.2 Espécie vegetal utilizada

Para a produção das mudas utilizou-se sementes de mamão (*Carica papaya* L.), variedade Sunrise Solo, da marca comercial Topseed<sup>®</sup>, com 85% de poder de germinação e 99% de pureza. As sementes foram semeadas em recipientes contendo os substratos referentes a cada tratamento nos dois experimentos, descritos a seguir.

#### 3.3. Experimento 1

##### 3.3.1 Instalação e condução do experimento

O experimento foi realizado no período de janeiro a fevereiro de 2019. Para tanto, foram utilizados como recipientes sacos pretos de polietileno, com dimensões de 12 × 26 cm e volume de 1 L, os quais foram preenchidos com os substratos correspondentes a cada tratamento, tendo sido, posteriormente, semeado quatro sementes em cada recipiente (Figura 1). Aos 20 dias após a semeadura (DAS), quando as plantas atingiram cerca de 5 cm de altura, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas uma planta, a mais vigorosa, em cada recipiente.

Figura 1 - Plantio das sementes de mamoeiro em sacos de polietileno



Fonte: Autora, 2020.

A irrigação foi realizada de forma manual duas vezes ao dia, no início da manhã e no final da tarde, sendo efetuada até que se observasse a drenagem da água aplicada em cada tratamento (Figura 2). As plantas daninhas foram retiradas manualmente, conforme surgiram no recipiente, e não foi efetuada adubação durante o experimento.

Figura 2 – Irrigação manual com borrifador



Fonte: Autora, 2020.

Optou-se por encerrar o experimento aos 45 DAS, quando as mudas de pelo menos um dos tratamentos avaliados atingiram entre 15 e 20 cm de altura, visto que, de acordo com as recomendações da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), esse é o momento adequado do plantio da muda em local definitivo (CHAVES *et al.*, 2000).

### ***3.3.2 Delineamento experimental***

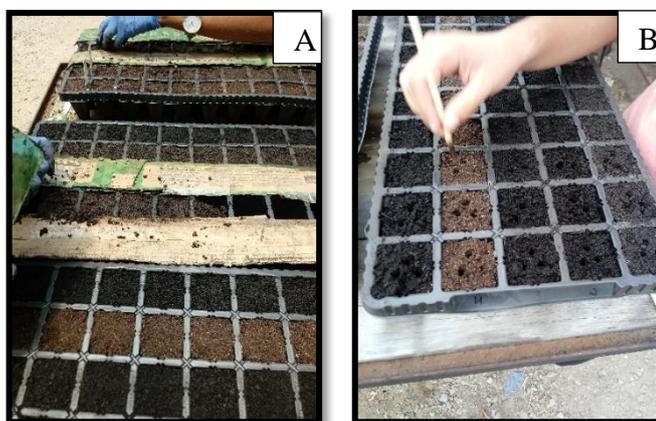
O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), compostos por quatro tratamentos e cinco repetições, com seis plantas em cada repetição, totalizando 120 mudas de mamoeiro. Os tratamentos foram formados por quatro tipos de substratos: compostagem de lodo de esgoto, compostagem de casca de coco verde, compostagem de bagana de carnaúba e o substrato comercial Turfa Fértil®.

## 3.4 Experimento 2

### 3.4.1 Instalação e condução do experimento

O experimento foi realizado entre março e abril de 2019. Foram utilizadas bandejas de poliestireno de 50 células com capacidade de 100 mL por célula, as quais foram preenchidas com os substratos correspondentes a cada tratamento, em cada uma das quais, posteriormente, foram semeadas três sementes a uma profundidade de 1,5 cm, (Figura 3). Aos 20 dias após a semeadura (DAS), quando as plantas atingiram cerca de 5 cm de altura, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas a planta mais vigorosa em cada célula.

Figura 3 – Preenchimento das bandejas com substratos (A) e plantio das sementes (B)



Fonte: Autora, 2020.

A irrigação foi realizada de forma manual duas vezes ao dia, sendo efetuada até que se observasse a drenagem da água aplicada em cada tratamento. As plantas daninhas foram retiradas manualmente, a medida que surgiram no recipiente, e não foi efetuada adubação durante o experimento.

Aos 34 DAS, quando a altura das mudas estava variando de 6 a 11 cm em função dos tratamentos aplicados, o experimento foi encerrado, visto que a partir desse momento o espaço das células pode restringir o crescimento das plantas e que, conforme recomenda Serrano *et al.* (2010), a altura de mudas de mamoeiro de cerca de 10 cm é considerada por produtores como o principal indicativo do momento de transplântio das mudas para o campo.

### 3.4.2 Delineamento experimental

Neste experimento foi adotado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo constituído por oito tratamentos e quatro repetições, com dez plantas em cada repetição,

totalizando 320 mudas de mamoeiro. Os tratamentos foram constituídos por oito substratos, sendo estes: compostagem de lodo de esgoto, compostagem de casca de coco verde, compostagem de bagana de carnaúba, substrato comercial Turfa Fértil<sup>®</sup>, compostagem de lodo + biochar, compostagem de casca de coco verde + biochar, compostagem de bagana + biochar, substrato comercial + biochar. O biochar foi produzido a partir da casca do coco verde e foi adicionado na proporção correspondente a 10% do volume dos substratos.

### 3.5 Obtenção dos substratos

Os substratos foram previamente obtidos através do processo de compostagem durante sete meses, por meio da ação de microrganismos aeróbicos nos resíduos lodo de esgoto, casca de coco verde e bagana de carnaúba. Para a realização da compostagem, cada resíduo foi misturado com esterco de galinha poedeira, na proporção de 3:1 (v/v); posteriormente, foi disposto juntamente com gesso, sob camadas em leiras com 1 m de altura, 2 m de largura e 2,5 m de comprimento, tendo sido usado 50 kg de gesso em cada leira. Para acelerar a oxigenação e o processo de compostagem, as leiras foram revolvidas uma vez por semana. Após ficarem prontos, os compostos foram triturados e peneirados em malha de 4 mm, para então serem utilizados (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

O biocarvão foi produzido a partir da casca do coco verde, após a retirada do endosperma líquido. Para a produção do biocarvão, o material foi submetido ao processo de pirólise em forno caseiro, com taxa de aquecimento de  $10^{\circ} \text{C min}^{-1}$ , a uma temperatura final de carbonização entre 400 e 550<sup>o</sup> C. Em seguida, o biochar foi peneirado em malha de 2 mm e adicionado aos substratos utilizados na produção das mudas (MAIA *et al.*, 2013). No presente trabalho, as palavras biocarvão e biochar serão utilizadas como sinônimas para designar o mesmo material.

O substrato comercial empregado nos experimentos foi a Turfa Fértil<sup>®</sup>, fabricada pela empresa Florestal S.A., o qual tem como matérias-primas a turfa e a casca de arroz carbonizada (Figura 4). O lodo de esgoto utilizado para a fabricação do composto orgânico foi fornecido na forma seca pela estação de tratamento de esgoto (ETE) de Fortaleza; a casca de coco verde foi doada pela empresa Agroindústria Paraipaba; a bagana de carnaúba e o esterco de galinha poedeira foram disponibilizados pela empresa Tijuca Alimentos.

Figura 4 – Substrato comercial Turfa Fértil®



Fonte: Autora, 2020.

### 3.6 Variáveis analisadas

#### 3.6.1 Caracterização química e física dos substratos

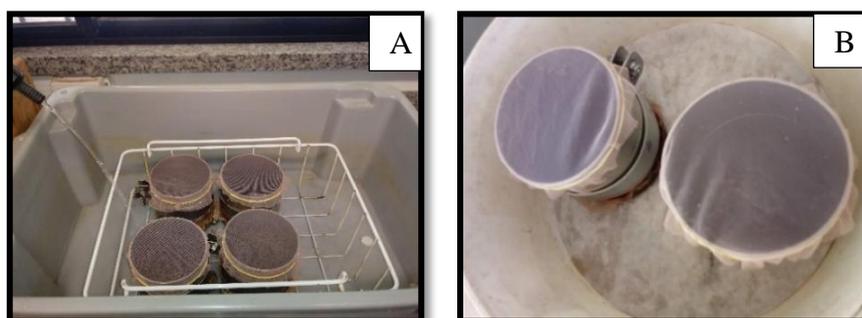
No início dos experimentos, antes da semeadura, foram realizadas análises dos substratos no laboratório de solos da Embrapa Agroindústria Tropical, localizada em Fortaleza - CE. As amostras foram preparadas para as análises químicas e físicas, segundo a Instrução Normativa nº 17 de 21 de maio de 2007, do MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007). Para tanto, inicialmente, as amostras foram passadas da maneira como recebidas, por uma peneira de malha  $19 \times 19$  mm.

Com relação as características físicas dos substratos, analisou-se a densidade global e a capacidade de retenção de água, segundo a Instrução Normativa nº 31 do MAPA (MAPA, 2008). A densidade foi determinada pelo método de auto compactação, em que se preencheu uma proveta plástica de 500 mL até a marca de 300 mL com os substratos na umidade atual. Em seguida, a proveta foi deixada cair sob a ação de seu próprio peso, de uma altura de 10 cm, por 10 vezes consecutivas. Com o auxílio de uma espátula nivelou-se a superfície, leu-se o volume obtido e realizou-se a pesagem do material descontando a massa da proveta e anotando o volume que o substrato atingiu após a compactação.

Para obtenção da capacidade de retenção de água, vedou-se o fundo de anéis volumétricos com tela e prendeu-se com um elástico. Em seguida, preencheu-se os anéis com substrato com massa calculada pela densidade e pelo volume dos anéis, sendo estes deixados saturar por 48 h, com lâmina de água localizada 0,5 cm abaixo da borda dos anéis.

Posteriormente, os anéis foram colocados sobre mesa de tensão coberta com papel filtro com tensão de 10 cm de coluna de água, por 48 h. Após esse tempo, as amostras foram pesadas, colocadas para secar em estufa a 65° C por 48 h e, em seguida, pesadas novamente (Figura 5). O resultado das análises físicas dos substratos pode ser visualizado na Tabela 2.

Figura 5 - Saturação dos substratos em água desionizada (A) e amostras dos substratos em mesa de tensão (B)



Fonte: Autora, 2020.

Tabela 2 - Densidade global (Dg) e capacidade de retenção de água (CRA) dos substratos a base de resíduos orgânicos, Fortaleza- CE, 2019

| Substrato                     | Dg (kg m <sup>-3</sup> ) | CRA (%) |
|-------------------------------|--------------------------|---------|
| Comercial                     | 326                      | 64      |
| Casca de coco verde           | 638                      | 55      |
| Bagana de carnaúba            | 627                      | 53      |
| Lodo de esgoto                | 645                      | 52      |
| Comercial + biochar           | 351                      | 29      |
| Casca de coco verde + biochar | 574                      | 37      |
| Bagana + biochar              | 582                      | 31      |
| Lodo + biochar                | 592                      | 33      |

Fonte: Autora, 2020.

Para a avaliação dos parâmetros químicos, os teores de nutrientes foram obtidos pelo método da extração de nutrientes solúveis em água, conforme a Instrução Normativa 17/2007 do MAPA (MAPA, 2007). Para tanto, com base na densidade global tomou-se a massa calculada de cada substrato equivalente ao volume de 60 mL; em seguida, transferiu-se os substratos para Erlenmeyer de vidro com 500 mL de capacidade e adicionou-se 300 mL de água desionizada. Os Erlenmeyers devidamente fechados foram submetidos à agitação de 40 rpm por 60 minutos para a obtenção do extrato (Figura 6).

Figura 6 - Agitação de substratos em agitador tipo Wagner, para obtenção de extrato



Fonte: Autora, 2020.

Os extratos foram filtrados em papel de filtragem rápida e depois lenta, para se eliminar possíveis resíduos nas soluções. As soluções filtradas foram levadas ao espectrômetro de emissão óptica para leitura em plasma de argônio (ICP - OES) e quantificação dos elementos: P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, Na, Ni, Al, As, Cd, Cr, Hg, Pb e Se. O N inorgânico (amônio e nitrato) foi obtido no extrato solúvel em água pelo método da destilação a vapor. A CTC foi mensurada pelo método que se baseia na ocupação dos sítios de troca do material (Figura 7). A condutividade elétrica (CE) e o pH foram mensuradas nos extratos preparados pelo método de extração de nutrientes solúveis em água, por meio da leitura no pH-metro e condutivímetro (MAPA, 2007). O resultado das análises químicas pode ser visualizado nas Tabelas 3 e 4.

Figura 7 – Filtragem de material para a obtenção da CTC



Fonte: Autora, 2020.

Tabela 3 – Análise dos elementos químicos dos substratos: comercial (C), casca de coco (CC), bagana de carnaúba (B), lodo de esgoto (L), comercial + biochar (C + B), casca de coco + biochar (CC + B), bagana + biochar (B + B) e lodo + biochar (L + B), Fortaleza- CE, 2019

| Elemento Químico               |                    | Substrato |       |       |       |       |        |       |       |
|--------------------------------|--------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
|                                |                    | C         | CC    | B     | L     | C + B | CC + B | B + B | L + B |
| N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | g L <sup>-1</sup>  | 0,024     | 0,024 | 0,024 | 0,019 | 0,089 | 0,05   | 0,026 | 0,029 |
| N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | g L <sup>-1</sup>  | 0,096     | 0,043 | 0,053 | 0,058 | 0,07  | 0,087  | 0,055 | 0,06  |
| P                              | g L <sup>-1</sup>  | 0,001     | 0,027 | 0,052 | 0,024 | 0,034 | 0,021  | 0,002 | 0,020 |
| K                              | g L <sup>-1</sup>  | 0,058     | 0,142 | 0,162 | 0,163 | 0,711 | 0,770  | 1,168 | 0,739 |
| Ca                             | g L <sup>-1</sup>  | 1,737     | 2,566 | 2,469 | 1,850 | 2,352 | 2,472  | 1,379 | 1,358 |
| Mg                             | g L <sup>-1</sup>  | 0,327     | 0,629 | 0,517 | 0,236 | 0,376 | 0,526  | 0,268 | 0,178 |
| S                              | g L <sup>-1</sup>  | 1,277     | 1,931 | 1,777 | 1,275 | 1,773 | 1,943  | 1,264 | 1,150 |
| Na                             | g L <sup>-1</sup>  | 0,135     | 0,078 | 0,081 | 0,073 | 0,124 | 0,142  | 0,264 | 0,127 |
| Zn                             | mg L <sup>-1</sup> | 0         | 0     | 0     | 4,90  | 0     | 0      | 0     | 2,60  |
| Fe                             | mg L <sup>-1</sup> | 1,4       | 0,15  | 0,20  | 0,50  | 0,20  | 0,15   | 0,70  | 0,45  |
| Mn                             | mg L <sup>-1</sup> | 3,05      | 1,10  | 2,35  | 1,35  | 2,90  | 0,80   | 2,20  | 1,05  |
| Cu                             | mg L <sup>-1</sup> | 0,05      | 0,10  | 0,10  | 0,95  | 0,05  | 0,10   | 0     | 0,95  |
| Al                             | mg L <sup>-1</sup> | 1,00      | 0,70  | 1,10  | 1,05  | 1,15  | 0,65   | 0,65  | 1,10  |
| Ni                             | mg L <sup>-1</sup> | 0         | 0,05  | 0     | 7,30  | 0     | 0,05   | 0     | 4,75  |
| As                             | mg L <sup>-1</sup> | 0         | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     |
| Cd                             | mg L <sup>-1</sup> | 0         | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     |
| Cr                             | mg L <sup>-1</sup> | 0,05      | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0      | 0     | 0,05  |
| Hg                             | mg L <sup>-1</sup> | 0         | 0,05  | 0     | 0     | 0     | 0,05   | 0     | 0     |
| Pb                             | mg L <sup>-1</sup> | 0         | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     |
| Se                             | mg L <sup>-1</sup> | 0         | 0     | 0     | 0,15  | 0     | 0,05   | 0     | 0,15  |

Fonte: Autora, 2020.

Tabela 4 – Análise de pH, CE e CTC dos substratos: comercial, casca de coco, bagana de carnaúba, lodo de esgoto, comercial + biochar, casca de coco + biochar, bagana + biochar, lodo + biochar, Fortaleza- CE, 2019

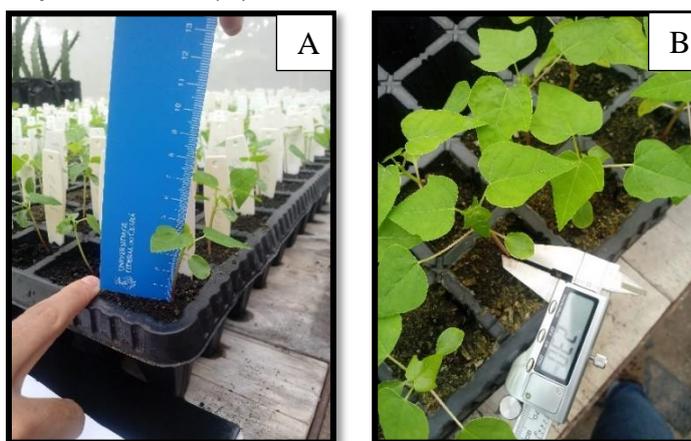
| Substrato               | pH               | CE                  | CTC                                |
|-------------------------|------------------|---------------------|------------------------------------|
|                         | H <sub>2</sub> O | mS cm <sup>-1</sup> | mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> |
| Comercial               | 5,5              | 1,97                | 870                                |
| Casca de coco           | 6,7              | 2,84                | 201                                |
| Bagana                  | 6,4              | 2,61                | 225                                |
| Lodo                    | 6,4              | 2,62                | 210                                |
| Comercial + biochar     | 5,8              | 2,12                | 707                                |
| Casca de coco + biochar | 6,8              | 3,3                 | 452                                |
| Bagana + biochar        | 6,6              | 3,0                 | 134                                |
| Lodo + biochar          | 6,4              | 2,68                | 194                                |

Fonte: Autora, 2020.

### 3.6.2 Análises biométricas

Ao longo de cada experimento foram realizadas duas avaliações de altura da planta (H), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF), sendo que no experimento em sacos as avaliações foram efetuadas aos 35 e 42 DAS, enquanto que no experimento em bandejas as avaliações foram realizadas aos 20 e 27 DAS. A altura foi mensurada com o auxílio de uma régua graduada em milímetros, medindo-se do colo até a última inserção foliar; o diâmetro do caule foi medido no colo da planta, empregando-se um paquímetro digital; e, o número de folhas foi obtido por meio da contagem das folhas completamente desenvolvidas (Figura 8).

Figura 8 – Medição da altura (A) e do diâmetro do caule em mudas de mamoeiro



Fonte: Autora, 2020.

Ao final dos experimentos foi realizada a coleta dos órgãos vegetativos (Figura 9) e, posteriormente, foi medido o comprimento da raiz principal com régua graduada e, obtida a

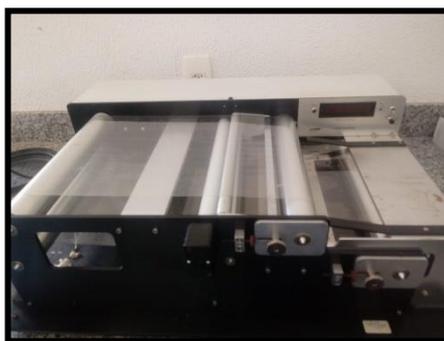
área foliar e a massa de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular. A área foliar foi determinada por meio de um medidor de superfície (LI – 3100, Área Meter, Li-Cor., Inc., Lincoln, 87 Nebraska, USA) (Figura 10).

Figura 9 – Coleta de raízes de mudas de mamoeiro plantadas em bandejas



Fonte: Autora, 2020.

Figura 10 – Equipamento usado para a medição de área foliar



Fonte: Autora, 2020.

Para a obtenção da massa de matéria seca, a planta foi coletada, separada em parte aérea e raízes, lavada em água com detergente, em seguida com solução de ácido clorídrico (HCl) 30% e, por último em água desionizada (Figura 11). Posteriormente, cada parte vegetativa foi alocada em sacos de papel devidamente identificados e colocada para secar em estufa com circulação de ar forçado a 65° C até massa constante. Em seguida, os órgãos vegetativos foram pesados em balança digital de precisão (Figura 12).

Figura 11 – Lavagem de material vegetal das mudas de mamoeiro



Fonte: Autora, 2020.

Figura 12 – Pesagem de parte aérea para obtenção de massa de matéria seca



Fonte: Autora, 2020.

Determinou-se, ainda, a massa de matéria seca total por meio da soma da massa de matéria seca da parte aérea e das raízes e, calculou-se o índice de qualidade de Dickson para se estimar a qualidade das mudas. O índice de qualidade de Dickson (IQD) foi calculado por meio de uma fórmula balanceada que utiliza as variáveis massa de matéria seca total (PMST), altura (H), diâmetro do caule (DC), massa de matéria seca da parte aérea (PMSPA) e massa de matéria seca das raízes (PMSR) (DICKSON *et al.*, 1960), conforme disposto na equação 1:

$$IQD = \frac{PMST(g)}{\frac{H(cm)}{DC(mm)} + \frac{PMSPA(g)}{PMSR(g)}} \quad (1)$$

O índice de qualidade de Dickson é um bom parâmetro para avaliar a qualidade das mudas, uma vez que é uma fórmula balanceada que considera em seu cálculo a robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa na muda, além de ponderar vários parâmetros importantes utilizados para avaliar as mudas (FONSECA *et al.*, 2002). Quanto mais alto for o valor desse índice, melhor será o padrão de qualidade das mudas (COSTA *et al.*, 2011).

### 3.6.3 Análises fisiológicas

Aos 44 dias após a semeadura, no experimento em sacos e, aos 33 DAS no trabalho em bandejas, foi realizada medição da taxa fotossintética líquida ( $A$ ), da condutância estomática ( $g_s$ ) e da taxa de transpiração ( $E$ ) (Figura 13). As avaliações foram realizadas entre 9:00 e 12:00 h, utilizando radiação fotossinteticamente ativa constante ( $1200 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), concentração constante de  $\text{CO}_2$  (400 ppm), temperatura e umidade ambiente, por meio de um analisador de gás no infravermelho (IRGA; modelo portátil LI-6400XT, LI-COR Biosciences Inc., Lincon, Nebraska, USA). Após tais mensurações, foi calculada a eficiência

instantânea de uso da água ( $A/E$ ) e a eficiência instantânea de carboxilação ( $A/Ci$ ).

Figura 13 – Medição de trocas gasosas em mudas de mamoeiro



Fonte: Autora, 2020.

### 3.6.4 Nutrientes minerais da parte aérea e raízes

Para avaliar o estado nutricional das plantas foram analisadas a parte aérea e as raízes separadamente. O material seco em estufa foi triturado em moinho analítico básico (Figura 14A). Após a trituração, pesou-se 0,25 g do material, como uma adaptação a metodologia que é de 0,50 g, pois, não houve produção de biomassa suficiente (Figura 14B). Posteriormente, o material foi colocado em tubos de vidro e submetido à digestão com solução nitroperclórica (EMBRAPA, 2009).

Figura 14 – Moinho utilizado para triturar amostras (A) e pesagem das amostras (B) trituradas



Fonte: Autora, 2020.

Após a digestão, o material foi diluído em água desionizada e filtrado em papel de filtragem lenta, sendo, posteriormente, levado ao espectrômetro de emissão óptica para a leitura em plasma de argônio (ICP - OES) e quantificação dos teores de: P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, Na, Ni, Al, As, Cd, Cr, Hg, Pb e Se (EMBRAPA, 2009). No experimento em sacos não foi possível fazer análise de N, em virtude de não ter sido produzido material

vegetal suficiente; contudo, no experimento em bandejas houve produção de material vegetal suficiente, pois havia maior número de plantas por repetição, tendo sido possível realizar a análise de N total pelo método de destilação a vapor.

De posse dos valores de teores dos elementos presentes nas plantas, calculou-se o acúmulo (A) de elementos minerais na parte aérea, nas raízes e na planta inteira. Além dos dados de teores, para o cálculo de acúmulo é necessário o valor de massa de matéria seca da parte aérea (PMSPA) e massa de matéria seca das raízes (PMSR), conforme equação 2:

$$A (mg) = \text{PMSPA ou PMSR} \times \text{teor de macro ou micronutriente} \quad (2)$$

A quantidade total de nutrientes acumulada na planta inteira foi calculada pelo somatório dos valores acumulados na parte aérea e nas raízes.

### 3. 7 Análise estatística

Os dados referentes as variáveis analisadas foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando o teste F foi significativo a 5% ou 1%, realizou-se a comparação de médias pelo teste de Tukey, por meio do programa computacional ASSISTAT 7.7 Beta. O resultado do teste de médias foi expresso por meio de gráficos, tendo sido utilizado o programa computacional Excel 2016 para a confecção dos gráficos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Experimento 1

#### 4.1.1 Análises biométricas

Para as variáveis biométricas altura, diâmetro do caule e número de folhas verificou-se que na primeira avaliação (35 DAS) e na segunda (42 DAS) todas as variáveis analisadas foram influenciadas significativamente a 1% de probabilidade pelo teste F, de acordo com a aplicação dos tratamentos, como pode ser visualizado nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância para as variáveis altura (H), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) em mudas de mamoeiro aos 35 DAS, Fortaleza- CE, 2019

| Fontes de Variação | Quadrado Médio |         |         |         |
|--------------------|----------------|---------|---------|---------|
|                    | GL             | H       | DC      | NF      |
| Tratamentos        | 3              | 82,64** | 10,91** | 19,65** |
| Resíduo            | 16             | 1,48    | 0,10    | 0,30    |
| Total              | 19             | -       | -       | -       |
| Média Geral        | -              | 7,42    | 3,07    | 5,25    |
| CV (%)             | -              | 16,39   | 10,09   | 10,43   |

\*\* = Significativo a 1 % pelo teste F.

Fonte: Autora, 2020.

Tabela 6 – Resumo da análise de variância para as variáveis altura (H), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) em mudas de mamoeiro aos 42 DAS, Fortaleza- CE, 2019

| Fontes de Variação | Quadrado Médio |          |         |         |
|--------------------|----------------|----------|---------|---------|
|                    | GL             | H        | DC      | NF      |
| Tratamentos        | 3              | 465,93** | 28,99** | 39,78** |
| Resíduo            | 16             | 8,01     | 0,10    | 2,20    |
| Total              | 19             | -        | -       | -       |
| Média Geral        | -              | 12,93    | 4,21    | 7,15    |
| CV (%)             | -              | 21,89    | 7,54    | 20,74   |

\*\* = Significativo a 1 % pelo teste F.

Fonte: Autora, 2020.

A altura das plantas foi superior quando se utilizou os substratos bagana de carnaúba e casca de coco verde (Figura 15), tanto na primeira quanto na segunda avaliação. Na primeira

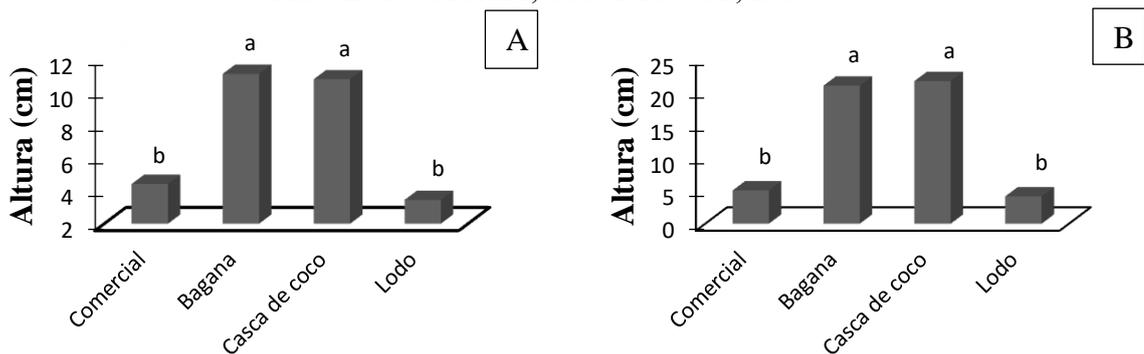
avaliação a altura das mudas variou de 3,44 cm a 11,09 cm (Figura 16A), enquanto na segunda avaliação, a altura foi de 4,14 cm até 21,63 cm (Figura 16B).

Figura 15 – Mudanças de mamoeiro 35 DAS cultivadas no substrato bagana de carnaúba (B), casca de coco (CC), lodo de esgoto (L) e comercial (C)



Fonte: Autora, 2020.

Figura 16 - Altura das mudas de mamoeiro, aos 35 (A) e 42 DAS (B), cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

A altura superior das plantas cultivadas com bagana de carnaúba e casca de coco verde ocorreu como consequência da maior concentração de cálcio nesses substratos, conforme pode ser observado na Tabela 3. O efeito do Ca sobre o crescimento em altura das plantas pode ser atribuído a sua função no metabolismo vegetal, uma vez que esse elemento participa da divisão e do alongamento celular, além de desempenhar função estrutural, participando da composição da membrana das células, sendo um elemento-chave na parede celular primária, pois, confere resistência (BARKER; PILBEAM, 2015).

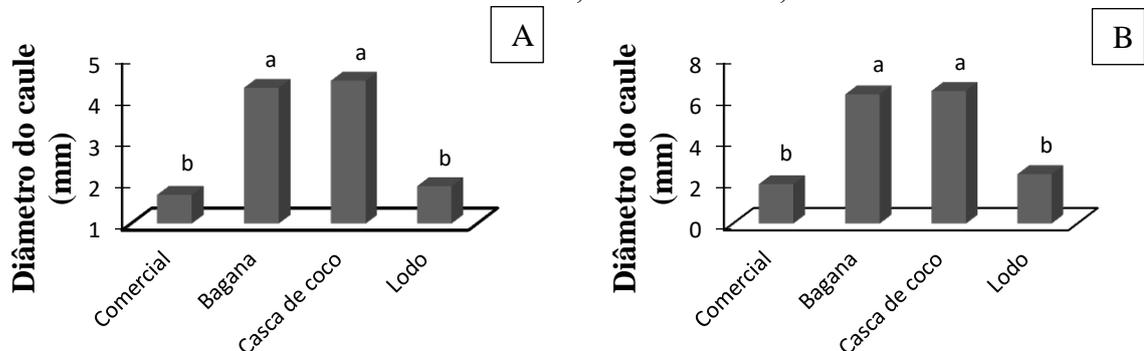
Os resultados alcançados neste experimento corroboram o trabalho de Sousa *et al.* (2015), pois, em estudo com substratos constituídos por bagana de carnaúba, casca de arroz, composto orgânico vegetal e solo para a produção de mudas de cambaí, os autores verificaram efeito positivo da bagana de carnaúba sobre o crescimento em altura das mudas. Observaram, ainda, que o composto vegetal também promoveu altura elevada para as mudas e, atribuíram o

resultado a alta concentração de cálcio presente no composto, tendo em vista que níveis adequados de Ca promovem maior crescimento em altura.

A altura das mudas é uma variável de crescimento de grande relevância, pois, esse é um dos parâmetros avaliados para transplantar a muda para o local definitivo. Diante disso, os resultados positivos dos substratos casca de coco verde e bagana de carnaúba sobre a altura das mudas de mamoeiro demonstraram que a escolha do substrato adequado é de extrema importância para a produção de mudas com características desejadas, uma vez que constitui o meio do qual as plantas irão retirar água e nutrientes para o seu crescimento e desenvolvimento inicial (PEREIRA *et al.*, 2015).

A variável diâmetro do caule apresentou as maiores médias quando as plantas foram cultivadas nos substratos bagana de carnaúba e casca de coco verde, tanto na primeira avaliação quanto na segunda. Na primeira avaliação, o menor diâmetro foi de 1,69 mm e o maior foi de 4,43 mm (Figura 17A), enquanto na segunda avaliação o diâmetro variou de 1,89 mm até 6,37 mm (Figura 17B). Em ambas as avaliações o substrato comercial e a casca de coco promoveram o menor e o maior valor de diâmetro respectivamente.

Figura 17 - Diâmetro do caule de mudas de mamoeiro, aos 35 (A) e 42 DAS (B), cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

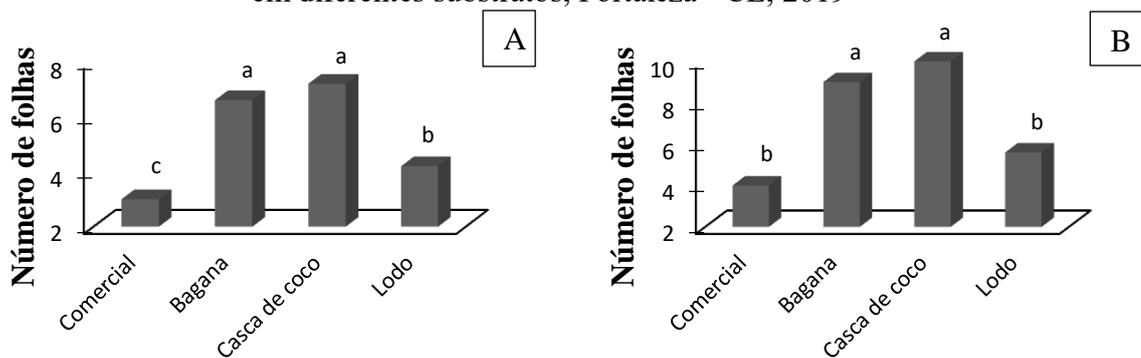
O diâmetro do caule seguiu a mesma tendência da variável altura de planta, ou seja, as mudas cultivadas com bagana de carnaúba e casca de coco apresentaram os maiores valores em altura e exibiram os maiores diâmetros do caule, o que indica que as plantas não sofreram estiolamento. As plantas que possuem elevado diâmetro caulinar tendem a se sobressair no campo, em virtude do seu maior vigor (DINIZ *et al.*, 2018). Assim, acredita-se que as mudas cultivadas com bagana de carnaúba e casca de coco verde terão maior chance de sobrevivência no campo, em virtude de sua maior altura e diâmetro caulinar.

Os resultados obtidos estão em concordância com o trabalho de Albano *et al.* (2017). Estudando substratos compostos por resíduo agroindustrial de carnaúba para a produção de

mudas de mamoeiro, os autores verificaram que os melhores resultados para o diâmetro do caule foram obtidos nas plantas cultivadas no resíduo de carnaúba semidecomposto e no húmus de minhoca, em comparação aos substratos resíduo de carnaúba + casca de arroz; resíduo de carnaúba em pó; e mistura de resíduo de carnaúba. Observaram, ainda, que o maior diâmetro caulinar pode ter relação com a altura da planta, em virtude do acúmulo de fotoassimilados.

Para o número de folhas, tanto na primeira quanto na segunda avaliação, os substratos com bagana de carnaúba e casca de coco verde proporcionaram médias superiores em relação aos demais tratamentos. Na primeira avaliação o número de folhas variou de 3 a 7,2 (Figura 18A), enquanto na segunda avaliação o número de folhas variou de 4 até 10 (Figura 18B).

Figura 18 - Número de folhas de mudas de mamoeiro, aos 35 (A) e 42 DAS (B), cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

De modo similar as demais variáveis de crescimento, a bagana de carnaúba proporcionou efeito positivo na emissão de folhas do mamoeiro, situação que corrobora o estudo de Silva Júnior *et al.* (2014). Em trabalho com materiais alternativos para a produção de mudas de tomateiro; os autores observaram que o resíduo de carnaúba mais casca de arroz e, o resíduo de carnaúba semidecomposto promoveram médias superiores para altura de plantas, diâmetro do caule e número de folhas, em comparação aos substratos com solo + areia + esterco bovino; resíduo da palmeira buriti; e resíduo de carnaúba em pó.

A mistura de diferentes materiais na composição de substratos gera produtos com características físico-químicas desconhecidas e, que possuem efeito distinto sobre o crescimento das mudas. Nesse sentido, acredita-se que a adição do esterco de galinha e de gesso aos resíduos bagana de carnaúba e coco verde para o processo de compostagem promoveu maior concentração de macronutrientes nesses substratos, o que foi benéfico para a promoção do crescimento das mudas de mamoeiro, visto que as variáveis de crescimento das

plantas estão relacionadas com concentrações mais elevadas de K, Ca e Mg no substrato (MELO *et al.*, 2019).

Em contrapartida, os substratos comercial e lodo de esgoto exibiram concentrações mais baixas de macronutrientes e valores mais altos de micronutrientes (Tabela 3), o que não foi favorável para o crescimento das plantas e se tornou uma limitação desses substratos para a produção de mudas de mamoeiro. Os micronutrientes, embora sejam essenciais as plantas, participando de processos metabólicos e atuando como cofator enzimático (OLIVEIRA; SILVA, 2016), são requeridos em pequenas quantidades podendo, assim, facilmente ocorrer em concentrações tóxicas que prejudicam os vegetais e retardam o crescimento das plantas (ALEXANDRE *et al.*, 2012).

A análise de crescimento pode ser empregada como importante técnica de avaliação das adaptações da planta em diferentes condições do meio de cultivo (LUDWIG *et al.*, 2010). Desse modo, mediante os resultados apresentados para as variáveis de crescimento do mamoeiro, pôde-se observar que os substratos com bagana de carnaúba e casca de coco verde proporcionaram as melhores condições físico-químicas para a promoção do crescimento das mudas de mamoeiro em sacos de polietileno.

Com relação as variáveis área foliar, comprimento da raiz principal, massa de matéria seca da parte aérea, massa de matéria seca das raízes, massa de matéria seca total e índice de qualidade de Dickson pôde-se observar, por meio da análise de variância, que todas as variáveis foram influenciadas significativamente pelos tratamentos aplicados, a 1% de probabilidade pelo teste F (Tabela 7).

Tabela 7 - Resumo da análise de variância para as variáveis área foliar (AF), comprimento da raiz (CR), massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), massa de matéria seca das raízes (MSR), massa de matéria seca total (MST) e índice de qualidade de Dickson (IQD) em mudas de mamoeiro, Fortaleza- CE, 2019

| Fontes de Variação | Quadrado Médio |              |          |        |        |        |         |
|--------------------|----------------|--------------|----------|--------|--------|--------|---------|
|                    | GL             | AF           | CR       | MSPA   | MSR    | MST    | IQD     |
| Tratamentos        | 3              | 277.143,12** | 387,69** | 3,61** | 0,56** | 4,01** | 0,201** |
| Resíduo            | 16             | 2.406,499    | 4,239    | 0,067  | 0,008  | 0,072  | 0,005   |
| Total              | 19             | -            | -        | -      | -      | -      | -       |
| Média Geral        | -              | 223,44       | 16,21    | 1,21   | 0,33   | 1,21   | 0,23    |
| CV (%)             | -              | 21,95        | 12,7     | 21,33  | 26,67  | 21,33  | 31,64   |

\*\* = Significativo a 1 % pelo teste F.

Fonte: Autora, 2020.

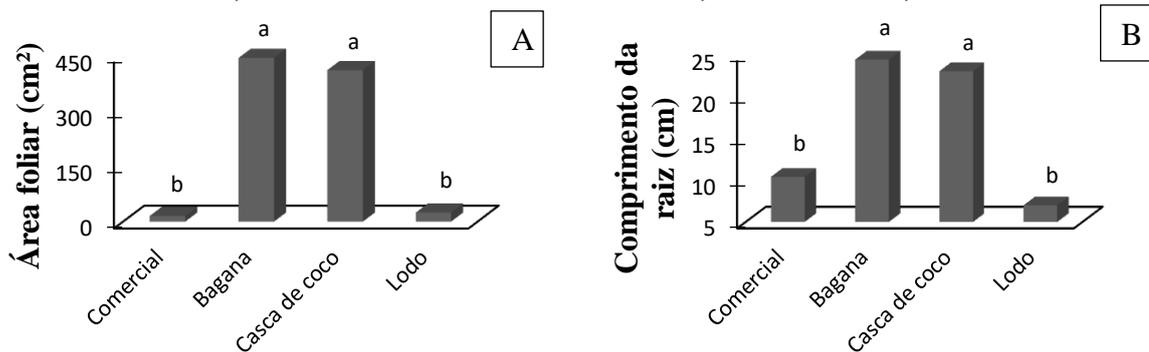
Resultados superiores para as variáveis área foliar e comprimento da raiz principal das mudas (Figura 19) foram alcançadas nos tratamentos com bagana de carnaúba e casca de coco verde. A área foliar das plantas variou de 15,36 cm<sup>2</sup> até 443,37 cm<sup>2</sup> (Figura 20A), enquanto o comprimento da raiz principal foi de 6,99 cm à 24,41 cm (Figura 20B).

Figura 19 – Raízes de mudas de mamoeiro 42 DAS cultivadas no substrato bagana de carnaúba (B), casca de coco (CC), lodo de esgoto (L) e comercial (C)



Fonte: Autora, 2020.

Figura 20 – Área foliar (A) e comprimento da raiz principal (B) de mudas de mamoeiro, aos 45 DAS, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

A área foliar das plantas é um importante parâmetro para se avaliar, tendo em vista que as folhas são os principais órgãos responsáveis por captar a energia solar e produzir compostos orgânicos por meio da fotossíntese (BERNARDI *et al.*, 2008). Assim, plantas com maior desenvolvimento foliar tendem a produzir maior quantidade de fotoassimilados que serão utilizados para a promoção do crescimento e produção de biomassa vegetal. Tal situação foi verificada neste estudo, em que as mudas cultivadas com bagana de carnaúba e casca de coco exibiram crescimento, área foliar e comprimento radicular superiores. Resultado que corrobora os de Corrêa; Biasi (2003), cujo desenvolvimento do sistema radicular de mudas de cipó-mil-homens (*Aristolochia triangularis*) foi proporcional à área fotossintética da planta.

A menor área foliar das mudas cultivadas nos substratos comercial e lodo de esgoto é resultado da composição nutricional desses tratamentos, os quais exibiram, de modo geral, as menores quantidades de macronutrientes, com exceção do nitrogênio inorgânico (Tabela 3). Essa situação também foi observada por Nomura *et al.* (2008), em que o substrato que promoveu a menor área foliar e crescimento das mudas de bananeira cultivar Nanicão apresentou as menores concentrações de N, S, Ca e Mg. Esses resultados evidenciam que para a adequada nutrição vegetal é necessário que todos os nutrientes estejam disponíveis em quantidades adequadas.

O substrato comercial Turfa Fértil<sup>®</sup> e o lodo de esgoto exibiram também, de modo geral, as maiores concentrações de micronutrientes (Tabela 3), fato que pode ter ocasionado o excesso desses nutrientes nas mudas, tendo em vista que os micronutrientes são essenciais ao crescimento das plantas na ordem de alguns miligramas por quilograma de matéria seca (FERNANDES *et al.*, 2018). Apesar de não ter sido observado sintomas de toxidez nas plantas, houve comprometimento do crescimento das mudas cultivadas nesses substratos, as quais 45 dias após a semeadura não apresentaram as características adequadas para o plantio no campo.

O crescimento das plantas depende, entre outros fatores, do adequado fornecimento de água e nutrientes e, tendo em vista que o sistema radicular é responsável pela absorção de água e elementos essenciais, a análise do comprimento radicular constitui um bom indicador do potencial de absorção das mudas (FERNANDES *et al.*, 2018), sendo, portanto, possível relacionar que plantas com maior comprimento de raízes possuem maiores taxas de crescimento vegetal. Esse fato foi comprovado no presente estudo, visto que as mudas cultivadas com bagana de carnaúba e casca de coco, as quais exibiram elevado comprimento radicular, tiveram o maior crescimento, devido a sua maior capacidade de absorção de água e nutrientes.

O crescimento do sistema radicular das plantas é afetado pelas características físicas dos substratos, conforme foi verificado por Mendes *et al.* (2018), cujos substratos que possuíam maior capacidade de aeração e de retenção de água promoveram a melhor formação do sistema radicular de mudas de bacabeira. Contudo, neste experimento a variável física densidade global (Tabela 2) não teve grande influência sobre o crescimento das raízes, visto que, embora o substrato comercial tenha exibido o menor valor de densidade, esse tratamento propiciou baixo crescimento radicular, enquanto os substratos bagana de carnaúba e casca de coco, os quais exibiram altos valores de densidade, promoveram maior crescimento radicular.

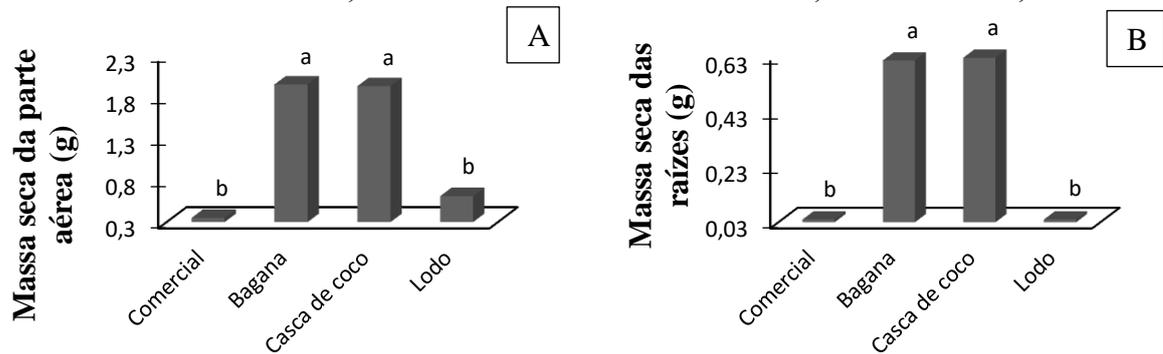
Os substratos são constituídos por poros de diferentes tamanhos e esses poros são responsáveis pelas trocas gasosas entre o material e a atmosfera, além de determinarem o movimento da água no recipiente, bem como a drenagem. Assim, um substrato com menor densidade tem maior porosidade, melhor drenagem e menor restrição física ao crescimento e desenvolvimento vegetal. Quanto maior a densidade, mais difícil fica o cultivo no recipiente, principalmente por limitações no crescimento radicular (MAGGIONI *et al.*, 2014). Todavia, conforme foi verificado, os altos valores de densidade global dos tratamentos bagana de carnaúba e casca de coco verde não representaram impedimento ao crescimento das raízes.

De acordo com Bunt (1973), a densidade ideal de substratos para o cultivo em recipientes plásticos está entre 400 e 500 kg m<sup>-3</sup>, enquanto Petry (1999) adota uma classificação mais ampla que vai de 350 a 500 kg m<sup>-3</sup>. Logo, os valores de densidade global dos quatro substratos testados (Tabela 2) estão fora de ambas as classificações; todavia, como essa variável não afetou o crescimento radicular, conclui-se que a densidade ideal varia em função da espécie e do recipiente usado para a produção de mudas. Neste estudo, o recipiente utilizado, saco de polietileno, é favorável ao crescimento das raízes devido seu maior volume, não sendo assim uma restrição para o sistema radicular. Diante disso, verificou-se que a variável que mais limitou o crescimento das raízes e da planta foi a composição nutricional dos substratos.

Ao se avaliar os atributos químicos dos tratamentos observou-se que os substratos bagana de carnaúba e casca de coco exibiram as maiores concentrações de fósforo (Tabela 3), o que favoreceu o crescimento das raízes das mudas desses tratamentos. Apesar de o P ser o macronutriente requerido em menor quantidade pelo mamoeiro, esse elemento tem grande importância na fase de crescimento radicular (OLIVEIRA *et al.*, 2009), uma vez que estimula a produção de biomassa vegetal (DIAS *et al.*, 2009). Todavia, a deficiência de P no substrato ocasiona prejuízos ao crescimento vegetal, devido a menor produção de raízes e da parte aérea (SARAIVA *et al.*, 2011), fato observado nas mudas dos substratos comercial e lodo de esgoto.

A massa de matéria seca da parte aérea (Figura 21A) e a massa de matéria seca das raízes (Figura 21B) tiveram desempenho superior, quando as mudas foram cultivadas nos substratos bagana de carnaúba e casca de coco verde. A massa de matéria seca da parte aérea variou de 0,35 g até 1,95 g, já a massa de matéria seca das raízes foi de 0,04 g até 0,63 g.

Figura 21 – Massa de matéria seca da parte aérea (A) e massa de matéria seca das raízes (B) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

O maior volume de raízes das mudas cultivadas com bagana de carnaúba e casca de coco foi acompanhado pela maior produção de matéria seca da parte aérea. Esse fato resulta de um sistema radicular bem desenvolvido, o qual promove maior absorção de água e nutrientes, impulsionando o crescimento vegetal e originando mudas com boas características biométricas. A adequada nutrição propicia crescimento da parte aérea e promove melhor desenvolvimento do sistema radicular, o que garante a exploração de volumes maiores de substrato, contribuindo para aumentar a absorção de água e elementos essenciais (NATALE *et al.*, 2018).

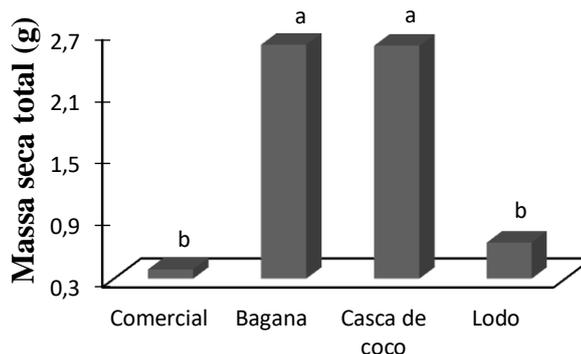
O efeito negativo do substrato comercial sobre a produção de matéria seca no presente experimento, pode ter ocorrido em virtude da elevada capacidade de retenção de água (CRA) da Turfa Fértil® (Tabela 2), a qual apresentou valor muito acima do recomendado por Penningsfeld (1983) para CRA de substratos, que é de 40 a 50%. A elevada capacidade de retenção de água pode ocasionar sérios problemas, como a falta de oxigênio que afeta o desenvolvimento das raízes das plantas e a movimentação de água, além de provocar dificuldades na drenagem (ZORZETO *et al.*, 2014).

Para o lodo de esgoto, acredita-se que seu desempenho negativo na produção de matéria seca das mudas ocorreu em virtude da maior concentração de zinco desse substrato (Tabela 3). O efeito do Zn sobre a redução da produção de biomassa seca, decorre do fato de que no xilema de plantas com excesso desse metal, ocorre o acúmulo de tampões, os quais contém o elemento, o que prejudica a ascensão de nutrientes (MALAVOLTA *et al.*, 1997). Pinto *et al.* (2009) verificaram que a maior concentração de Zn promoveu grande redução da matéria seca e do crescimento das plantas de eucalipto. Neste estudo, também foi verificado menor produção de biomassa seca nas mudas cultivadas em substrato com maior valor de Zn;

contudo, não se observou sintomas de toxidez, corroborando o trabalho de Natale *et al.* (2004).

Para a variável massa de matéria seca total, os tratamentos com bagana de carnaúba e casca de coco verde se sobressaíram em relação ao comercial e ao lodo de esgoto (Figura 22). A massa de matéria seca total das mudas variou de 0,39 g até 2,57 g.

Figura 22 – Massa de matéria seca total de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

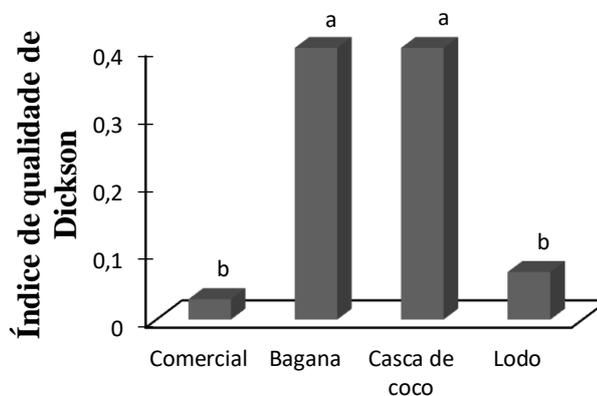
O efeito positivo da bagana de carnaúba e da casca de coco verde sobre a produção de matéria seca total das mudas é resultado da boa composição química desses substratos (Tabela 3). Essa situação também foi verificada por Albano *et al.* (2017), em que os substratos de resíduo de carnaúba semidecomposto e de húmus de minhoca promoveram as maiores médias para a massa de matéria seca de mudas de mamoeiro Formosa, em comparação com as plantas cultivadas nos substratos resíduo de carnaúba + casca de arroz, resíduo de carnaúba em pó, e, mistura de resíduo de carnaúba. Esses dados reforçam o potencial promissor que o resíduo da carnaúba possui para o emprego na produção de mudas de mamoeiro.

Com relação ao resíduo do coco, neste trabalho foi utilizada a casca do coco verde que possui maior riqueza nutricional do que a fibra, a qual é considerada pobre em nutrientes. De acordo com Carrijo *et al.* (2002), a fibra de coco verde tem tido bom desempenho como substrato; todavia, devido à baixa concentração de nutrientes é necessário que para o seu uso como substrato passe por processo de compostagem e de enriquecimento nutricional. Desse modo, como neste estudo não foi usado apenas a fibra, tendo sido empregada a casca de coco por inteiro, além de ter sido adicionado esterco de galinha e gesso para a compostagem, tais técnicas contribuíram para que o substrato casca de coco verde apresentasse concentrações adequadas de elementos essenciais para promover boa formação das mudas de mamoeiro.

As maiores concentrações de macronutrientes exibidas pela bagana de carnaúba e casca de coco (Tabela 3), propiciaram resultados superiores para as variáveis biométricas das mudas, o que se converteu em maior produção de massa seca total das plantas. Resultado que corrobora o trabalho de Melo *et al.* (2019), em que os autores observaram que os maiores valores de biomassa seca, de área foliar e de comprimento das raízes de plantas de guabiroba se relacionaram com as maiores concentrações de Ca e Mg no substrato e, também, com o aumento da disponibilidade de N, P, K e S pela elevação do pH. Neste estudo, os valores de pH dos substratos estudados (Tabela 4) estão dentro da faixa adequada para a cultura do mamoeiro, que é de 5,5 a 6,7 (OLIVEIRA *et al.*, 2009), não afetando assim a disponibilidade de nutrientes.

O índice de qualidade de Dickson (IQD) foi superior quando as mudas de mamoeiro foram cultivadas com os substratos bagana de carnaúba e casca de coco verde, sendo que esses tratamentos promoveram resultados estatisticamente iguais, com 0,40 de média (Figura 23). O menor valor de IQD (0,03) foi observado nas mudas do substrato comercial.

Figura 23 – Índice de qualidade de Dickson de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

Os resultados positivos promovidos pela bagana de carnaúba e casca de coco verde estão em conformidade com trabalhos da literatura que relatam sucesso no uso de diferentes resíduos orgânicos para a produção de mudas de mamoeiro com boa qualidade. Costa Junior *et al.* (2017), estudando a produção de mudas de mamoeiro, tipo Formosa, em substratos com diferentes proporções de resíduos do caule decomposto da palmeira buriti e solo, observaram, aos 65 dias após a semeadura, o valor máximo de 0,55 de IQD para mudas de mamoeiro cultivadas em sacos de polietileno com 37,5% do caule decomposto de buriti.

Os valores alcançados para o índice de qualidade Dickson das mudas cultivadas com bagana de carnaúba e casca de coco verde neste experimento estão próximos aos resultados obtidos por Costa *et al.* (2010). Os autores verificaram, aos 48 dias após a semeadura, que as mudas de mamoeiro Sunrise Solo cultivadas em sacolas de polietileno com o substrato vermiculita alcançaram o valor máximo para o IQD de 0,46.

Os substratos com bagana de carnaúba e casca de coco promoveram índice de qualidade de Dickson superior a 0,20, valor mínimo recomendado por Hunt (1990) para o IQD. Esse resultado demonstra que as mudas produzidas nesses tratamentos exibiram qualidade adequada para o plantio em local definitivo, o que aumenta as chances de sobrevivência no pomar, visto que as mudas em apenas 45 DAS se apresentaram aptas para o plantio no campo. Esse menor tempo de formação das mudas otimiza os sistemas de produção, visto que em menos de 2 meses o viveirista terá plantas adequadas para o transplântio, o que aumenta a quantidade de mudas produzidas durante o ano em virtude do menor tempo de permanência no viveiro.

As mudas do substrato comercial e do lodo de esgoto apresentaram IQD abaixo do valor recomendado na literatura, o que indica que dificilmente essas plantas sobreviveriam ao transplântio. Acredita-se que o lodo de esgoto tenha sido inapropriado para a produção de mudas de qualidade em virtude da proporção usada no experimento, visto que foi utilizado sem mistura com outros componentes. Gomes *et al.* (2013) e Trigueiro; Guerrini (2014) indicam que o lodo seja usado na dose de 60%, devendo ser misturado a materiais que aumentem a porosidade. Esse resíduo não deve ser usado puro devido a sua baixa porosidade, o que pode provocar compactação do substrato (GOMES *et al.*, 2013). Estudos têm registrado que a elevação da dose de lodo provocou aumento da densidade com redução da macroporosidade e aumento da microporosidade do substrato (TRIGUEIRO; GUERRINI, 2014).

No caso do substrato comercial, este é formado pela mistura de turfa e casca de arroz carbonizada; entretanto, o fabricante não informou qual o percentual de cada matéria-prima usada na composição. A adição da casca de arroz à turfa ocasiona redução da densidade e aumento do espaço de aeração, promovendo efeito benéfico no crescimento inicial da planta (BELLÉ; KÄMPF, 1993), além de propiciar redução da capacidade de retenção de água, uma vez que a turfa possui alto valor de água remanescente, o que pode ocasionar problemas as raízes das plantas por excesso de umidade (SCHMITZ *et al.*, 2002). Por isso, em substratos formados por turfa, deve-se buscar evitar o encharcamento (GASPARIN *et al.*, 2014).

Diante desses aspectos, no substrato comercial Turfa Fértil<sup>®</sup> pode ter ocorrido excesso de irrigação, pois, possivelmente, esse substrato era constituído por maior percentual

de turfa, que é um material que possui alta umidade, podendo sofrer com encharcamento. Aliado a isso, tem-se o fato de que a turfa é produto da decomposição de vegetais, sendo as turfeiras formadas pela sedimentação da areia, limo e argila e, pela deposição de vegetais que crescem emergindo ou sobrenadando na água com contribuição das plantas existentes em regiões alagadas; por isso, sua composição varia em função do local e da profundidade de extração do material (LAMIM *et al.*, 2001), o que afeta a qualidade da turfa.

#### 4.1.2 Análises fisiológicas

Ao realizar a análise de variância para as trocas gasosas nas mudas de mamoeiro verificou-se que apenas as variáveis fotossíntese e eficiência de uso da água apresentaram respostas significativas, a 1% de probabilidade pelo teste F, em função dos tratamentos aplicados (Tabela 8).

Tabela 8 - Resumo da análise de variância para as variáveis fotossíntese (*A*), condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), eficiência instantânea de uso da água (*A/E*) e eficiência instantânea de carboxilação (*A/Ci*) em mudas de mamoeiro aos 44 DAS, Fortaleza- CE, 2019

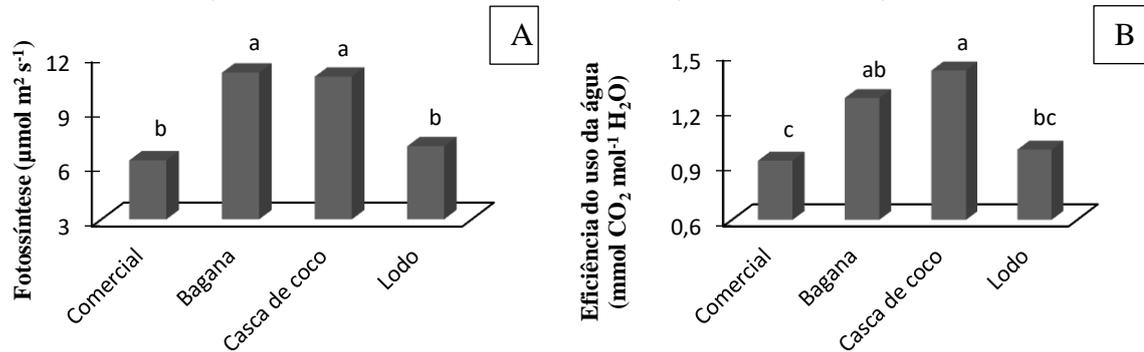
| Fontes de Variação | Quadrado Médio |          |                    |                   |            |                       |
|--------------------|----------------|----------|--------------------|-------------------|------------|-----------------------|
|                    | GL             | <i>A</i> | <i>gs</i>          | <i>E</i>          | <i>A/E</i> | <i>A/Ci</i>           |
| Tratamentos        | 3              | 31,55**  | 0,05 <sup>ns</sup> | 3,6 <sup>ns</sup> | 0,27**     | 0,00026 <sup>ns</sup> |
| Resíduo            | 16             | 1,91     | 0,03               | 1,31              | 0,03       | 0,00002               |
| Total              | 19             | -        | -                  | -                 | -          | -                     |
| Média Geral        | -              | 8,76     | 1,08               | 7,64              | 1,14       | 0,02                  |
| CV (%)             | -              | 15,79    | 17,25              | 14,98             | 16,09      | 16,99                 |

\*\* = Significativo a 1 % pelo teste F e <sup>ns</sup> = não significativo.

Fonte: Autora, 2020.

As variáveis fotossíntese (Figura 24A) e eficiência instantânea de uso da água (Figura 24B) tiveram médias superiores quando as plantas foram cultivadas nos substratos bagana de carnaúba e casca de coco. A fotossíntese variou de 6,22  $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$  (comercial) até 11,03  $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$  (bagana), enquanto a eficiência de uso da água foi de 0,92  $\text{mmol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$  até 1,41  $\text{mmol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$  nos substratos comercial e casca de coco respectivamente.

Figura 24 – Fotossíntese (A) e eficiência de uso da água (B) de mudas de mamoeiro, aos 44 DAS, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

Conforme pôde ser observado nas variáveis biométricas, embora as mudas de mamoeiro tivessem a mesma idade em todos os períodos de avaliação, estas exibiram crescimento bastante diferenciado, o que sugere que as plantas se encontravam em diferentes estádios de desenvolvimento ao final do experimento. Esse fato influencia diretamente as trocas gasosas, visto que as mudas dos tratamentos bagana de carnaúba e casca de coco apresentaram folhas bem desenvolvidas e com extensa área foliar, assumindo assim função de órgão fonte, enquanto as plantas do substrato comercial e do lodo de esgoto exibiram folhas imaturas, pouco desenvolvidas, estando ainda na fase de dreno.

Com o crescimento das folhas a capacidade dos vegetais de produzir fotossintatos aumenta, até que se alcance a maturidade foliar (SILVA *et al.*, 2013). Inicialmente, as folhas começam seu desenvolvimento como drenos e, quando alcançam de 40 a 50% de seu tamanho final, mudam de estado assumindo a função de fonte passando a produzir fotoassimilados acima de suas necessidades, que serão exportados para os órgãos drenos, os quais não conseguem produzir fotossintatos suficientes para suas necessidades (TAIZ *et al.*, 2017). As folhas fontes produzem assimilados a partir da fotossíntese (DUARTE; PEIL, 2010); por isso, esses órgãos possuem elevada taxa fotossintética, conforme pôde ser verificado nesse estudo para as mudas cultivadas com bagana de carnaúba e casca de coco verde.

A boa composição nutricional dos substratos casca de coco e bagana de carnaúba (Tabela 3) propiciou o maior crescimento das plantas desses tratamentos, o que fez com que as folhas dessas mudas se desenvolvessem de modo mais rápido e mudassem de estágio, se transformando em órgãos fontes devido a sua maior atividade fotossintética. Esse aumento da fotossíntese está ligado a episódios como o desenvolvimento foliar, o aumento da área foliar e do conteúdo de pigmentos fotossintetizantes (CAMPOSTRINI *et al.*, 2001). Quanto às mudas dos substratos comercial e lodo de esgoto, suas menores taxas fotossintéticas são resultado da

imaturidade foliar dessas plantas, pois, folhas novas, em expansão, não possuem o aparato fotossintético desenvolvido plenamente (DANTAS *et al.*, 2007).

De modo semelhante ao que ocorreu para a taxa fotossintética, as mudas dos substratos casca de coco verde e bagana de carnaúba foram as mais eficientes na utilização da água, o que indica que maior valor de CO<sub>2</sub> foi assimilado por essas plantas com menor perda de água (SILVA *et al.*, 2013). As mudas dos substratos comercial e lodo de esgoto exibiram baixa eficiência de uso da água, fato que corrobora os resultados de Silva *et al.* (2010), em que folhas jovens de figueira tiveram as menores taxas de assimilação CO<sub>2</sub>, transpiração e condutância estomática, o que se refletiu na ineficiência momentânea do uso da água por essas folhas.

#### 4.1.3 Nutrientes minerais na parte aérea e nas raízes

Os teores médios de nutrientes minerais e de metais pesados na parte aérea e no sistema radicular das mudas de mamoeiro podem ser visualizados nos Apêndices A, B, C e D. Quanto ao acúmulo dos macronutrientes fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e do elemento sódio na parte aérea, no sistema radicular e na planta inteira de mamoeiro, verificou-se que todos os elementos minerais avaliados foram influenciados significativamente a 1% de probabilidade pelo teste F, em função dos tratamentos aplicados (Tabelas 9, 10 e 11).

Tabela 9 - Resumo da análise de variância para o acúmulo de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e sódio na parte aérea de mudas de mamoeiro, Fortaleza- CE, 2019

| Fontes de Variação | Quadrado Médio |         |            |          |          |         |        |
|--------------------|----------------|---------|------------|----------|----------|---------|--------|
|                    | GL             | P       | K          | Ca       | Mg       | S       | Na     |
| Tratamentos        | 3              | 69,01** | 3.782,40** | 707,16** | 199,59** | 27,20** | 5,34** |
| Resíduo            | 16             | 1,13    | 85,91      | 31,37    | 9,00     | 2,74    | 0,62   |
| Total              | 19             | -       | -          | -        | -        | -       | -      |
| Média Geral        | -              | 4,51    | 31,71      | 22,62    | 11,39    | 6,44    | 2,94   |
| CV (%)             | -              | 23,60   | 29,23      | 24,76    | 26,34    | 25,68   | 26,64  |

\*\* = Significativo a 1 % pelo teste F.

Fonte: Autora, 2020.

Tabela 10 - Resumo da análise de variância para o acúmulo de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e sódio nas raízes de mudas de mamoeiro, Fortaleza- CE, 2019

| Fontes de Variação | Quadrado Médio |         |          |          |          |         |         |
|--------------------|----------------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|
|                    | GL             | P       | K        | Ca       | Mg       | S       | Na      |
| Tratamentos        | 3              | 24,07** | 846,30** | 118,69** | 225,35** | 38,27** | 10,66** |
| Resíduo            | 16             | 0,34    | 11,23    | 3,68     | 3,69     | 0,78    | 0,33    |
| Total              | 19             | -       | -        | -        | -        | -       | -       |
| Média Geral        | -              | 2,26    | 13,21    | 4,80     | 6,68     | 2,91    | 15,20   |
| CV (%)             | -              | 25,77   | 25,38    | 39,99    | 28,74    | 0,25    | 37,57   |

\*\* = Significativo a 1 % pelo teste F.

Fonte: Autora, 2020.

Tabela 11 - Resumo da análise de variância para o acúmulo de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e sódio na planta inteira de mudas de mamoeiro, Fortaleza- CE, 2019

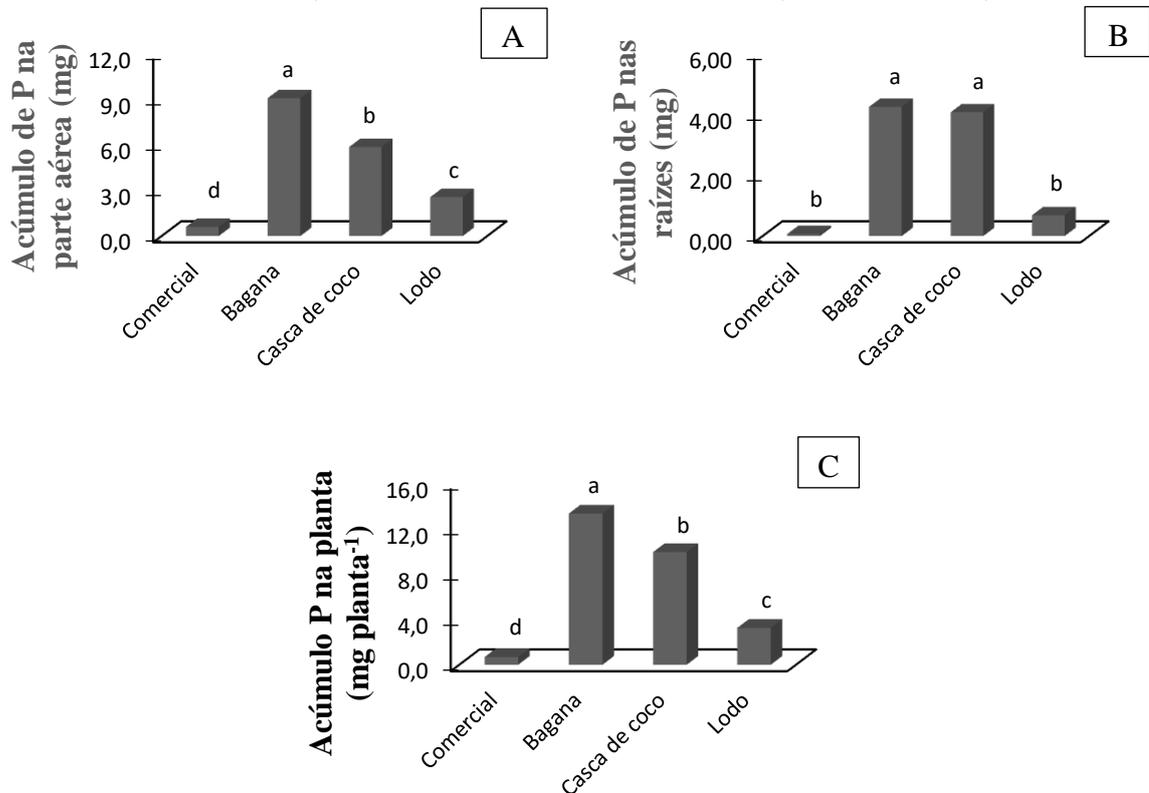
| Fontes de Variação | Quadrado Médio |         |           |           |         |         |        |
|--------------------|----------------|---------|-----------|-----------|---------|---------|--------|
|                    | GL             | P       | K         | Ca        | Mg      | S       | Na     |
| Tratamentos        | 3              | 169,7** | 8.094,2** | 1.281,6** | 838,6** | 125,8** | 29,0** |
| Resíduo            | 16             | 1,92    | 114,87    | 45,61     | 20,73   | 4,88    | 1,25   |
| Total              | 19             | -       | -         | -         | -       | -       | -      |
| Média Geral        | -              | 6,77    | 44,91     | 27,42     | 18,07   | 9,36    | 4,46   |
| CV (%)             | -              | 20,44   | 23,86     | 24,63     | 25,2    | 2,62    | 24,99  |

\*\* = Significativo a 1 % pelo teste F.

Fonte: Autora, 2020.

O substrato bagana de carnaúba proporcionou resultado superior para o acúmulo de fósforo na parte aérea, nas raízes e na planta inteira de mamoeiro, sendo que as mudas cultivadas com casca de coco, também exibiram média superior para o acúmulo de P nas raízes (Figura 25). Avaliando-se a distribuição do P nas mudas cultivadas com bagana de carnaúba verificou-se que 68% do P se acumulou na parte aérea, enquanto 32% ficou acumulado nas raízes.

Figura 25 – Acúmulo de fósforo na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

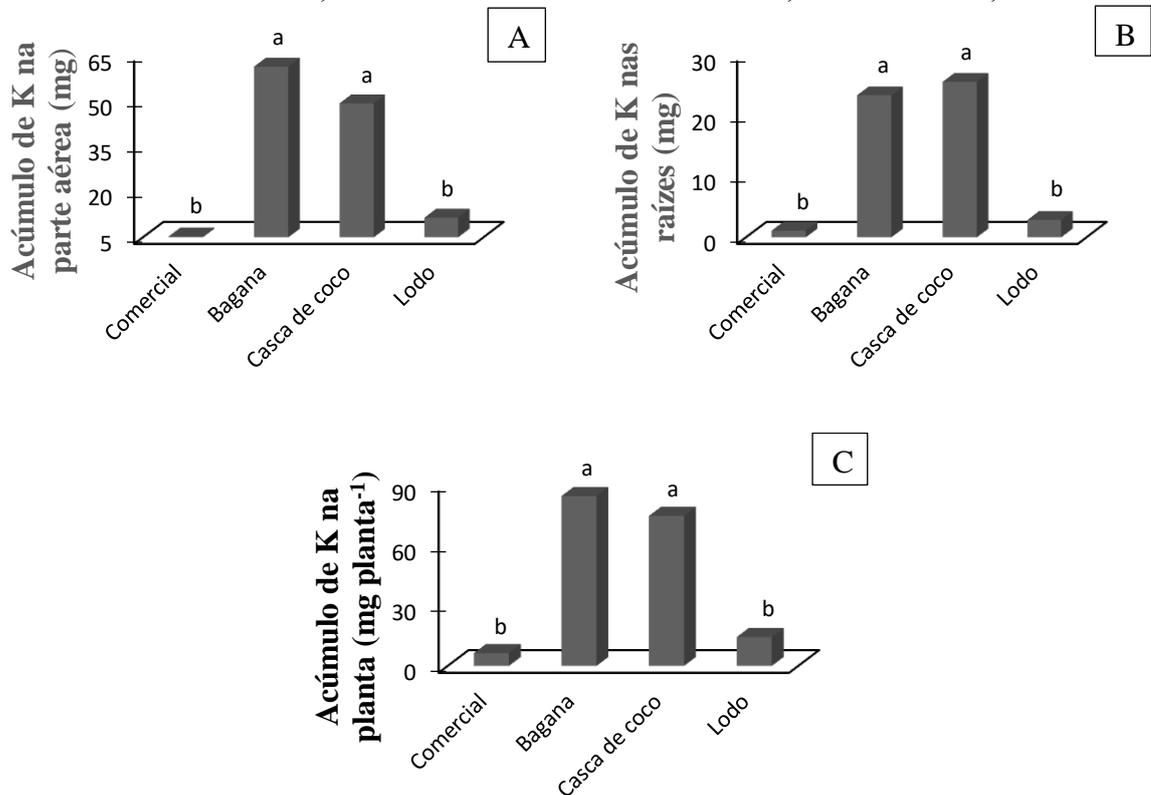
Dentre os substratos testados, a bagana de carnaúba apresentou a maior concentração de fósforo em sua composição (Tabela 3), o que explica o fato de as plantas que foram cultivadas nesse substrato terem apresentado o maior acúmulo do nutriente, indicando que a disponibilidade desse elemento no substrato bagana esteve bem ajustada às necessidades das mudas durante seu crescimento. Outro fator que contribuiu para a adequada disponibilidade desse elemento foi o pH do tratamento bagana, visto que em valores de pH próximo a 6,5 há maior disponibilidade de P (MALAVOLTA, 2006).

O fósforo foi o macronutriente acumulado em menor quantidade pelas mudas. Embora esse nutriente seja absorvido em baixa quantidade no primeiro ano de cultivo do mamoeiro, seu acúmulo ocorre de forma crescente e uniforme na planta (OLIVEIRA *et al.*, 2009). O P é fundamental para a síntese de moléculas como o ATP, DNA e RNA, além da síntese de fosfolipídios das membranas; é o macronutriente que mais limita o crescimento das plantas, depois do nitrogênio, em virtude de seu baixo suprimento pelo solo, representando apenas cerca de 0,2% da matéria seca dos vegetais (FERNANDES *et al.*, 2018).

As mudas de mamoeiro cultivadas com os substratos bagana de carnaúba e casca de coco verde apresentaram resultado superior para o acúmulo de potássio na parte aérea, nas

raízes e na planta inteira (Figura 26). Ao se analisar a distribuição do K total absorvido pelas mudas de mamoeiro cultivadas com o substrato bagana de carnaúba observou-se que 73% do K se acumulou na parte aérea, enquanto 27% ficou acumulado nas raízes das plantas.

Figura 26 – Acúmulo de potássio na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

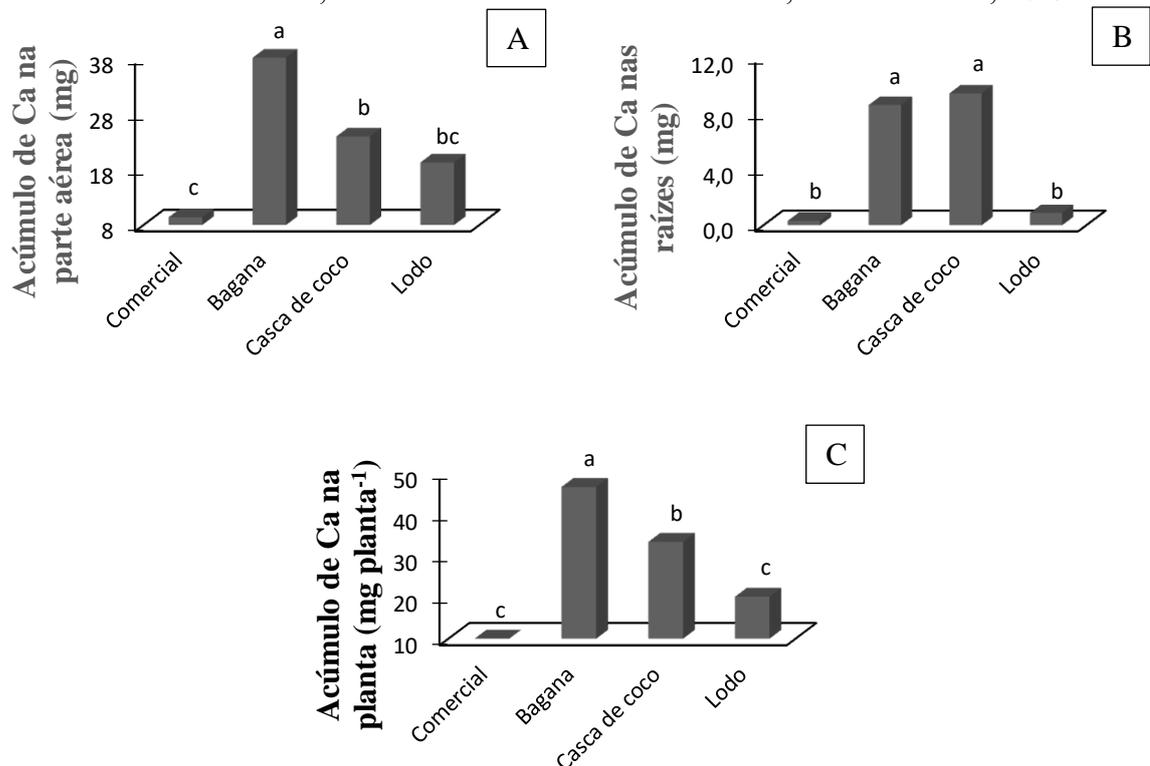
O maior acúmulo de potássio nas mudas cultivadas com bagana de carnaúba e casca de coco é decorrente da maior produção de biomassa seca nessas plantas. Quanto as mudas cultivadas com lodo de esgoto, embora esse substrato tenha exibido a maior concentração de K (Tabela 3), o baixo acúmulo nessas plantas é resultado do menor crescimento das mudas desse substrato, visto que a acumulação de nutrientes é proporcional a produção de matéria seca, como observado por Rocha *et al.* (2013), onde o substrato que promoveu menor acúmulo de nutrientes nas mudas de eucalipto foi aquele que propiciou o menor crescimento das plantas.

O potássio foi o macronutriente acumulado em maior quantidade na planta inteira de mamoeiro. Esse nutriente é um dos mais requeridos pela frutífera, sendo exigido de modo constante e crescente durante o ciclo da cultura e proporcionando melhorias na qualidade do fruto (OLIVEIRA *et al.*, 2009). O K é o cátion mais abundante nas plantas, desempenhando diferentes papéis, tendo importante função no estado energético, na translocação e no

armazenamento de assimilados e na promoção da manutenção da água nos tecidos da planta (FERNANDES *et al.*, 2018).

O substrato bagana de carnaúba propiciou resultado superior no acúmulo de cálcio na parte aérea, nas raízes e na planta inteira de mamoeiro, sendo que as mudas cultivadas com casca de coco verde, também, exibiram acúmulo superior de Ca nas raízes (Figura 27). Ao se verificar a distribuição de Ca nas plantas cultivadas com bagana de carnaúba observou-se que 81% ficou acumulado na parte aérea e 19% do Ca se acumulou nas raízes das mudas.

Figura 27 – Acúmulo de cálcio na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

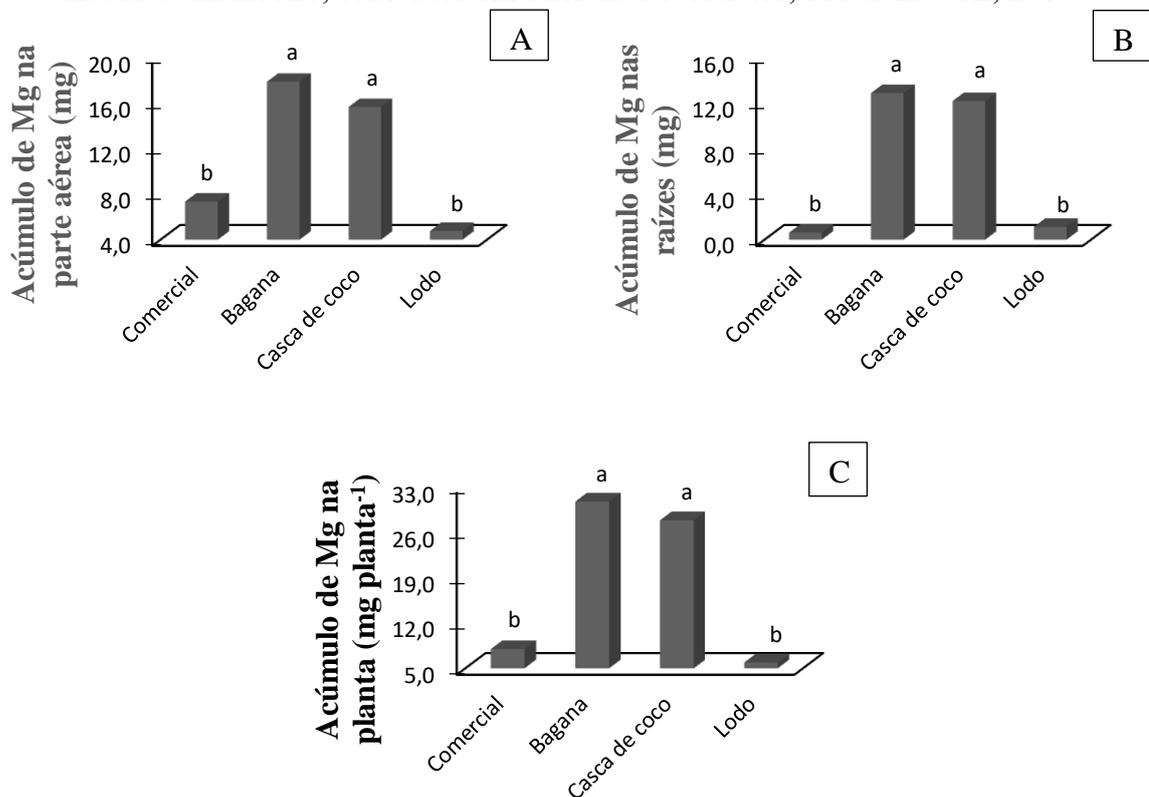
O acúmulo superior de cálcio nas mudas cultivadas com bagana de carnaúba é decorrente tanto da concentração do nutriente nesse substrato (Tabela 3), como, também, da maior produção de biomassa seca dessas plantas. Apesar de as mudas cultivadas com casca de coco terem tido elevado crescimento e de esse substrato ter exibido a maior concentração de Ca, o acúmulo total do elemento nessas mudas foi inferior. Isso pode ter ocorrido devido a maior mineralização do Ca da bagana de carnaúba, pois, os nutrientes presentes nos materiais orgânicos precisam ser degradados para serem absorvidos pelos vegetais, sendo que a quantidade de Ca mineralizada depende do material de origem (MALAVOLTA, 2006).

Ao se avaliar o acúmulo de nutrientes na parte aérea das mudas de mamoeiro observou-se que o cálcio foi o macronutriente que se acumulou em maior quantidade, fato que

pode ter ocorrido em virtude de sua baixa mobilidade, o qual, estando na folha, se torna pouco móvel (FERNANDES *et al.*, 2018). Esse elemento essencial é o terceiro mais requerido pelo mamoeiro, sendo seu acúmulo de forma crescente e uniforme na planta (OLIVEIRA *et al.*, 2009), desenvolvendo função estrutural, regulador enzimático e mensageiro secundário (MALAVOLTA, 2006).

As plantas de mamoeiro cultivadas com os substratos bagana de carnaúba e casca de coco verde exibiram resultado superior para o acúmulo de magnésio na parte aérea, nas raízes e na planta inteira (Figura 28). Analisando a distribuição do Mg nas plantas cultivadas com bagana de carnaúba verificou-se que 58% do Mg se acumulou na parte aérea, enquanto 42% ficou acumulado nas raízes das plantas.

Figura 28 – Acúmulo de magnésio na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



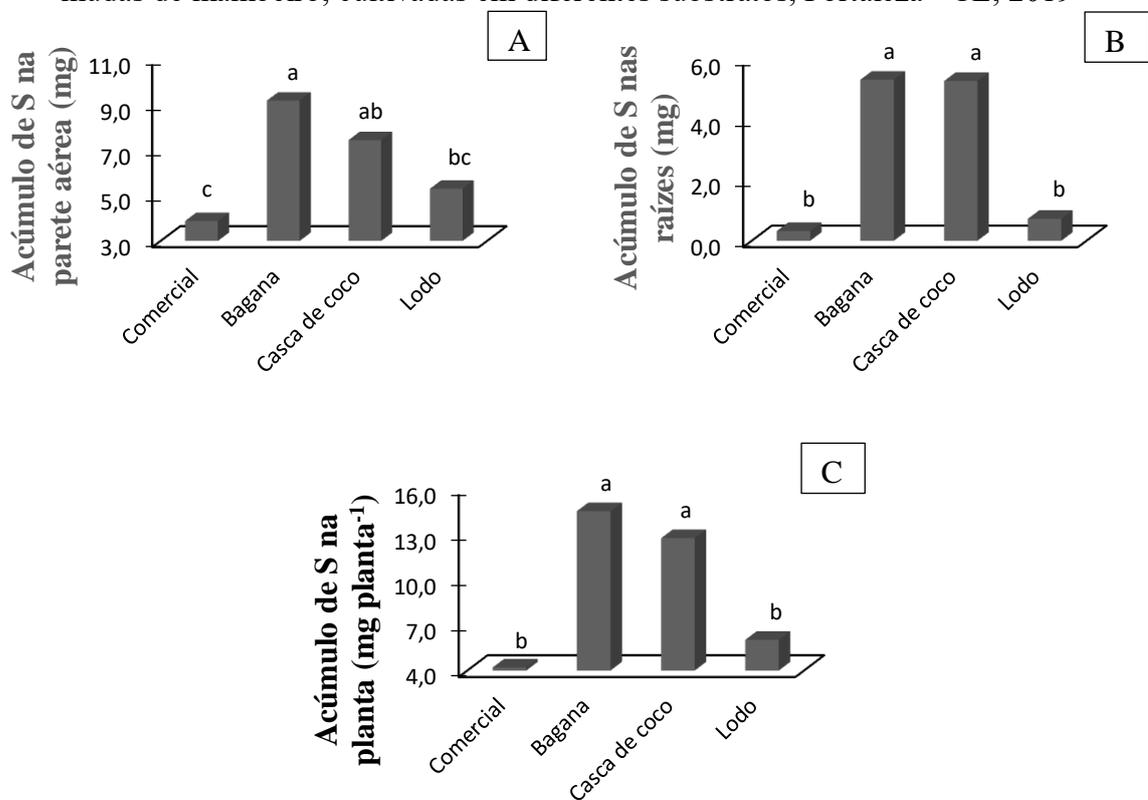
Fonte: Autora, 2020.

O acúmulo superior de magnésio nas mudas cultivadas com casca de coco e bagana de carnaúba é resultado da maior concentração de Mg na composição desses substratos (Tabela 3) e, da maior produção de matéria seca dessas plantas. Outro fator que pode ter contribuído para o maior acúmulo nas mudas cultivadas com bagana de carnaúba é a capacidade de troca catiônica desse substrato, a qual foi mais alta do que a CTC do tratamento casca de coco (Tabela 4). Entre 70 e 95% das bases do complexo de troca são formadas pelo

Ca e Mg (MALAVOLTA, 2006). O Mg é o átomo central da molécula de clorofila, com 6 a 25% do total do elemento ligado à clorofila; é ativador enzimático e atua carregando P (FERNANDES *et al.*, 2018).

As mudas cultivadas com os substratos bagana de carnaúba e casca de coco verde apresentaram resultado superior para o acúmulo de enxofre na parte aérea, nas raízes e na planta inteira (Figura 29). Ao se avaliar a distribuição do S nas plantas cultivadas com bagana de carnaúba observou-se que 63% do S absorvido ficou acumulado na parte aérea, ao passo que 37% se acumulou nas raízes das mudas.

Figura 29 – Acúmulo de enxofre na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



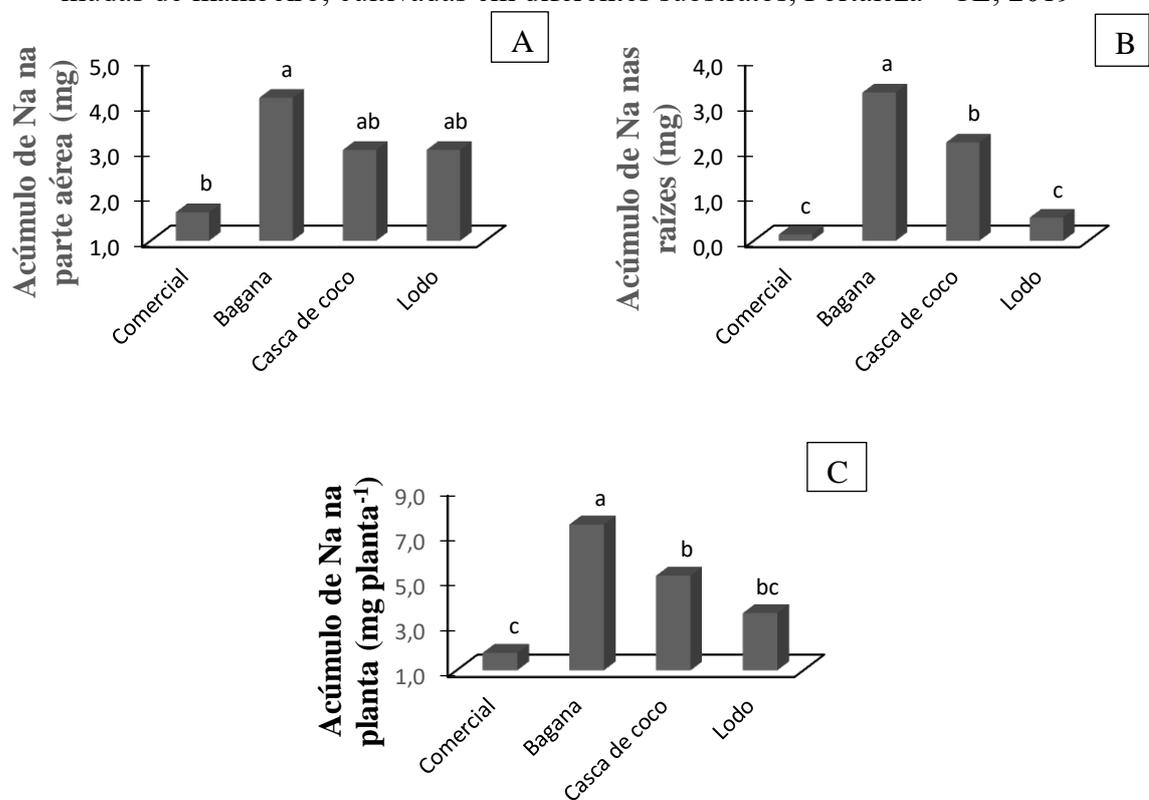
Fonte: Autora, 2020.

Os maiores acúmulos de enxofre nas plantas cultivadas com bagana de carnaúba e casca de coco estão em consonância com as maiores concentrações do nutriente na constituição desses tratamentos (Tabela 3). Aliado a boa composição nutricional desses substratos, tem-se o fato de que existe um paralelismo entre a produção de matéria seca e o acúmulo de nutrientes pelos vegetais (MALAVOLTA, 2006); por isso as mudas com maior produção de biomassa seca exibiram maior acúmulo de S, visto que o acúmulo é o produto da matéria seca pelo teor do nutriente na planta. O S participa da composição da papaína e

desempenha funções nos vegetais que promovem aumentos na produção e na qualidade dos frutos (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

O substrato bagana de carnaúba promoveu as maiores médias para o acúmulo do sódio na parte aérea, nas raízes e na planta inteira de mamoeiro, sendo que a parte aérea das mudas cultivadas com bagana de carnaúba, casca de coco verde e lodo de esgoto apresentou acúmulo estatisticamente semelhante (Figura 30). Ao se analisar a distribuição do sódio nas plantas cultivadas com bagana de carnaúba verificou-se que 56% do Na ficou acumulado na parte aérea, enquanto 44% se acumulou nas raízes das mudas.

Figura 30 – Acúmulo de sódio na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

As mudas cultivadas no substrato comercial exibiram o menor acúmulo de sódio; todavia, esse tratamento foi o que apresentou a maior concentração do elemento em sua constituição (Tabela 3). O menor acúmulo nas mudas produzidas nesse substrato é resultado do baixo crescimento das plantas, o que faz com que a absorção de elementos minerais seja reduzida. Em contrapartida, o maior acúmulo do Na nas plantas cultivadas com bagana de carnaúba ocorreu tanto devido à maior produção de biomassa seca das mudas, como em virtude da elevada CTC desse substrato (Tabela 4), visto que o Na está presente em minerais primários e no complexo de troca (MALAVOLTA, 2006).

A redistribuição do sódio da parte aérea para outros órgãos da planta é limitada, o que resulta no acúmulo do elemento nas folhas mais velhas (FERNANDES *et al.*, 2018); tal situação foi comprovada neste estudo, visto que houve maior acúmulo na parte aérea das plantas em todos os tratamentos. Apesar do sódio não ser considerado nutriente, esse elemento tem algumas funções nas plantas similares à do K. Em vegetais com metabolismo C3, o Na estimula o crescimento mediante a promoção da expansão celular e pode substituir parcialmente os íons potássio como um soluto osmoticamente ativo (TAIZ *et al.*, 2017).

O acúmulo dos macronutrientes e do Na nas mudas de mamoeiro se correlacionou diretamente com o crescimento e a produção de matéria seca das mudas, uma vez que as plantas cultivadas com os substratos bagana de carnaúba e casca de coco verde produziram as maiores quantidades de biomassa seca e acumularam os maiores valores de macronutrientes e do Na. Além da produção de matéria seca, outro fator que favoreceu o maior acúmulo nessas plantas foi o crescimento superior de suas raízes, o que potencializa a absorção de nutrientes.

Avaliando a distribuição percentual dos macronutrientes, em relação ao total acumulado na planta, observou-se que houve maior acúmulo na parte aérea do que no sistema radicular, de modo semelhante ao relatado por Tecchio *et al.* (2006) em estudo do crescimento e acúmulo de nutrientes no porta-enxerto citrumelo. Essa situação se justifica pelo papel dos macronutrientes que, entre outras funções, participam de estruturas das plantas, da regulação da abertura e fechamento estomático e da síntese da clorofila e do ATP.

O acúmulo total de macronutrientes pelas mudas ocorreu na seguinte ordem:  $K > Ca > Mg > S > P$ . Esse resultado corrobora o observado por Oliveira *et al.* (2009) para a absorção de macronutrientes pela parte aérea de plantas adultas de mamoeiro no primeiro ano de cultivo, a qual ocorreu na seguinte ordem decrescente: K, N, Ca, Mg, S e P. No presente estudo, não foi possível analisar o N em virtude da reduzida produção de biomassa das plantas do substrato comercial. Tais resultados sugerem que o acúmulo de macronutrientes pelas plantas de mamoeiro na fase de muda segue a mesma ordem de absorção das plantas na fase adulta, sendo modificada apenas a quantidade absorvida, a qual aumenta com o crescimento da planta.

Ao realizar a análise de variância para o acúmulo dos micronutrientes ferro, zinco, manganês, cobre e níquel na parte aérea, no sistema radicular e na planta inteira de mamoeiro observou-se que na parte aérea e na planta inteira apenas o ferro não apresentou resposta significativa pelo teste F, enquanto no sistema radicular todos os elementos avaliados foram influenciados significativamente, em função dos tratamentos aplicados (Tabelas 12, 13 e 14).

Tabela 12 - Resumo da análise de variância para o acúmulo de ferro, zinco, manganês, cobre e níquel na parte aérea de mudas de mamoeiro, Fortaleza- CE, 2019

| Fontes de Variação | Quadrado Médio |                         |            |           |          |            |
|--------------------|----------------|-------------------------|------------|-----------|----------|------------|
|                    | GL             | Fe                      | Zn         | Mn        | Cu       | Ni         |
| Tratamentos        | 3              | 12.048,31 <sup>ns</sup> | 7.943,48** | 2059,88** | 260,67** | 2.204,66** |
| Resíduo            | 16             | 12.600,12               | 303,17     | 144,96    | 13,78    | 44,75      |
| Total              | 19             | -                       | -          | -         | -        | -          |
| Média Geral        | -              | 219,36                  | 62,75      | 52,96     | 12,21    | 15,09      |
| CV (%)             | -              | 51,17                   | 27,75      | 22,74     | 30,39    | 44,33      |

\*\* = Significativo a 1 % pelo teste F e, <sup>ns</sup> = não significativo.

Fonte: Autora, 2020.

Tabela 13 - Resumo da análise de variância para o acúmulo de ferro, zinco, manganês, cobre e níquel nas raízes de mudas de mamoeiro, Fortaleza- CE, 2019

| Fontes de Variação | Quadrado Médio |           |             |           |         |            |
|--------------------|----------------|-----------|-------------|-----------|---------|------------|
|                    | GL             | Fe        | Zn          | Mn        | Cu      | Ni         |
| Tratamentos        | 3              | 56.258,8* | 11.609,02** | 4.931,8** | 521,9** | 3.249,62** |
| Resíduo            | 16             | 11.759,1  | 1.247,9     | 180,0     | 93,7    | 313,8      |
| Total              | 19             | -         | -           | -         | -       | -          |
| Média Geral        | -              | 228,60    | 77,32       | 35,66     | 15,63   | 16,91      |
| CV (%)             | -              | 47,44     | 45,69       | 37,62     | 61,95   | 104,79     |

\*, \*\* = Significativo a 5% e a 1 % pelo teste F, respectivamente.

Fonte: Autora, 2020.

Tabela 14 - Resumo da análise de variância para o acúmulo de ferro, zinco, manganês, cobre e níquel na planta inteira de mudas de mamoeiro, Fortaleza- CE, 2019

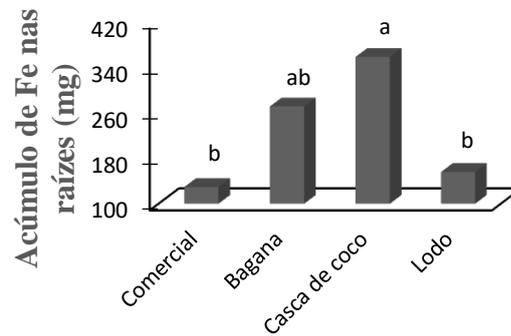
| Fontes de Variação | Quadrado Médio |                        |           |            |            |           |
|--------------------|----------------|------------------------|-----------|------------|------------|-----------|
|                    | GL             | Fe                     | Zn        | Mn         | Cu         | Ni        |
| Tratamentos        | 3              | 64.654,5 <sup>ns</sup> | 37647,5** | 12.042,8** | 1.306,14** | 10783,4** |
| Resíduo            | 16             | 26.167,3               | 1.338,8   | 486,6      | 99,6       | 162,4     |
| Total              | 19             | -                      | -         | -          | -          | -         |
| Média Geral        | -              | 447,97                 | 140,07    | 88,61      | 27,84      | 32,00     |
| CV (%)             | -              | 6,11                   | 26,12     | 24,89      | 35,85      | 39,83     |

\*\* = Significativo a 1 % pelo teste F e, <sup>ns</sup> = não significativo.

Fonte: Autora, 2020.

O substrato casca de coco verde promoveu resultado superior para o acúmulo de ferro nas raízes, contudo, sem diferença estatística do tratamento bagana de carnaúba. As raízes das mudas cultivadas no substrato comercial e no lodo de esgoto exibiram acúmulo inferior, todavia, sem diferir das plantas cultivadas com bagana de carnaúba (Figura 31).

Figura 31 – Acúmulo de ferro nas raízes de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



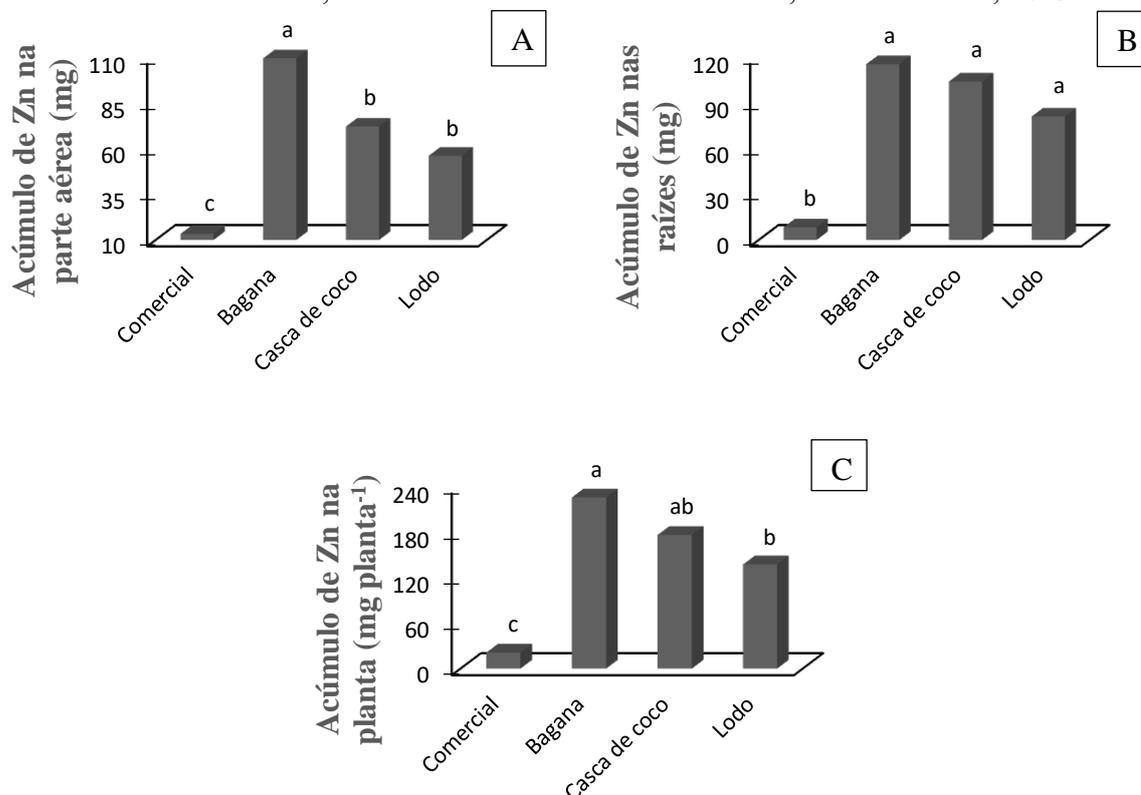
Fonte: Autora, 2020.

Embora o acúmulo de ferro na parte aérea das mudas não tenha diferido em função dos substratos testados, observou-se que esse micronutriente foi o que acumulou em maior quantidade na parte aérea. Esse resultado corrobora o trabalho de Mesquita *et al.* (2010), em que o Fe foi o micronutriente mais acumulado nas folhas de mamoeiro, transferido para os frutos e o mais exportado com a colheita. O ferro é o micronutriente absorvido em maior quantidade pela parte aérea de plantas de mamoeiro (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Os substratos casca de coco verde e bagana de carnaúba exibiram as menores concentrações de ferro (Tabela 3); todavia, esses tratamentos promoveram os maiores acúmulos do nutriente, o que ocorreu devido a maior produção de biomassa seca das plantas cultivadas nesses substratos, pois, o período de maior acúmulo de nutrientes corresponde à época de maior produção de matéria seca vegetal (MALAVOLTA, 2006). O ferro é um nutriente de baixa mobilidade na planta e que possui importante função em reações redox (TAIZ *et al.*, 2017).

O substrato bagana de carnaúba proporcionou resultado superior para o acúmulo de zinco em todas as partes da planta, a casca de coco verde promoveu acúmulo superior nas raízes e na planta inteira, enquanto o lodo de esgoto propiciou resultado superior nas raízes das mudas (Figura 32). Analisando-se a distribuição do Zn nas plantas cultivadas com bagana de carnaúba verificou-se que 49% se acumulou na parte aérea, ao passo que 51% ficou acumulado nas raízes das mudas de mamoeiro.

Figura 32 – Acúmulo de zinco na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

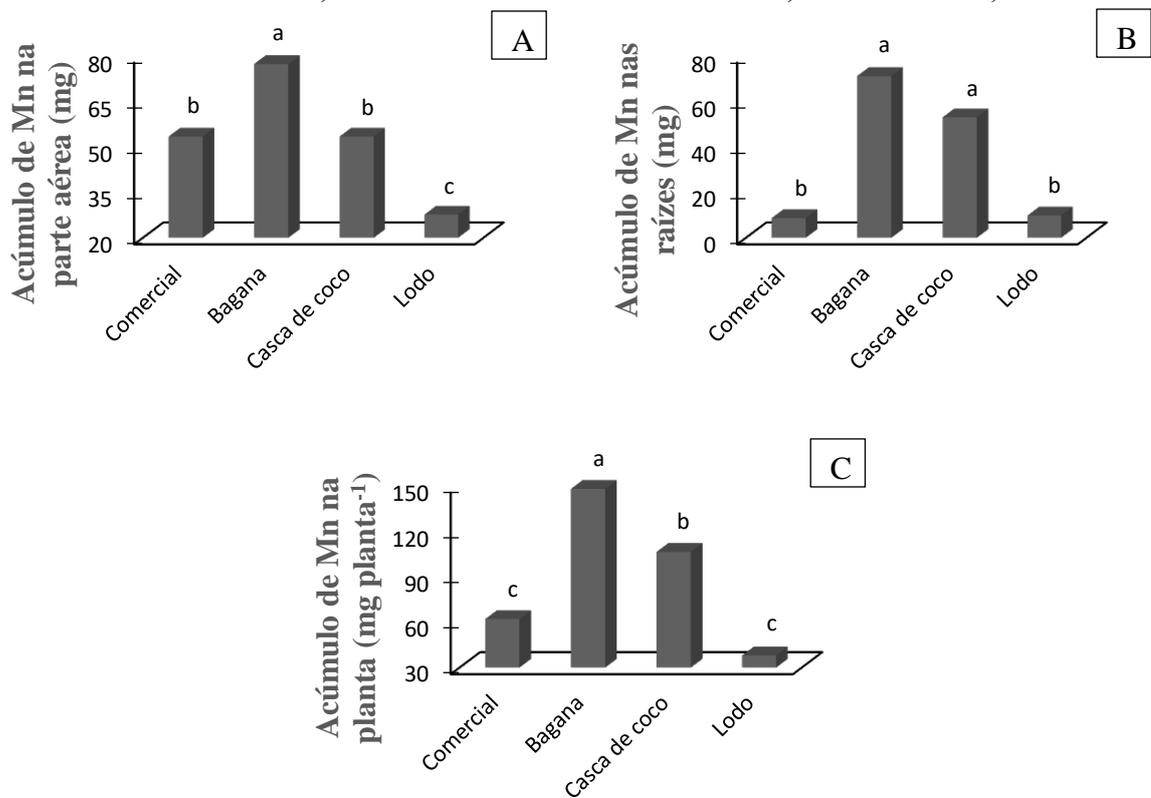
Na análise química dos substratos, o zinco foi quantificado apenas no lodo de esgoto (Tabela 3); contudo, na avaliação dos tecidos das plantas identificou-se a presença do elemento em todas as mudas. Isso pode ter ocorrido pelo fato de nos substratos ter sido quantificado apenas os nutrientes solúveis em água, o que sugere que as plantas são capazes de absorver uma fração maior de elementos do que apenas aqueles solúveis em água. Outro fator que contribui para o acúmulo do Zn é a eficiência de absorção das plantas, pois, os vegetais têm a capacidade de absorver um elemento presente em baixa concentração devido a parâmetros cinéticos, a morfologia das raízes e a manutenção de microrganismos na rizosfera (MALAVOLTA, 2006).

Embora as plantas cultivadas com lodo de esgoto tenham produzido pouca matéria seca, o que diminui a absorção de elementos minerais, o acúmulo de Zn nessas plantas foi estatisticamente semelhante ao das mudas cultivadas com casca de coco, as quais tiveram maior crescimento. Isso indica que além da produção de biomassa seca, outro fator que condiciona a absorção das plantas é a concentração externa do elemento, a qual foi maior no lodo. Altas concentrações de micronutrientes no lodo de esgoto são comuns, conforme destacado por Gomes *et al.* (2007) em que o bio sólido exibiu em sua composição valores

altos de Fe, Zn e Mn; todavia, neste estudo, apenas o Zn foi quantificado em maior valor no lodo (Tabela 3).

O substrato bagana de carnaúba propiciou resultado superior para o acúmulo de manganês na parte aérea, nas raízes e na planta inteira de mamoeiro, sendo que nas raízes a casca de coco verde também promoveu resultado superior (Figura 33). Ao se avaliar a distribuição de Mn nas plantas cultivadas com bagana de carnaúba observou-se que 52% ficou acumulado na parte aérea, enquanto 48% do Mn se acumulou nas raízes das mudas.

Figura 33 – Acúmulo de manganês na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



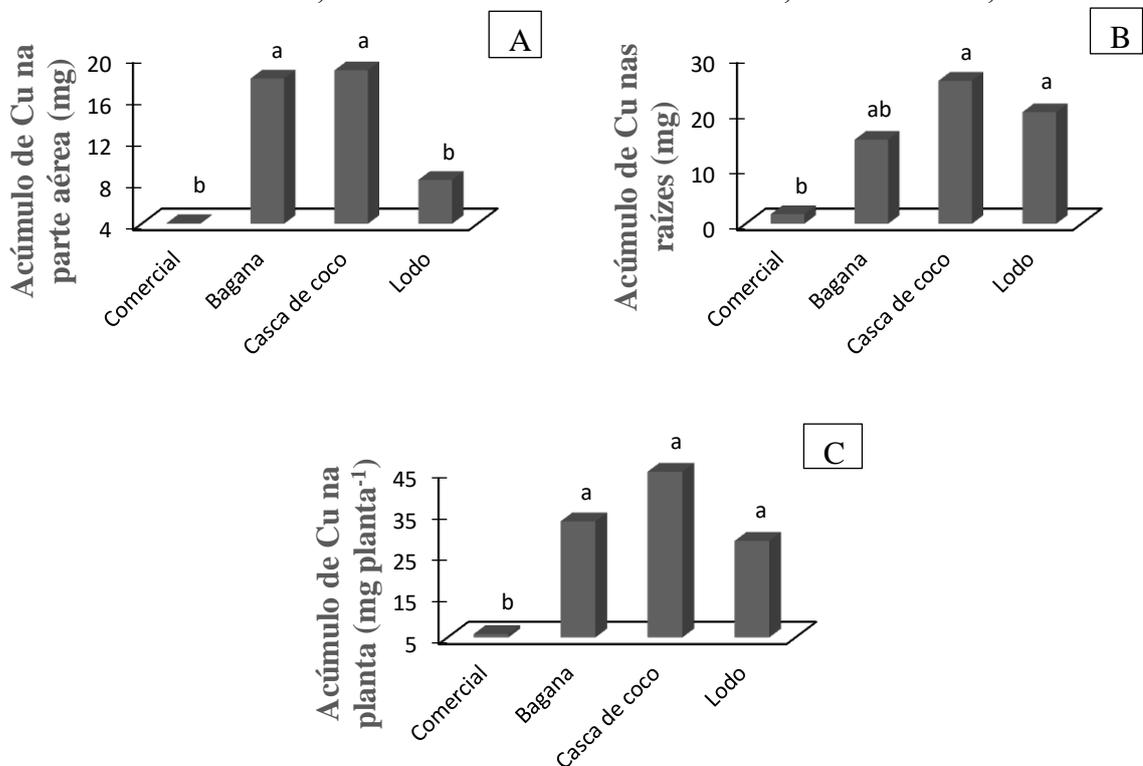
Fonte: Autora, 2020.

Os substratos comercial e bagana de carnaúba apresentaram a maior concentração de manganês (Tabela 3); todavia apenas as mudas cultivadas com bagana exibiram acúmulo superior do elemento, fato que decorre do elevado crescimento das plantas desse tratamento, o que aumenta a absorção de nutrientes. As mudas cultivadas com lodo de esgoto exibiram o menor acúmulo total, embora esse substrato não tenha apresentado a menor concentração de Mn em sua constituição. Tal fato pode ter ocorrido devido a maior concentração de zinco nesse substrato, visto que dentre os fatores que afetam a disponibilidade de Mn tem-se o equilíbrio com outros cátions, sendo a absorção desse nutriente reduzida devido a presença de cátions bivalentes como Ca e Zn (MALAVOLTA, 2006).

Ao se analisar a distribuição percentual dos micronutrientes Fe, Zn e Mn acumulados na parte aérea e nas raízes das mudas, em relação ao total acumulado na planta, verificou-se que, embora o acúmulo de Fe na parte aérea não tenha diferido em função dos tratamentos, esse nutriente se acumulou em maior quantidade na parte aérea, fato que também ocorreu com o Mn; de modo diferente, o Zn teve maior acúmulo nas raízes. Em estudo do crescimento e acúmulo de nutrientes em mudas cítricas, Rezende *et al.* (2010) observaram que o Fe, o Mn e o Zn se acumularam em maior percentual nas raízes, concluindo que as raízes se tornam o órgão de armazenamento do excesso de nutrientes absorvidos pelas plantas, o que indica que no presente experimento ocorreu excesso de Zn nas plantas.

As plantas cultivadas com bagana de carnaúba e casca de coco verde apresentaram as maiores médias para o acúmulo de cobre na parte aérea, nas raízes e na planta inteira de mamoeiro, sendo que no sistema radicular e na planta inteira o substrato lodo de esgoto também promoveu resultado superior (Figura 34). Avaliando-se a distribuição de Cu nas plantas cultivadas com casca de coco foi verificado que 42% se acumulou na parte aérea, ao passo que 58% do elemento ficou acumulado nas raízes.

Figura 34 – Acúmulo de cobre na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

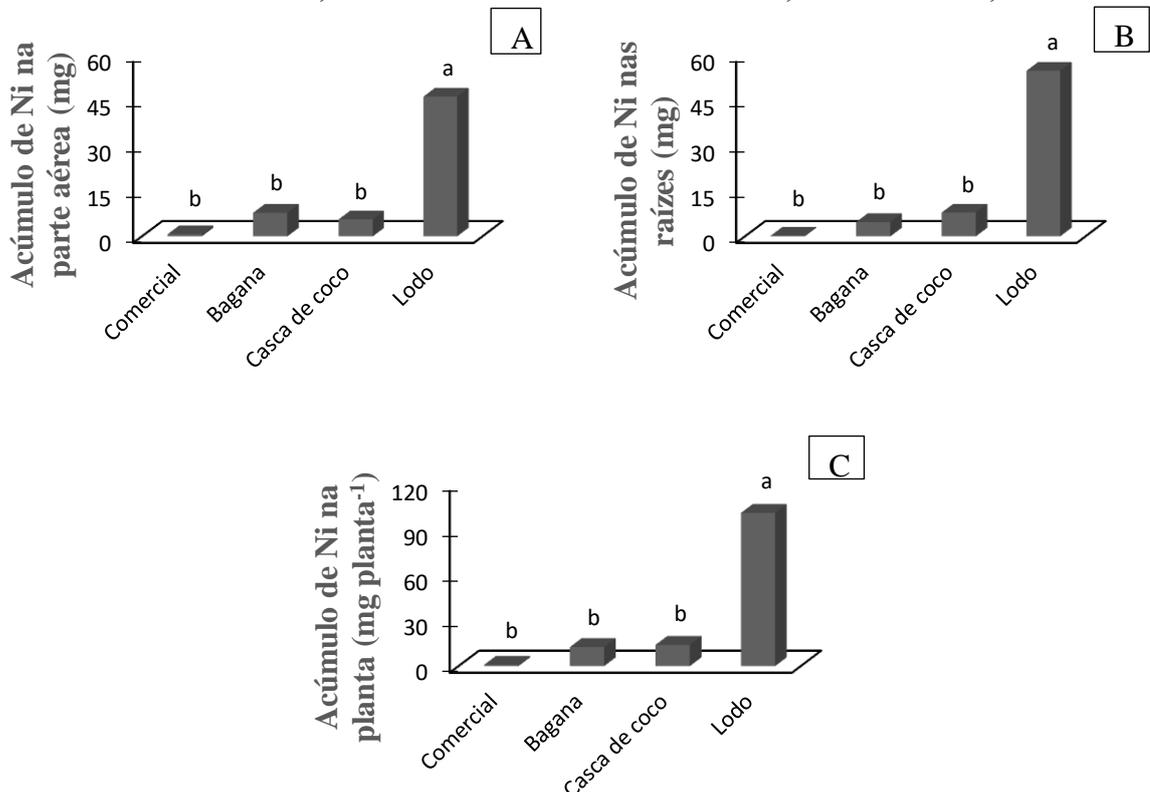
O acúmulo total de cobre foi inferior apenas nas mudas cultivadas com o substrato comercial, evidenciando que a maior concentração desse nutriente nos tratamentos bagana de

carnaúba, casca de coco e lodo de esgoto (Tabela 3) se refletiu em sua disponibilidade para as plantas, tendo em vista que a absorção de Cu é regulada pela sua disponibilidade externa (FERNANDES *et al.*, 2018). Esse resultado corrobora o trabalho de Rocha *et al.* (2013), em que os maiores conteúdos de nutrientes na parte aérea das plantas de eucalipto foram reflexos da disponibilidade dos elementos essenciais.

Apesar de as mudas cultivadas com o lodo de esgoto terem produzido reduzida biomassa seca, as plantas desse tratamento apresentaram acúmulo total de Cu superior, fato que ocorreu devido à alta concentração do elemento no lodo, o qual exibiu o valor mais alto de Cu dentre os substratos testados (Tabela 3). As plantas desse tratamento exibiram, ainda, acúmulo superior de Cu nas raízes, indicando que pode ter havido excesso do elemento na muda. O Cu e o Zn são metais determinados em concentrações expressivas nos resíduos urbanos, sendo elementos essenciais requeridos em pequenas quantidades pela maioria dos seres vivos; contudo, podem causar toxidez quando em excesso (SOUZA *et al.*, 2012).

O substrato lodo de esgoto proporcionou resultado superior para o acúmulo de níquel na parte aérea, nas raízes e na planta inteira de mamoeiro (Figura 35). Ao se analisar a distribuição de Ni nas mudas cultivadas com lodo de esgoto verificou-se que 46% ficou acumulado na parte aérea, enquanto 54% se acumulou no sistema radicular das plantas.

Figura 35 – Acúmulo de níquel na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

O acúmulo superior de níquel nas mudas cultivadas no lodo de esgoto deve-se a maior concentração do elemento nesse substrato (Tabela 3). Dentre as fontes de Ni, o lodo de esgoto é a que possui maior concentração, em comparação às outras fontes, como por exemplo os adubos minerais, os quais foram utilizados como aditivos no substrato comercial (MALAVOLTA, 2006). Todavia, vale ressaltar que a composição do lodo de esgoto depende de sua origem, podendo apresentar concentrações elevadas de metais pesados, dependendo de sua procedência (RANGEL *et al.*, 2004). Neste estudo, o lodo exibiu a maior concentração dos nutrientes K, Zn, Cu e Ni.

O teor de níquel nas raízes e na parte aérea das mudas do substrato lodo de esgoto (Apêndices A e B) está acima do nível considerado tóxico para o tecido de plantas por Malavolta (2006), o que sugere que houve excesso desse metal nas plantas cultivadas com lodo. Os elevados valores de Ni no tecido vegetal inibem processos como a respiração e a fotossíntese, causando distúrbios no ciclo de Calvin, além de afetar a absorção de nutrientes quando presente em altas concentrações (TORRES *et al.*, 2016) e de influenciar o crescimento vegetal, conforme foi verificado neste estudo e no trabalho de Neves *et al.* (2007), em que nas maiores concentrações de Ni as mudas de umbuzeiro produziram reduzida matéria seca.

Outro fator que aponta para o excesso de níquel nas mudas cultivadas com lodo de esgoto é o seu maior acúmulo nas raízes das plantas. Roveda *et al.* (2014), estudando compostos orgânicos com elevada concentração de níquel, verificaram que as raízes de plantas de morangueiro apresentaram quantidade superior de Ni, em comparação aos demais órgãos das plantas. Os autores concluíram que os maiores valores de elementos nas raízes indicam a capacidade que o sistema radicular tem de reter metais.

Os nutrientes Zn, Cu e Ni exibiram, de modo geral, maior acúmulo nas raízes, fato que pode ter ocorrido como mecanismo de tolerância ao excesso desses metais nas mudas. Os metais pesados são elementos químicos com número atômico maior do que 20 e densidade maior que  $5 \text{ g cm}^{-3}$ . Dentro desse grupo estão elementos como Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn que, apesar de serem micronutrientes, podem se tornar tóxicos em altas concentrações. No entanto, algumas plantas desenvolveram mecanismos de homeostase para amenizar os efeitos desses elementos, quando em níveis tóxicos. Assim, as raízes funcionam como barreira, por meio da imobilização de metais na parede celular ou evitando íons livres nos tecidos radiculares, o que dificulta sua translocação para a parte aérea das plantas (FERNANDES *et al.*, 2018).

Ao se avaliar o acúmulo total de micronutrientes nas mudas de mamoeiro observou-se que, de modo geral, este foi semelhante a produção de massa de matéria seca, exceto para o Cu e Ni que tiveram acúmulo superior nas mudas do lodo de esgoto, sendo que

as plantas acumularam os micronutrientes na seguinte ordem: Fe > Zn > Mn > Ni > Cu. Esse resultado corrobora o trabalho de Mesquita *et al.* (2010) quanto aos teores foliares de plantas adultas de mamoeiro baixinho de Santa Amália tratado com biofertilizantes.

A análise de variância para o acúmulo de metais pesados revelou que na parte aérea apenas o selênio não foi influenciado significativamente pelos tratamentos aplicados, enquanto nas raízes e na planta inteira de mamoeiro verificou-se que todos os metais pesados avaliados apresentaram respostas significativas a 1% de probabilidade pelo teste F (Tabelas 15, 16 e 17). O arsênio não foi quantificado na parte aérea das plantas.

Tabela 15 - Resumo da análise de variância para o acúmulo de alumínio, cromo, chumbo e selênio na parte aérea de mudas de mamoeiro, Fortaleza- CE, 2019

| Fontes de Variação | Quadrado Médio |            |          |          |                    |
|--------------------|----------------|------------|----------|----------|--------------------|
|                    | GL             | Al         | Cr       | Pb       | Se                 |
| Tratamentos        | 3              | 51363,60** | 210,61** | 178,10** | 2,62 <sup>ns</sup> |
| Resíduo            | 16             | 2.915,52   | 10,22    | 5,01     | 1,1                |
| Total              | 19             | -          | -        | -        | -                  |
| Média Geral        | -              | 119,54     | 8,01     | 5,46     | 0,59               |
| CV (%)             | -              | 45,17      | 39,91    | 41,04    | 177,79             |

\*\* = Significativo a 1 % pelo teste F e, <sup>ns</sup> = não significativo.

Fonte: Autora, 2020.

Tabela 16 - Resumo da análise de variância para o acúmulo de alumínio, arsênio, cromo, chumbo e selênio nas raízes de mudas de mamoeiro, Fortaleza- CE, 2019

| Fontes de Variação | Quadrado Médio |               |        |         |        |        |
|--------------------|----------------|---------------|--------|---------|--------|--------|
|                    | GL             | Al            | As     | Cr      | Pb     | Se     |
| Tratamentos        | 3              | 1.096.631,7** | 0,01** | 100,3** | 30,6** | 0,85** |
| Resíduo            | 16             | 63.746,56     | 0,001  | 4,39    | 0,76   | 0,13   |
| Total              | 19             | -             | -      | -       | -      | -      |
| Média Geral        | -              | 574,69        | 0,05   | 4,79    | 2,48   | 0,22   |
| CV (%)             | -              | 43,93         | 53,46  | 43,77   | 35,17  | 164,82 |

\*\* = Significativo a 1 % pelo teste F.

Fonte: Autora, 2020.

Tabela 17 - Resumo da análise de variância para o acúmulo de alumínio, cromo, chumbo e selênio na planta inteira de mudas de mamoeiro, Fortaleza- CE, 2019

| Fontes de Variação | Quadrado Médio |                |          |          |        |
|--------------------|----------------|----------------|----------|----------|--------|
|                    | GL             | Al             | Cr       | Pb       | Se     |
| Tratamentos        | 3              | 1.440.623,92** | 557,18** | 350,20** | 5,89** |
| Resíduo            | 16             | 83.891,390     | 18,490   | 7,544    | 1,08   |
| Total              | 19             | -              | -        | -        | -      |
| Média Geral        | -              | 694,22         | 12,80    | 7,93     | 0,81   |
| CV (%)             | -              | 41,72          | 33,61    | 34,64    | 128,74 |

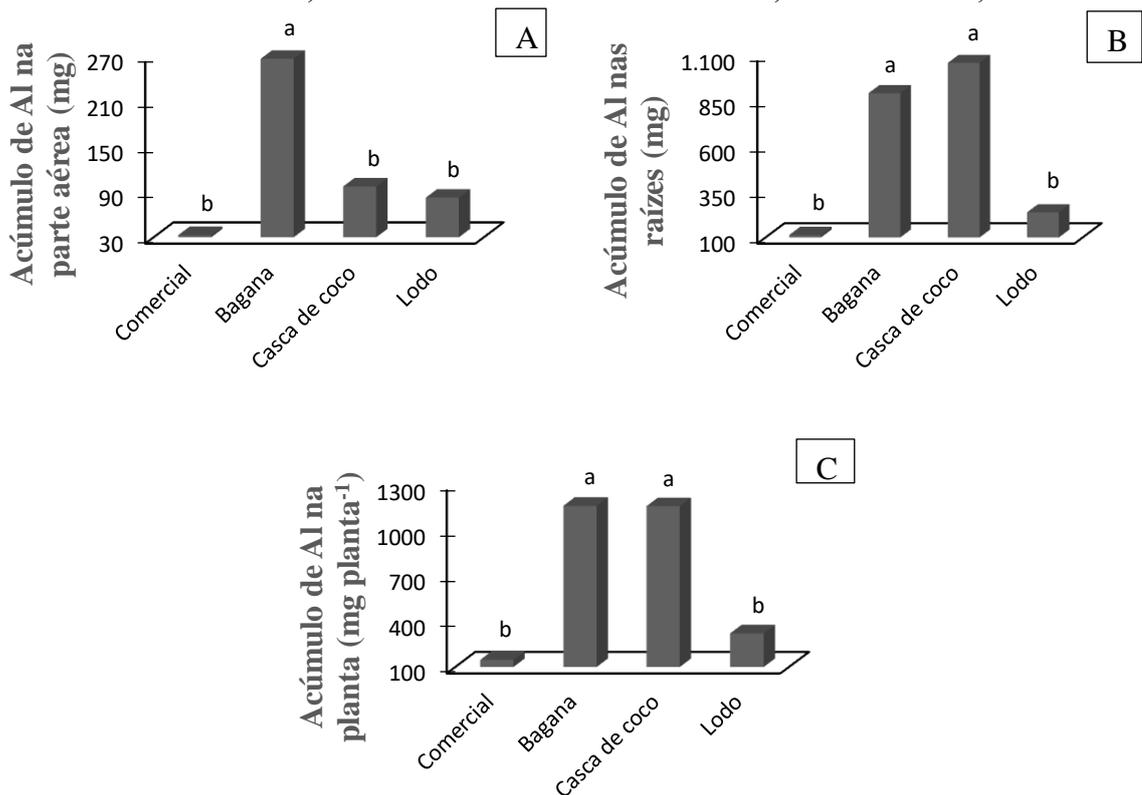
\*\* = Significativo a 1 % pelo teste F.

Fonte: Autora, 2020.

De modo semelhante à análise química dos substratos (Tabela 3), na análise de tecido das mudas não foram detectados cádmio e mercúrio, o que, porém, não indica ausência desses metais na composição dos substratos e no tecido das plantas, podendo os mesmos estar presentes em quantidades inferiores ao limite de quantificação do plasma de argônio. A não identificação desses metais pesados pelos métodos utilizados inviabilizou a quantificação do acúmulo desses elementos nos tecidos das plantas.

O substrato bagana de carnaúba promoveu resultado superior para o acúmulo de alumínio na parte aérea, nas raízes e na planta inteira de mamoeiro, sendo que no sistema radicular e na planta inteira o tratamento casca de coco, também propiciou média superior (Figura 36). Avaliando-se a distribuição de Al nas mudas produzidas com bagana foi observado que 23% se acumulou na parte aérea, ao passo que 77% ficou acumulado nas raízes das plantas.

Figura 36 – Acúmulo de alumínio na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

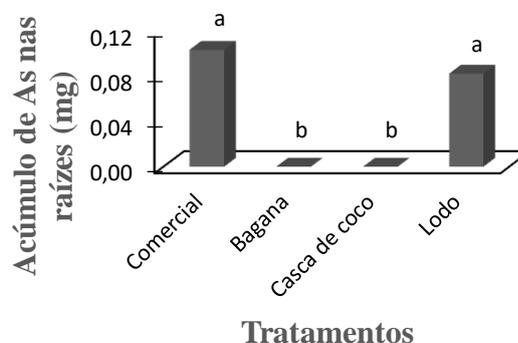
Ao se relacionar o acúmulo de alumínio nas plantas, com a concentração desse elemento nos substratos (Tabela 3), observou-se que os tratamentos com bagana de carnaúba e casca de coco, os quais promoveram acúmulo superior, apresentaram o maior e o menor valor de concentração de Al respectivamente. Isso sugere que além da concentração do elemento,

outro fator que afeta o acúmulo é a produção de matéria seca das plantas, pois, embora o substrato casca de coco tenha exibido a menor concentração de Al, a elevada produção de biomassa seca das mudas promoveu maior acúmulo devido a maior absorção pela planta.

Independentemente do substrato testado, o alumínio se acumulou em maior quantidade nas raízes das mudas de mamoeiro, o que caracteriza uma estratégia de defesa vegetal contra os efeitos fitotóxicos do Al, sendo que as plantas realizam a exclusão ou a compartimentalização do Al na parte subterrânea, de modo a limitar o seu transporte para a parte aérea e manter baixos os teores foliares do elemento (FERNANDES *et al.*, 2018). Embora tenha havido expressivo acúmulo de Al nas mudas, não foram verificados sintomas de toxidez, os quais se manifestam primeiramente nas raízes com redução do crescimento do eixo principal e inibição da formação das raízes laterais (MALAVOLTA, 2006).

As plantas cultivadas com o substrato comercial e com o lodo de esgoto exibiram os maiores valores para o acúmulo de arsênio nas raízes, uma vez que nas mudas cultivadas com bagana de carnaúba e casca de coco não foi identificado acúmulo desse elemento, o que, no entanto, não exclui a possibilidade da presença desse metal nas raízes das mudas, o qual pode estar presente em valores não detectáveis pelo plasma de argônio (Figura 37).

Figura 37 – Acúmulo de arsênio nas raízes de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



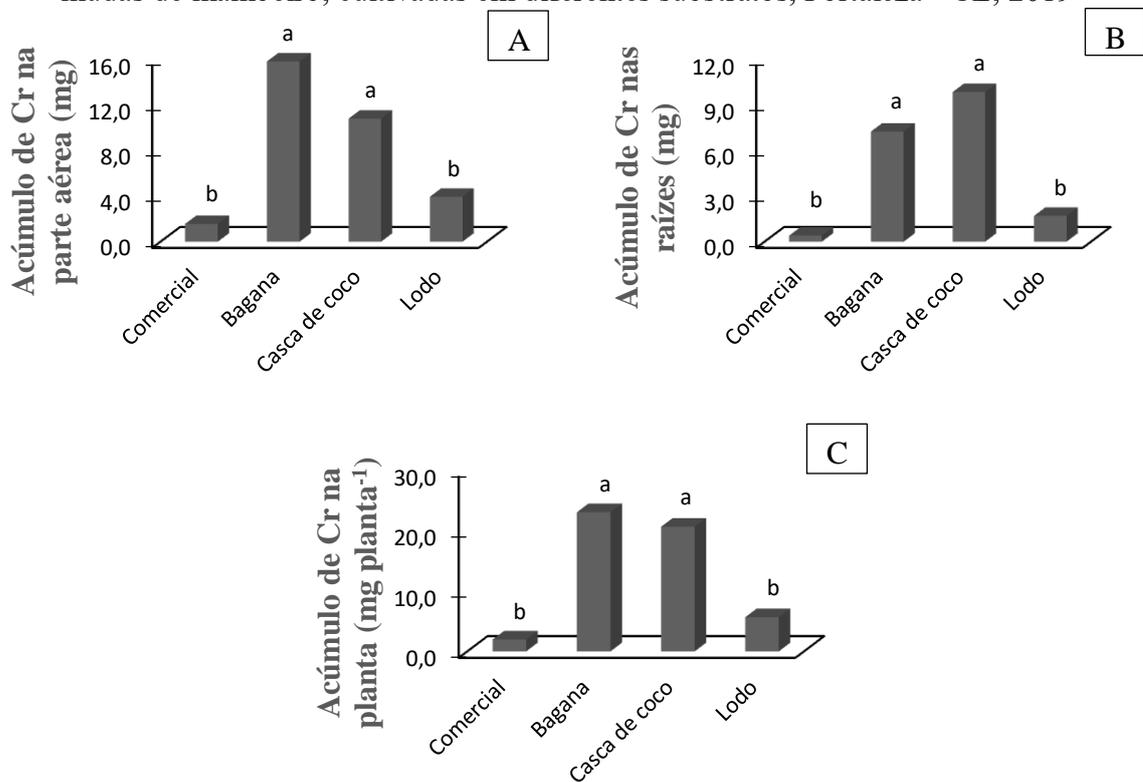
Fonte: Autora, 2020.

A análise química dos substratos não quantificou arsênio (Tabela 3), contudo, a acumulação desse metal nas raízes das mudas indica a presença do elemento nos substratos comercial e lodo de esgoto e, sugere, ainda, que esses tratamentos exibiram maior concentração do As, visto que, embora as mudas cultivadas nesses substratos tenham tido reduzido crescimento, houve acúmulo superior do metal. Isso corrobora os resultados obtidos por Guimarães *et al.* (2006), em que o acúmulo do As nas folhas e raízes de plantas de aguapé e salvínia aumentou proporcionalmente com a maior concentração do As.

A não detecção de arsênio na parte aérea das mudas de mamoeiro, independente do substrato utilizado, indica que as raízes das mudas atuaram como órgão de maior acúmulo, de forma a reduzir a translocação desse elemento na planta. O arsênio é um elemento muito tóxico para os seres vivos, sendo acumulado em maior quantidade no sistema radicular das plantas como mecanismo para evitar a toxidez (FELIPE *et al.*, 2009).

Os substratos bagana de carnaúba e casca de coco verde promoveram acúmulo superior de cromo na parte aérea, nas raízes e na planta inteira de mamoeiro (Figura 38). Analisando-se a distribuição de Cr nas mudas produzidas com bagana de carnaúba observou-se que 69% se acumulou na parte aérea, enquanto 31% ficou acumulado nas raízes das plantas.

Figura 38 – Acúmulo de cromo na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



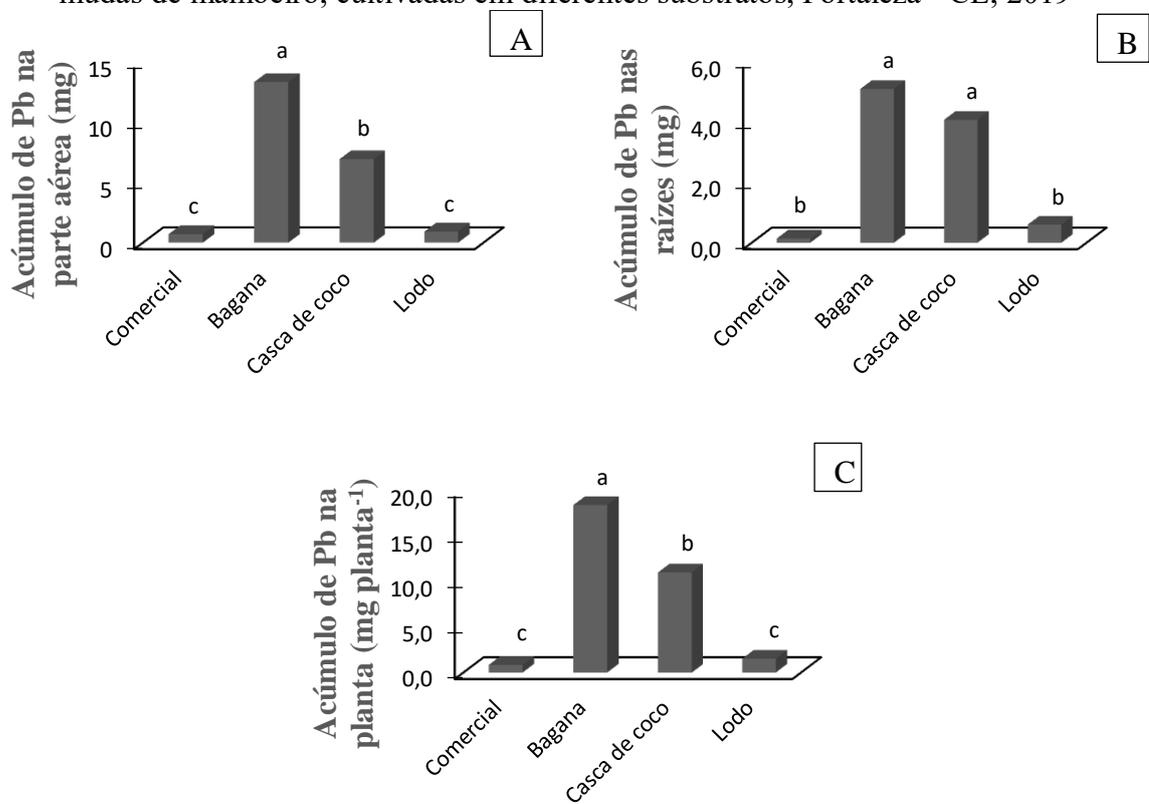
Fonte: Autora, 2020.

A concentração de cromo nos quatro substratos testados foi semelhante (Tabela 3), o que leva a inferir que o acúmulo do Cr nas mudas foi influenciado pela produção de matéria seca, uma vez que as plantas cultivadas com bagana de carnaúba e casca de coco, as quais produziram maior biomassa seca, apresentaram acúmulo superior desse metal. O Cr absorvido permanece em maior quantidade no sistema radicular das plantas, com reduzido transporte a longa distância para a parte aérea (MALAVOLTA, 2006). Todavia, de modo contrário ao indicado na literatura, neste estudo o acúmulo de Cr foi maior na parte aérea, evidenciando

que nem todos os metais pesados são armazenados de forma igual nas raízes das plantas ou que plantas diferentes podem armazenar de forma distinta, também.

As plantas cultivadas com bagana de carnaúba exibiram acúmulo superior de chumbo na parte aérea, nas raízes e na planta inteira de mamoeiro, sendo que no sistema radicular a bagana e a casca de coco propiciaram resultados estatisticamente iguais (Figura 39). Avaliando-se a distribuição do Pb nas plantas cultivadas com bagana de carnaúba foi verificado que 72% se acumulou na parte aérea, ao passo que 28% ficou acumulado nas raízes das mudas.

Figura 39 – Acúmulo de chumbo na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



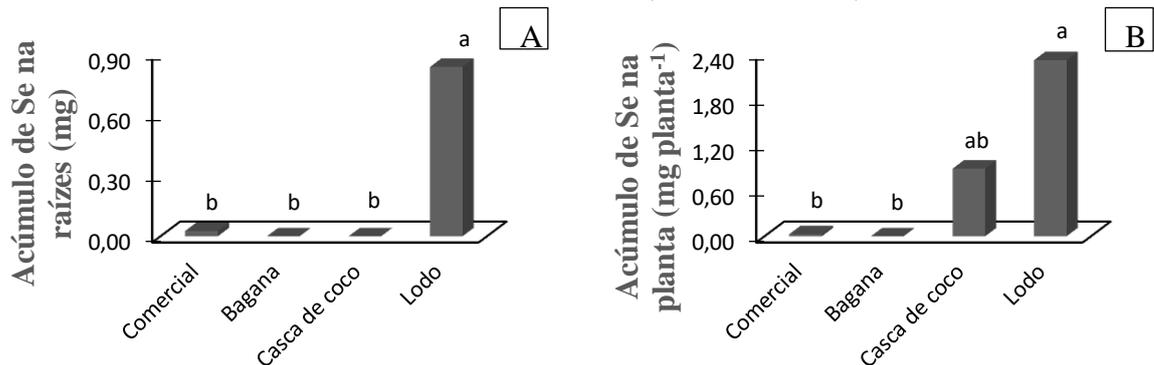
Fonte: Autora, 2020.

Embora a análise química dos substratos não tenha identificado concentrações de chumbo (Tabela 3), as mudas cultivadas nos quatro tratamentos foram capazes de absorver e acumular esse metal em seus tecidos. Esse fato pode ter ocorrido pela mineralização do elemento durante o experimento ou, pela capacidade das plantas em absorver uma quantidade maior do elemento do que apenas a fração solúvel em água, a qual foi avaliada na análise dos substratos. Quando o Pb é absorvido pelas plantas, normalmente, não se acumula nas partes comestíveis, sendo seu acúmulo nas raízes maior do que na parte aérea (MALAVOLTA,

2006), situação que não ocorreu neste trabalho, em que o acúmulo do Pb na parte aérea foi maior.

O substrato lodo de esgoto proporcionou resultado superior para o acúmulo de selênio nas raízes das mudas e na planta inteira de mamoeiro. Nas plantas cultivadas com bagana de carnaúba não foi identificado acúmulo do selênio em qualquer das partes avaliadas das plantas (Figura 40).

Figura 40 – Acúmulo de selênio nas raízes (A) e na planta inteira (B) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

O maior acúmulo de selênio nas mudas cultivadas com lodo de esgoto deve-se a sua maior concentração no substrato (Tabela 3), visto que dentre as fontes do Se para o solo, o lodo de esgoto é uma das mais expressivas (MALAVOLTA, 2006) e que, conforme foi relatado por Ramos *et al.* (2011), o teor foliar do Se em plantas de alface aumentou com a maior concentração desse metal na solução. Embora o Se não tenha sido quantificado no substrato comercial e na casca de coco, as mudas cultivadas nesses substratos exibiram acúmulo do metal, o que pode ter ocorrido pela sua mineralização durante o experimento, ou pelo fato de as plantas possuírem maior eficiência de extrair o Se, do que apenas a fração solúvel em água.

O selênio é considerado por Malavolta (2006) um elemento essencial para as plantas; contudo, não há consenso na literatura e sua essencialidade ainda é controversa, visto que autores como Epstein; Bloom (2006) consideram esse elemento como tóxico as plantas, enquanto outros pesquisadores o consideram como elemento benéfico. Nos vegetais, esse metal apresenta propriedades químicas semelhantes às do enxofre, mas, quando presente em excesso nas plantas, o Se causa toxidez e ativa reações oxidativas (MARTINEZ *et al.*, 2009).

Embora a concentração de metais pesados no lodo (Tabela 3) esteja abaixo do limite máximo considerado adequado pela resolução n° 375/2006 do CONAMA (Tabela 1), os maiores valores de metais desse substrato, em comparação aos demais tratamentos, produziu

mudas de mamoeiro de baixa qualidade e com acúmulo superior dos metais Cu, Ni, As e Se. Diante disso, uma das alternativas para reduzir os efeitos de concentrações elevadas de micronutrientes e de metais pesados no lodo de esgoto é o seu uso em menor proporção no substrato, como foi verificado por Siqueira *et al.* (2019), em que a menor proporção de lodo se mostrou adequada para a produção de mudas de vinhático (*Plathymenia reticulata*).

Diante das concentrações de metais pesados expressas no lodo de esgoto, acredita-se que esse resíduo, se tratado corretamente, pode ser utilizado de modo seguro na agricultura sem ocasionar problemas de contaminação aos recursos naturais. Todavia, conforme ressaltou Chiba *et al.* (2008), embora a aplicação de biossólido como fonte de nutrientes não tenha acarretado riscos ao ambiente, se faz necessário realizar ações de monitoramento nas áreas tratadas com esse resíduo por longos períodos.

#### **4.1.4 Considerações finais**

Diante dos resultados expostos, pôde-se observar que os substratos casca de coco verde e bagana de carnaúba mostraram-se apropriados para a produção de mudas de mamoeiro em sacos. A maior atividade fotossintética das plantas cultivadas nesses tratamentos, aliado as boas propriedades físico-químicas desses substratos promoveu mudas com adequado crescimento, o que favorece o estabelecimento da planta no campo e reforça o potencial desses resíduos orgânicos como alternativa ao emprego de substratos comerciais e ao uso do solo, configurando-se como estratégia eficiente para a produção de mudas de mamoeiro de qualidade.

O substrato comercial não se revelou adequado para a produção das mudas de mamoeiro em sacos, fato que se traduziu no crescimento inferior das plantas e no menor acúmulo de nutrientes, o que refletiu a pobreza em elementos essenciais desse tratamento, o qual, de modo geral, exibiu os menores valores de nutrientes (Tabela 3). Do ponto de vista físico, esse substrato não ofereceu grandes empecilhos ao crescimento das plantas (Tabela 2), o que sugere que os problemas foram químicos e podem ser corrigidos com o uso de adubos, sendo indicada a realização de novos estudos empregando fertilizantes em associação com o substrato comercial Turfa Fértil<sup>®</sup>.

Quanto ao lodo de esgoto, as mudas cultivadas nesse tratamento apresentaram reduzida biomassa seca e baixa qualidade, sendo que esse substrato exibiu, de modo geral, concentração de macronutrientes próxima a dos substratos bagana de carnaúba e casca de coco; contudo, os valores de micronutrientes, com exceção do Fe e do Mn, foram os mais

altos (Tabela 3), o que causa toxidez e contribuí para o crescimento reduzido das mudas. Diante disso, uma alternativa para mitigar as altas concentrações de micronutrientes no lodo é o seu uso em associação com outros materiais orgânicos, a fim de melhorar suas propriedades físico-químicas, ou, o uso de recipientes de menor tamanho, o que reduz o volume de substrato em contato com a planta.

## 4.2 Experimento 2

### 4.2.1 Análises biométricas

Na primeira avaliação de crescimento (20 DAS), apenas o número de folhas apresentou resposta significativa a 1% de probabilidade pelo teste F, em função dos tratamentos. As variáveis altura de plantas e diâmetro do caule não foram influenciados pelos substratos testados (Tabela 18).

Tabela 18 - Resumo da análise de variância para as variáveis altura (H), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) em mudas de mamoeiro aos 20 DAS, Fortaleza- CE, 2019

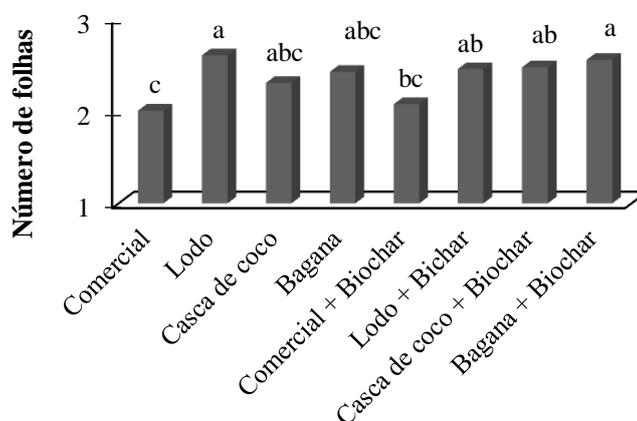
| Fontes de Variação | Quadrado Médio |                    |                    |        |
|--------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------|
|                    | GL             | H                  | DC                 | NF     |
| Tratamentos        | 7              | 0,21 <sup>ns</sup> | 0,03 <sup>ns</sup> | 0,19** |
| Resíduo            | 24             | 0,13               | 0,02               | 0,03   |
| Total              | 31             | -                  | -                  | -      |
| Média Geral        | -              | 4,75               | 1,38               | 2,36   |
| CV (%)             | -              | 7,67               | 9,34               | 8,03   |

\*\* = Significativo a 1 % pelo teste F e <sup>ns</sup> = não significativo.

Fonte: Autora, 2020.

As mudas de mamoeiro apresentaram resultado inferior para o número de folhas quando as plantas foram cultivadas nos substratos comercial e comercial + biochar, contudo, sem diferir daquelas cultivadas nos tratamentos casca de coco verde e bagana de carnaúba (Figura 41). A variável número de folhas das mudas de mamoeiro variou de 2 a 2,6.

Figura 41 - Número de folhas de mudas de mamoeiro, aos 20 DAS, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

O número de folhas é uma característica de grande importância para o crescimento e desenvolvimento da planta, pois, esse órgão é o principal local de ocorrência da fotossíntese e atua como centro de reserva e fonte de fitohormônios (ARAÚJO; SOBRINHO, 2011), os quais serão utilizados para a promoção do crescimento. Embora o número de folhas das plantas de mamoeiro tenha oscilado pouco em função dos tratamentos aplicados, verificou-se que os substratos que promoveram as menores quantidades de folhas apresentaram também, de modo geral, as menores concentrações de nutrientes (Tabela 3).

Os tratamentos formados pelos materiais lodo de esgoto, bagana de carnaúba e casca de coco verde propiciaram maior produção de folhas. Esses resíduos receberam esterco de galinha para a realização da compostagem, fato que pode ter contribuído para o resultado positivo desses substratos, haja vista que os estercos são ricos em nutrientes e que, conforme relatado por Araújo *et al.* (2010), os estercos possuem grande importância na produção de mudas de mamoeiro, tendo sido observado pelos autores que o número de folhas foi maior nos tratamentos que continham esterco caprino, inclusive quando usado apenas o substrato comercial.

Quanto à segunda avaliação de crescimento (27 DAS), verificou-se significância a 1% de probabilidade pelo teste F, para todas as variáveis analisadas (Tabela 19). Esses resultados significativos indicam que as plantas de mamoeiro responderam de forma distinta em função dos tratamentos aplicados.

Tabela 19 - Resumo da análise de variância para as variáveis altura (H), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) em mudas de mamoeiro aos 27 DAS, Fortaleza- CE, 2019

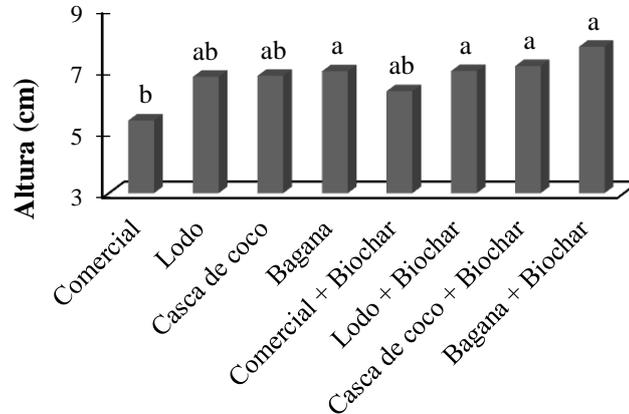
| Fontes de Variação | Quadrado Médio |        |        |        |
|--------------------|----------------|--------|--------|--------|
|                    | GL             | H      | DC     | NF     |
| Tratamentos        | 7              | 1,93** | 0,23** | 0,66** |
| Resíduo            | 24             | 0,4    | 0,02   | 0,05   |
| Total              | 31             | -      | -      | -      |
| Média Geral        | -              | 6,75   | 1,99   | 3,73   |
| CV (%)             | -              | 9,33   | 6,94   | 5,99   |

\*\* = Significativo a 1 % pelo teste F.

Fonte: Autora, 2020.

Ao se observar a variável altura de plantas verificou-se que o substrato comercial proporcionou resultado inferior para as mudas de mamoeiro, todavia, sem diferença estatística das plantas cultivadas com lodo de esgoto, casca de coco verde e comercial + biochar (Figura 42). A altura das mudas foi de 5,4 a 7,8 cm.

Figura 42 - Altura de plantas de mamão, aos 27 DAS, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



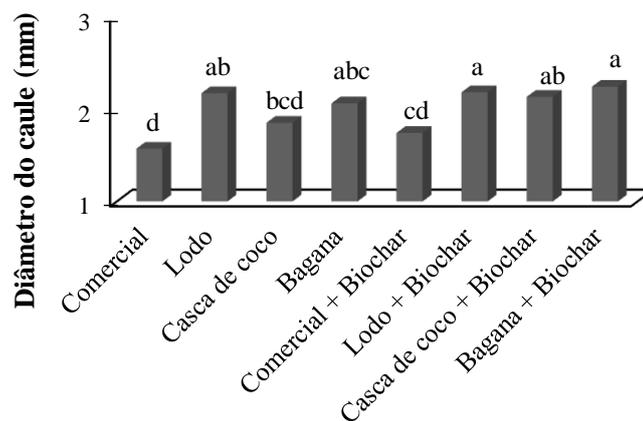
Fonte: Autora, 2020.

A altura de plantas é uma variável de grande importância para estimar o padrão de qualidade de mudas (NASCIMENTO *et al.*, 2018). Nesse sentido, pôde-se inferir que as mudas cultivadas com a adição de biocarvão exibiram maior qualidade, pois, esse material promoveu acréscimo na altura das plantas, em comparação aos substratos usados de modo isolado. O resultado deste trabalho corrobora o de Silva *et al.* (2019) em que, estudando o efeito do biochar e mucuna na nutrição e no crescimento de mamoeiro, os autores observaram que a maior altura da planta foi obtida com biochar + adubo verde de mucuna e, concluíram que o rápido crescimento das plantas cultivadas nesse substrato é essencial para o mamoeiro.

O efeito positivo do uso de biocarvão sobre a altura das mudas é consequência das maiores concentrações de nitrogênio nos tratamentos com biochar em sua composição (Tabela 3), visto que esse nutriente tem função estrutural, integrando compostos de carbono na planta (TAIZ *et al.*, 2017). Situação semelhante foi verificada por Abreu *et al.* (2017), observando-se que a resposta em crescimento das mudas de aroeira-pimenteira ocorreu em virtude das maiores concentrações de N nos tratamentos com 50 e 100% de biochar. Esses resultados indicam que a utilização de compostos naturais pode propiciar o fornecimento adequado de nutrientes para as plantas, sendo uma alternativa para mitigar os custos produtivos e propiciar ganhos em qualidade e produtividade (PETTER *et al.*, 2012).

A variável diâmetro do caule foi inferior quando as mudas foram cultivadas nos substratos comercial, casca de coco verde e comercial + biochar (Figura 43). O diâmetro caulinar variou de 1,57 a 2,24 mm.

Figura 43 - Diâmetro do caule de plantas de mamão, aos 27 DAS, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

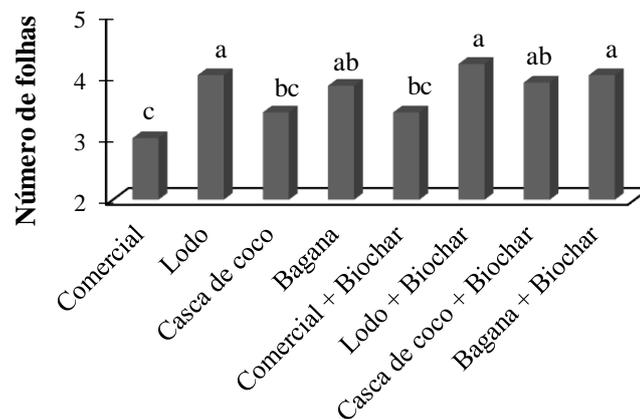
Conforme observado neste experimento, o substrato comercial promoveu efeito negativo na altura e no diâmetro do caule das mudas. Esse resultado está em consonância com o trabalho de Rocha *et al.* (2013), em que foi verificado que o substrato comercial à base de turfa propiciou o menor desenvolvimento em altura e diâmetro do caule das mudas de eucalipto, sendo esse efeito negativo atribuído a pobreza em nutrientes do substrato comercial. Essa situação também foi verificada no presente trabalho, tendo em vista que o substrato comercial Turfa Fértil® promoveu, de modo geral, o menor aporte de nutrientes para as plantas (Tabela 3), o que prejudica o crescimento vegetal.

Comparando-se os valores de diâmetro do caule das mudas cultivadas nos substratos com a adição de biocarvão, com as mudas produzidas na ausência desse material,

observou-se que houve acréscimo para essa variável, o que favorece a sobrevivência das mudas no campo, pois, plantas com maior diâmetro apresentam maior robustez devido à capacidade de formação e de crescimento de novas raízes (ARAÚJO; SOBRINHO, 2011). O incremento do diâmetro nas mudas cultivadas com biochar ocorreu, possivelmente, devido a maior concentração de K dos substratos (Tabela 3). Essa situação corrobora a relatada por Gomes *et al.* (2013), em que os substratos contendo até 80% de lodo e com bom suprimento de K propiciaram os maiores diâmetros do caule de mudas de teca (*Tectona grandis*).

Para a variável número de folhas, os substratos comercial, casca de coco verde e comercial + biochar proporcionaram resultados inferiores (Figura 44). O número de folhas das mudas de mamoeiro variou de 3 a 4,2.

Figura 44 - Número de folhas de plantas de mamão, aos 27 DAS, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

Os substratos contendo bagana de carnaúba propiciaram efeito positivo para o número de folhas e para todas as variáveis de crescimento. Essa situação está em consenso com o trabalho de Araújo *et al.* (2017) em que, estudando o crescimento e a qualidade de mudas de paricá cultivadas em substratos formados por composto orgânico, resíduo da extração de cera de carnaúba e moinha de carvão vegetal, os autores observaram que a bagana de carnaúba proporcionou as melhores médias para o crescimento de mudas.

O resultado positivo dos substratos contendo biochar sobre as variáveis de crescimento das mudas, em comparação aos tratamentos sem a utilização desse material, é consequência do maior aporte de N, K e Ca nesses substratos (Tabela 3), os quais são requeridos em grande quantidade pela cultura do mamoeiro. O N fomenta o crescimento vegetativo, não podendo faltar nos seis primeiros meses após o plantio do mamoeiro (OLIVEIRA *et al.*, 2009); o K é benéfico ao crescimento e ao rendimento da cultura

(OLIVEIRA; CALDAS, 2004); e o Ca, quando presente em quantidades adequadas, promove maior crescimento em altura das plantas (SOUSA *et al.*, 2015).

O desempenho positivo do biocarvão ocorre, também, pelo fato de que esse material contribui para a maior absorção dos nutrientes do substrato. Essa situação ressalta o potencial do biochar como condicionador de substrato, além de demonstrar a possibilidade de sua utilização em plantios subsequentes, tendo em vista que se trata de um composto bastante estável (PETER *et al.*, 2012). O uso do biochar também colabora para o aumento da fertilidade do solo, visto que vários dos nutrientes desse material estão presentes na forma lábil, o que mantém grandes quantidades de elementos essenciais em formas disponíveis no solo, contribuindo para a melhoria da fertilidade (SILVA *et al.*, 2019).

No que diz respeito às variáveis área foliar, comprimento da raiz principal, massa de matéria seca da parte aérea, massa de matéria seca das raízes, massa de matéria seca total e o índice de qualidade de Dickson pôde-se observar que todas as variáveis analisadas foram influenciadas significativamente a 1% de probabilidade pelo teste F, em função dos tratamentos (Tabela 20).

Tabela 20 - Resumo da análise de variância para as variáveis área foliar (AF), comprimento da raiz principal (CR), massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), massa de matéria seca das raízes (MSR), massa de matéria seca total (MST) e índice de qualidade de Dickson (IQD) em mudas de mamoeiro, Fortaleza- CE, 2019

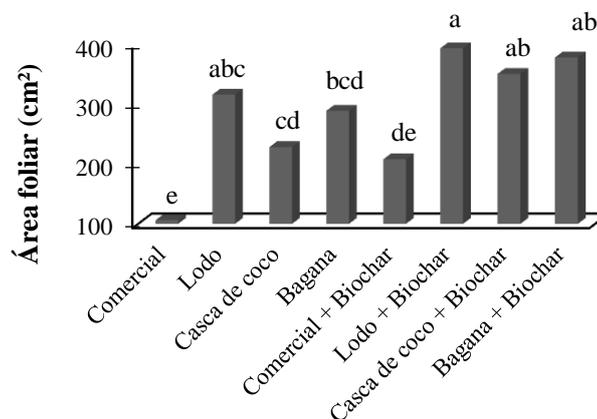
| Fontes de Variação | Quadrado Médio |            |         |        |        |        |        |
|--------------------|----------------|------------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                    | GL             | AF         | CR      | MSPA   | MSR    | MST    | IQD    |
| Tratamentos        | 7              | 38235,59** | 12,05** | 0,87** | 0,13** | 1,47** | 0,05** |
| Resíduo            | 24             | 1.913,72   | 1,60    | 0,05   | 0,04   | 0,12   | 0,007  |
| Total              | 31             | -          | -       | -      | -      | -      | -      |
| Média Geral        | -              | 283,2      | 13,77   | 1,18   | 0,61   | 1,79   | 0,33   |
| CV (%)             | -              | 15,45      | 9,19    | 19,55  | 34,48  | 19,4   | 25,64  |

\*\* = Significativo a 1 % pelo teste F.

Fonte: Autora, 2020.

Ao se avaliar a área foliar das mudas de mamoeiro verificou-se que os substratos comercial, casca de coco verde, bagana de carnaúba e comercial + biochar promoveram as menores médias (Figura 45). A área foliar das plantas variou de 105,7 a 393,1 cm<sup>2</sup>.

Figura 45 - Área foliar de plantas de mamão, aos 34 dias, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



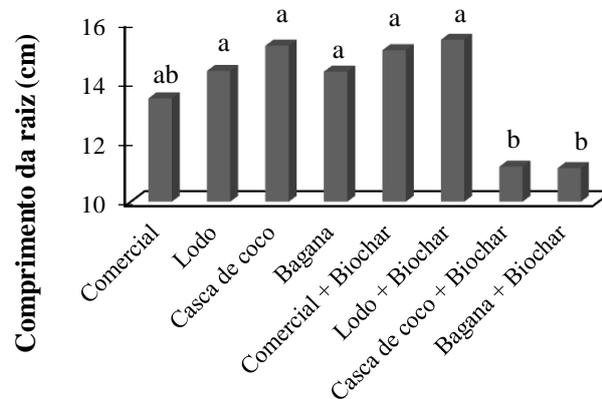
Fonte: Autora 2020.

A casca de coco verde e a bagana de carnaúba, quando usadas de modo isolado, promoveram área foliar inferior das mudas; em contrapartida, quando se adicionou biochar na mistura houve aumento no tamanho da folha, o que sugere que estes resíduos são mais eficientes quando usados em conjunto com outros materiais. Neste experimento, a adição de biocarvão aos substratos foi benéfica à expansão da área foliar de todas as plantas. Melo *et al.* (2019) atribuíram a maior área foliar das plantas de guavira (*Campomanesia adamantium*) à maior disponibilidade de N no substrato, fato que também ocorreu neste estudo, pois, os substratos com biochar exibiram maior concentração de N (Tabela 3). Esse nutriente regula processos fisiológicos e bioquímicos como o desenvolvimento radicular, a expansão foliar e a expressão de genes (FERNANDES *et al.*, 2018).

A área foliar é uma das variáveis mais importantes na análise de crescimento, visto que reflete os resultados da aplicação de determinado tratamento (LIMA *et al.*, 2015), além de ter efeito direto sobre as trocas gasosas, atuando como órgão principal para a realização da fotossíntese e como fonte de assimilados para a promoção do crescimento vegetal. Nesse sentido, observou-se que o tratamento lodo + biochar promoveu efeito positivo nas mudas de mamoeiro, o que se refletiu no maior crescimento e expansão da área foliar dessas plantas, devido a promoção de elevada taxa fotossintética.

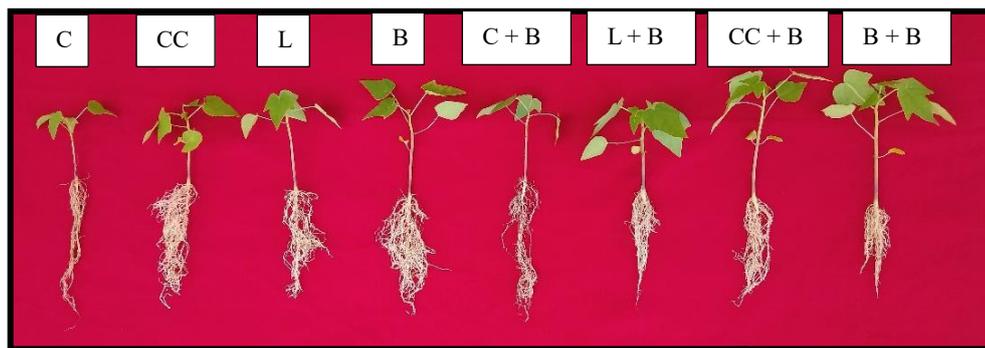
Para o comprimento da raiz principal, os substratos casca de coco + biochar e bagana + biochar proporcionaram as menores médias (Figura 46), sendo que o comprimento das raízes variou de 11,1 a 15,4 cm. As raízes das mudas de mamoeiro podem ser visualizadas na Figura 47.

Figura 46 - Comprimento da raiz principal de plantas de mamão, aos 34 dias, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

Figura 47 – Raízes de mudas de mamão, aos 34 dias, cultivadas em substrato comercial (C), casca de coco (CC), lodo de esgoto (L), bagana de carnaúba (B), comercial + biochar (C + B), lodo + biochar (L + B), casca de coco + biochar (CC + B) e bagana + biochar (B + B)



Fonte: Autora, 2020.

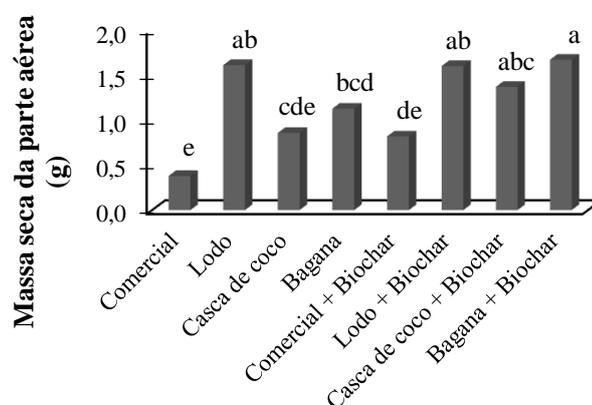
Em oposição às demais variáveis estudadas, o substrato comercial promoveu desempenho superior para o comprimento radicular. Esse fato ocorreu, possivelmente, devido à pobreza em nutrientes desse tratamento (Tabela 3), pois, nessas condições a planta investe no crescimento do sistema radicular como estratégia de sobrevivência para maior absorção de elementos essenciais. Em situações de baixos níveis de nutrientes ocorrem menores quantidades de citoquinina na planta, a qual é responsável pela inibição do alongamento radicular, condição que estimula o desenvolvimento da raiz em detrimento da parte aérea (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Apesar de os tratamentos lodo de esgoto, casca de coco verde, bagana de carnaúba e lodo + biochar terem exibido os valores mais altos de densidade global (Tabela 2), esse fato não restringiu o crescimento das raízes. O crescimento radicular superior dessas plantas é resultado da maior concentração de fósforo nesses tratamentos (Tabela 3). O P acelera a formação das raízes, sendo essencial para o funcionamento desse órgão como apoio mecânico

(MALAVOLTA, 2006). O maior crescimento das raízes é de grande importância para o crescimento vegetal, visto que raízes bem desenvolvidas podem promover maior absorção de água e nutrientes (MELO *et al.*, 2019).

As mudas de mamoeiro apresentaram massa de matéria seca da parte aérea superior, quando cultivadas com bagana + biochar, contudo, sem diferir estatisticamente das plantas dos tratamentos lodo de esgoto, lodo + biochar e casca de coco + biochar (Figura 48). A massa de matéria seca da parte aérea variou de 0,4 a 1,7 g.

Figura 48 – Massa de matéria seca da parte aérea de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

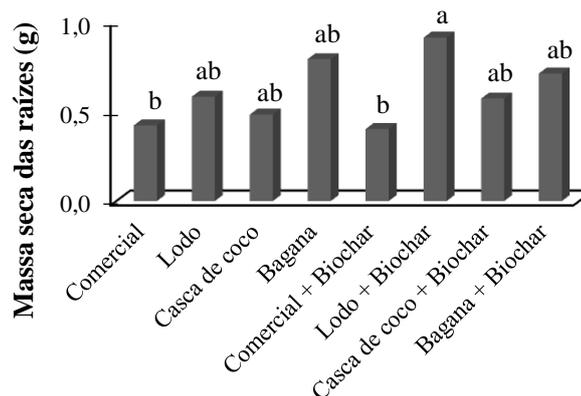
Em conformidade com os resultados de crescimento, o substrato comercial promoveu resultado inferior para a matéria seca da parte aérea das mudas. Esse efeito negativo do substrato comercial formado por turfa tem sido observado em diferentes culturas. Alves *et al.* (2016), avaliando a biometria de mudas de cafeeiro, observaram que o composto orgânico promoveu desempenho superior para a massa seca da parte aérea, comparativamente aos tratamentos solo e substrato comercial, o qual era formado por casca de pinus, moinha de carvão, vermiculita, fertilizante mineral, turfa e espuma fenólica. Os autores atribuíram o bom resultado do composto orgânico à disponibilização de nutrientes às plantas de forma gradual, uma vez que ocorre lenta decomposição dos materiais.

O lodo de esgoto, quando utilizado isolado ou em conjunto com o biochar, promoveu resultado superior para a massa seca da parte aérea, o que indica que esse resíduo, mesmo usado sem outros materiais, pode propiciar maior crescimento do mamoeiro em bandejas de poliestireno. Desempenho positivo do lodo também tem sido registrado para diversas culturas. Martins *et al.* (2003) verificaram que a produção de massa seca da parte aérea do milho aumentou com a adição de lodo de esgoto. Do mesmo modo, Gonzaga *et al.*

(2018), estudando o efeito do biocarvão do lodo de esgoto no crescimento de mudas de eucalipto, observaram que o biochar aumentou a biomassa seca da parte aérea das mudas.

A menor média para a massa de matéria seca das raízes foi alcançada quando as plantas foram cultivadas nos substratos comercial e comercial + biochar (Figura 49). A massa de matéria seca das raízes variou de 0,4 a 0,9 g.

Figura 49 – Massa de matéria seca das raízes de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



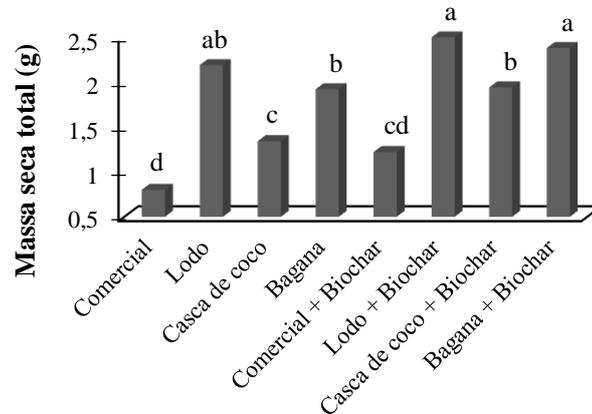
Fonte: Autora, 2020.

A adição de biocarvão aos substratos foi benéfica para a produção de massa de matéria seca das raízes, tendo promovido média superior em todos os tratamentos, exceto no comercial + biochar. Esse desempenho positivo se deve à boa composição nutricional dos substratos que possuem biochar em sua constituição (Tabela 3). Esse resultado corrobora o trabalho de Galvão *et al.* (2007), em que o substrato composto orgânico + coprólito + casca de arroz carbonizada + de 10% de biocarvão, o qual exibiu boa composição química, propiciou resultado superior para a matéria seca das raízes de mudas de mamoeiro.

Além de mudanças nos atributos químicos dos substratos, o emprego de biochar promoveu alterações nos atributos físicos, o que foi favorável para a produção de raízes. O biocarvão tem composição muito porosa e, quando misturado ao solo ou ao substrato pode aumentar a porosidade e facilitar o desenvolvimento de microorganismos benéficos (ZANETTI *et al.*, 2003). Nesse sentido, a menor densidade dos substratos contendo biocarvão (Tabela 2) é reflexo da maior porosidade desse material, característica física que é benéfica para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

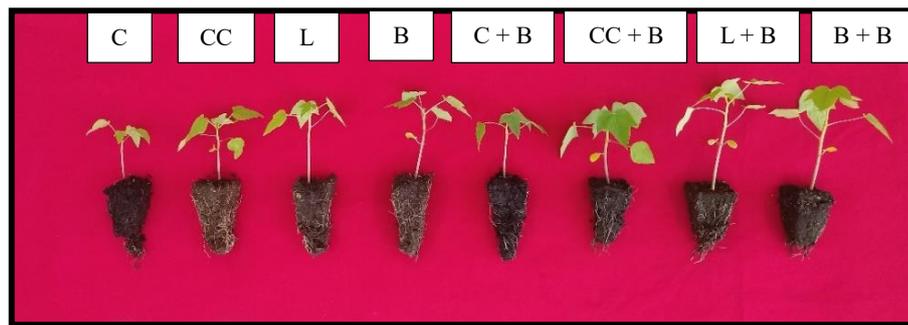
Para a variável massa de matéria seca total, foi observado que os substratos lodo + biochar e bagana + biochar promoveram as maiores médias, contudo, sem diferir das plantas cultivadas com lodo de esgoto (Figura 50). A massa de matéria seca total variou de 0,8 a 2,5 g. As mudas de mamão cultivadas em diferentes substratos podem ser vistas na Figura 51.

Figura 50 - Massa seca total de plantas de mamão, aos 34 dias, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza – CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

Figura 51 – Mudanças de mamão, aos 34 dias, cultivadas em substrato comercial (C), casca de coco (CC), lodo de esgoto (L), bagana de carnaúba (B), comercial + biochar (C + B), casca de coco + biochar (CC + B), lodo + biochar (L + B) e bagana + biochar (B + B)



Fonte: Autora, 2020.

O desempenho negativo do substrato comercial Turfa Fértil<sup>®</sup> sobre as variáveis de crescimento produziu mudas de mamoeiro com reduzida biomassa seca total. Esse resultado é consequência do baixo aporte de nutrientes desse tratamento, o qual apresentou os maiores valores apenas de Fe e Mn (Tabela 3). Essa situação está em consonância com o trabalho de Abreu *et al.* (2017), em que os resultados inferiores para as variáveis biométricas das mudas de aroeira-pimenteira e ipê-roxo foram obtidos no substrato comercial à base de casca de pinus bioestabilizada, ao passo que as maiores médias de biomassa seca foram obtidas nos tratamentos com maiores proporções de biossólido, sendo os efeitos negativos do tratamento comercial atribuídos a sua menor concentração de nutrientes.

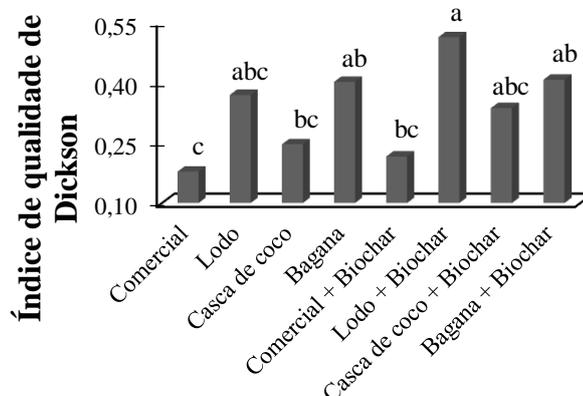
Embora o tratamento casca de coco + biochar tenha promovido altura superior das mudas, a massa de matéria seca total das plantas cultivadas nesse substrato foi inferior, fato que pode ter ocorrido pelos elevados valores de condutividade elétrica (Tabela 4) e de concentração do Na nesse tratamento (Tabela 3), o que prejudicou a produção de biomassa

das plantas. Esse resultado confirma que apenas a variável altura da muda não deve ser utilizada de modo isolado para predizer o vigor das plantas, visto que a quantidade de matéria seca acumulada pode ser baixa (GALVÃO *et al.*, 2007).

A adição de biocarvão aos substratos promoveu incremento na massa de matéria seca total. Esse resultado corrobora o de Gonzaga *et al.* (2019), em que a aplicação de biochar aumentou significativamente a biomassa seca da mostarda indiana. O efeito positivo dos substratos com biochar sobre a produção de biomassa seca demonstra a importância de misturar diferentes materiais para compor substratos, visto que quando os materiais são utilizados de maneira isolada podem apresentar características não satisfatórias ao desenvolvimento das plantas (CALDEIRA *et al.*, 2013), como a presença de substâncias aleloquímicas e a elevação da relação C/N, sendo por isso preferível utilizar dois ou mais materiais orgânicos para compor um bom substrato (LIMA *et al.*, 2015).

Quanto ao índice de qualidade de Dickson (IQD), os substratos comercial, casca de coco e comercial + biochar proporcionaram as menores médias para as mudas de mamoeiro (Figura 52). O IQD das mudas variou de 0,18 a 0,51.

Figura 52 – Índice de qualidade de Dickson de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

Os resíduos lodo de esgoto e bagana de carnaúba, quando utilizados de modo isolado ou em conjunto com o biochar, promoveram média superior do IQD, o que confirma o potencial desses materiais para uso como substrato na produção de mudas de mamoeiro em bandejas. Esse resultado é semelhante ao de Albano *et al.* (2017), em que o resíduo de carnaúba semidecomposto propiciou mudas de mamoeiro de boa qualidade e com maior média de IQD. Do mesmo modo, Abreu *et al.* (2017) observaram que as maiores médias de IQD para mudas de aroeira-pimenteira foram obtidas no tratamento com 100% de lodo de esgoto, enquanto o substrato comercial promoveu média inferior.

Valores mais altos de IQD indicam mudas com melhor qualidade, sendo 0,20 o valor mínimo recomendado (HUNT, 1990). Nesse sentido, as mudas produzidas no substrato comercial possuem baixa qualidade (0,18). Esse resultado corrobora o estudo de Steffen *et al.* (2011), em que os autores verificaram que o uso de substrato com 100% de turfa promoveu média inferior para o IQD de mudas de duas espécies de eucalipto, ao passo que quando se adicionou vermicomposto ao substrato, se alcançou os maiores valores desse índice. Tais resultados sugerem que a deficiência nutricional da turfa é uma limitação para o seu uso na produção de mudas, sendo indicada sua utilização em associação com materiais de melhor composição nutricional ou o emprego de fertilização durante o cultivo das mudas.

A adição de biochar aos substratos foi benéfica para a produção de mudas de melhor qualidade, pois, embora o tratamento comercial + biochar tenha apresentado IQD com média inferior, houve incremento desse índice em comparação ao substrato comercial usado de modo isolado. O desempenho positivo do biochar sobre o crescimento e a promoção da qualidade das mudas se deve ao fato de que esse material promove alterações químicas, melhorando a disponibilidade dos nutrientes e fornecendo superfícies quimicamente ativas, além de reduzir as restrições que podem limitar o crescimento das plantas melhorando os parâmetros físicos que beneficiam o crescimento (TOSELLI *et al.*, 2020).

#### 4.2.2 Análises fisiológicas

Quanto as variáveis fisiológicas, pôde-se verificar por meio da análise de variância que a fotossíntese, a eficiência instantânea do uso da água e a eficiência instantânea de carboxilação foram influenciadas significativamente pelos tratamentos. As demais variáveis estudadas não sofreram efeito dos tratamentos testados (Tabela 21).

Tabela 21 – Resumo da análise de variância para fotossíntese (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), eficiência do uso da água (A/E) e eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci) de mudas de mamão cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019

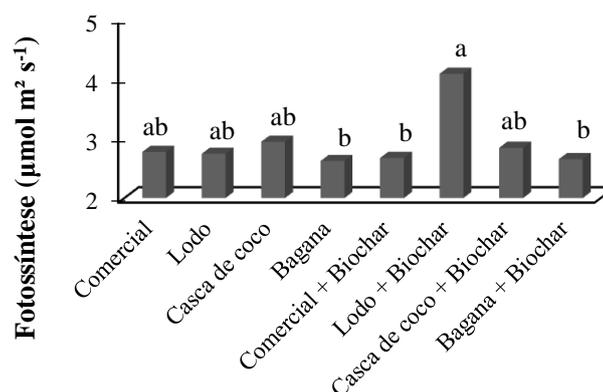
| Fontes de Variação | Quadrado Médio |         |                       |                       |           |          |
|--------------------|----------------|---------|-----------------------|-----------------------|-----------|----------|
|                    | GL             | A       | GS                    | E                     | A/E       | A/Ci     |
| Tratamentos        | 7              | 0,9321* | 0,00001 <sup>ns</sup> | 0,00549 <sup>ns</sup> | 0,51705** | 0,00001* |
| Resíduo            | 24             | 0,32    | 0,00001               | 0,00553               | 0,1357    | 0        |
| Total              | 31             | -       | -                     | -                     | -         | -        |
| Média Geral        | -              | 2,91    | 0,14                  | 1,43                  | 2,04      | 0,008    |
| CV (%)             | -              | 19,69   | 1,74                  | 5,19                  | 18,07     | 21,44    |

\*, \*\* = Significativo a 5% e a 1 % pelo teste F, respectivamente e, <sup>ns</sup> = não significativo.

Fonte: Autora, 2020.

Para a taxa de fotossíntese, os substratos bagana de carnaúba, comercial + biochar e bagana + biochar proporcionaram resultado inferior, todavia, sem diferir das plantas cultivadas nos substratos comercial, lodo de esgoto, casca de coco e casca de coco + biochar (Figura 53). A fotossíntese líquida das plantas variou de 2,62 a 4,08  $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ .

Figura 53 - Fotossíntese de plantas de mamão, aos 33 dias, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

Dentre os aspectos que afetam as reações fisiológicas das plantas podem-se destacar as condições adversas do ambiente e dos substratos, como a disponibilidade de nutrientes, por exemplo, podendo esses fatores provocar distúrbios nas trocas gasosas dos vegetais, como o aumento ou a diminuição da transpiração da planta, bem como alterações na captação do  $\text{CO}_2$  (ALVES *et al.*, 2016). Nesse sentido, como no presente experimento todas as plantas foram submetidas a condições ambientais parcialmente controladas, as diferenças de trocas gasosas verificadas são atribuídas às características dos substratos, sendo a composição nutricional dos tratamentos o fator que mais afetou as trocas gasosas dos vegetais.

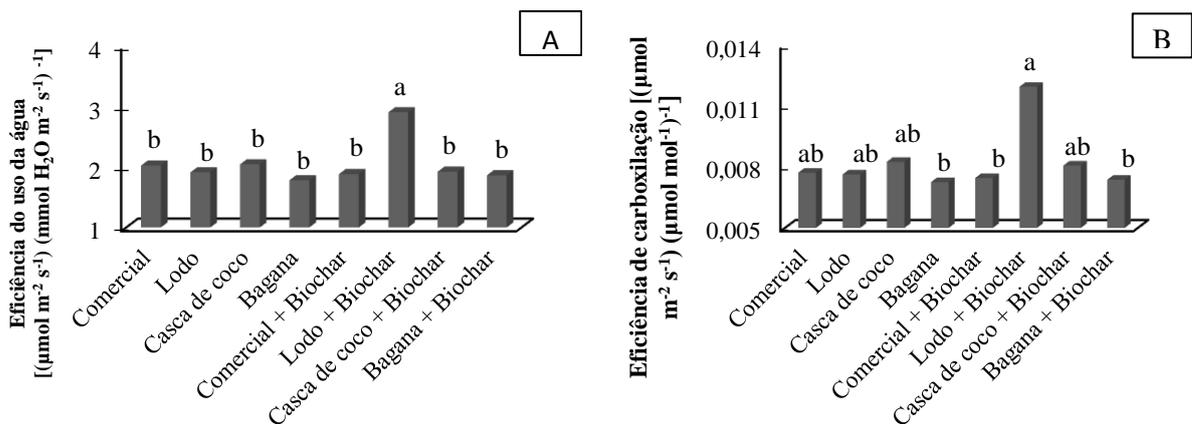
A baixa taxa fotossintética das mudas cultivadas com bagana de carnaúba é consequência do menor desenvolvimento foliar das plantas e da baixa concentração de N no substrato (Tabela 3), o que pode reduzir a produção de clorofila e prejudicar a fotossíntese, visto que a produtividade primária líquida das plantas aumenta em função da disponibilidade de nutrientes, principalmente o N (EPSTEIN; BLOOM, 2006), conforme registrado por Sousa *et al.* (2013). Os autores observaram aumento dos valores de clorofila e da taxa fotossintética em plantas de pinhão-manso, em função da concentração de N e Mg no biofertilizante. O N participa da estrutura de muitos componentes celulares vegetais, como a clorofila, que é o pigmento responsável por captar energia solar e converter em química (TAIZ *et al.*, 2017).

A composição nutricional do substrato, além de fornecer elementos essenciais para a realização da fotossíntese, propicia maior crescimento vegetal, o que eleva a atividade

fotossintética das plantas. Assim, a maior taxa de fotossíntese observada nas mudas cultivadas com lodo + biochar ocorreu em função, tanto da boa composição nutricional desse tratamento (Tabela 3), como do crescimento superior das plantas, as quais apresentaram maior desenvolvimento foliar. Essa maior taxa de fotossíntese líquida demonstra a eficiência das folhas na produção de novos materiais, por meio do balanço entre o material produzido pela fotossíntese e aquele perdido através da respiração (LOPES *et al.*, 2007).

A eficiência instantânea de uso da água variou de 1,78 a 2,9 [ $(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$  ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$ ], tendo o substrato lodo + biochar proporcionado resultado superior (Figura 54A). A variável eficiência instantânea de carboxilação variou de 0,007 a 0,012 [ $(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$  ( $\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$ ], sendo a média superior obtida nas mudas cultivadas com lodo + biochar; todavia, sem diferir das plantas cultivadas nos substratos comercial, lodo de esgoto, casca de coco verde e casca de coco + biochar (Figura 54B).

Figura 54 - Eficiência instantânea de uso da água (A) e eficiência instantânea de carboxilação (B) de plantas de mamão, aos 33 dias, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

Os vegetais têm que contrabalancear a necessidade de manter água em seu interior e de assimilar  $\text{CO}_2$  para a realização da fotossíntese (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005), sendo por isso importante reduzir a quantidade de água perdida por unidade de  $\text{CO}_2$  fixada. Tal situação ocorreu nas mudas cultivadas com lodo + biochar, em que houve maior fotossíntese líquida com menor perda de água, o que indica que as plantas desse tratamento utilizaram a água de modo mais eficiente. Essa maior eficiência de uso da água é importante não só para diminuir a perda de água nas plantas, como também para planejar o manejo da irrigação no viveiro (FIGUEIREDO, 2014), uma vez que plantas com maior eficiência perdem menos água.

O substrato lodo + biochar promoveu as maiores médias para as trocas gasosas,

resultado que pode ser atribuído ao maior crescimento das plantas cultivadas nesse tratamento e a sua boa composição nutricional (Tabela 3). Essa situação corrobora o trabalho de Santos *et al.* (2019), em que as maiores médias de trocas gasosas das mudas de ora-pró-nobis cultivadas em substrato com cama de frango ocorreram em função do incremento de nutrientes desse resíduo orgânico. Os autores observaram, ainda, que a maior eficiência de carboxilação promovida por esse substrato resultou na potencialização da taxa fotossintética, situação também observada no presente estudo para as mudas do tratamento lodo + biochar.

#### 4.2.3 Nutrientes minerais na parte aérea e nas raízes

Os teores médios de nutrientes minerais e de metais pesados na parte aérea e no sistema radicular das mudas de mamoeiro podem ser visualizados nos Apêndices E, F, G e H. Com relação ao acúmulo dos macronutrientes e do elemento sódio na parte aérea, no sistema radicular e na planta inteira de mamoeiro, verificou-se que na parte aérea e na planta inteira todos os elementos minerais avaliados foram influenciados significativamente, enquanto nas raízes apenas o Mg não sofreu efeito dos tratamentos aplicados (Tabelas 22, 23 e 24).

Tabela 22 - Resumo da análise de variância para o acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e sódio na parte aérea de mudas de mamoeiro, Fortaleza- CE, 2019

| Fontes de Variação | Quadrado Médio |         |        |         |         |        |        |        |
|--------------------|----------------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|
|                    | GL             | N       | P      | K       | Ca      | Mg     | S      | Na     |
| Tratamentos        | 7              | 402,4** | 17,6** | 513,1** | 322,5** | 57,0** | 44,5** | 13,8** |
| Resíduo            | 24             | 23,1    | 0,8    | 41,6    | 21,7    | 6,1    | 3,8    | 1,2    |
| Total              | 31             | -       | -      | -       | -       | -      | -      | -      |
| Média Geral        | -              | 23,3    | 4,1    | 28,1    | 22,5    | 12,3   | 8,4    | 3,9    |
| CV (%)             | -              | 20,6    | 22,2   | 23,0    | 20,7    | 20,0   | 23,3   | 28,3   |

\*\* = Significativo a 1 % pelo teste F.

Fonte: Autora, 2020.

Tabela 23 - Resumo da análise de variância para o acúmulo de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e sódio nas raízes de mudas de mamoeiro, Fortaleza- CE, 2019

| Fontes de Variação | Quadrado Médio |        |         |        |                    |      |       |
|--------------------|----------------|--------|---------|--------|--------------------|------|-------|
|                    | GL             | P      | K       | Ca     | Mg                 | S    | Na    |
| Tratamentos        | 7              | 12,6** | 296,3** | 47,9** | 32,6 <sup>ns</sup> | 8,5* | 2,2** |
| Resíduo            | 24             | 0,8    | 41,1    | 12,7   | 26,7               | 2,9  | 0,0   |
| Total              | 31             | -      | -       | -      | -                  | -    | -     |
| Média Geral        | -              | 3,2    | 22,8    | 8,1    | 11,1               | 4,7  | 2,0   |
| CV (%)             | -              | 28,2   | 28,1    | 44,1   | 46,5               | 36,5 | 7,0   |

\*, \*\* = Significativo a 5% e a 1 % pelo teste F, respectivamente e, <sup>ns</sup> = não significativo.

Fonte: Autora, 2020.

Tabela 24 - Resumo da análise de variância para o acúmulo de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e sódio na planta inteira de mudas de mamoeiro, Fortaleza- CE, 2019

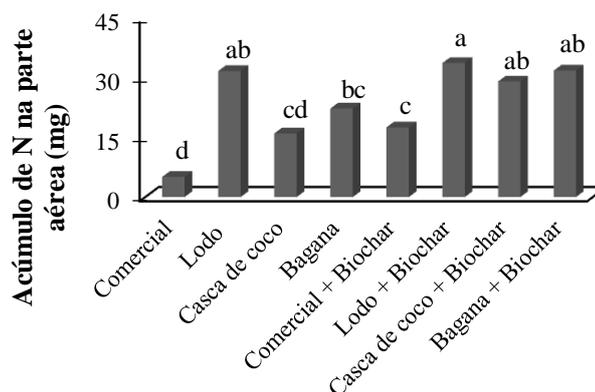
| Fontes de Variação | Quadrado Médio |        |          |         |        |        |        |
|--------------------|----------------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|
|                    | GL             | P      | K        | Ca      | Mg     | S      | Na     |
| Tratamentos        | 7              | 55,0** | 1360,5** | 522,8** | 102,4* | 82,2** | 19,9** |
| Resíduo            | 24             | 2,3    | 108,7    | 38,9    | 36,5   | 8,5    | 2,1    |
| Total              | 31             | -      | -        | -       | -      | -      | -      |
| Média Geral        | -              | 7,3    | 50,9     | 30,6    | 23,5   | 13,0   | 6,0    |
| CV (%)             | -              | 20,5   | 20,5     | 20,4    | 25,8   | 22,4   | 23,7   |

\*, \*\* = Significativo a 5% e a 1 % pelo teste F, respectivamente.

Fonte: Autora, 2020.

As plantas de mamoeiro cultivadas com lodo + biochar apresentaram acúmulo de nitrogênio superior na parte aérea, contudo, sem diferir estatisticamente daquelas cultivadas com lodo de esgoto, casca de coco + biochar e bagana + biochar (Figura 55). O acúmulo de N na parte aérea das mudas variou de 5 a 34 mg.

Figura 55 – Acúmulo de nitrogênio na parte aérea de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

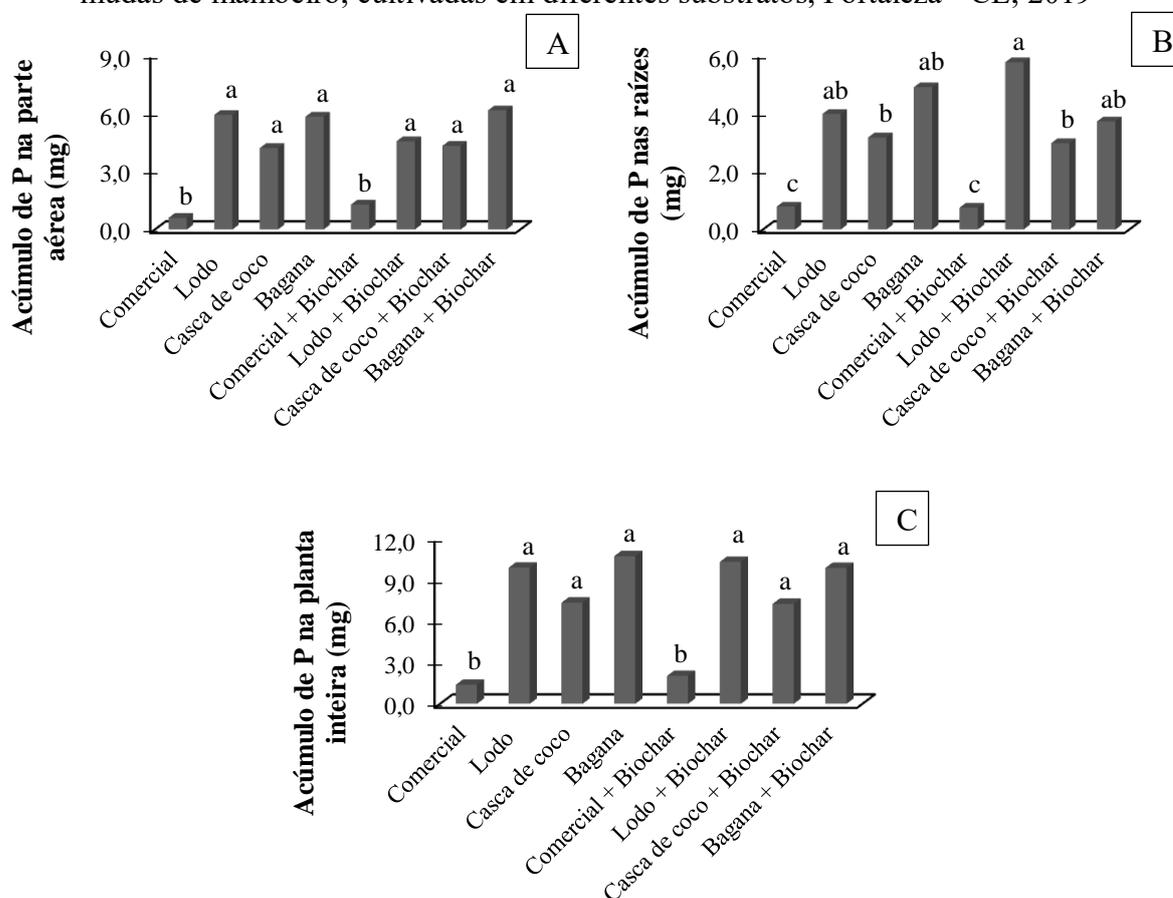
O acúmulo superior de nitrogênio nas mudas cultivadas com lodo + biochar é consequência do maior crescimento dessas plantas, o que se sobrepõe ao fato de esse tratamento não ter exibido uma das concentrações mais elevadas de N (Tabela 3). Efeito benéfico do lodo também foi observado por Nascimento *et al.* (2004), em que houve maior concentração de nitrogênio em amostras de solo com lodo de esgoto, indicando a eficiência desse resíduo em suprir N para o crescimento vegetal.

Embora as plantas do substrato comercial + biochar tenham exibido acúmulo inferior de nitrogênio, houve incremento dos valores de N em todas as mudas cultivadas com biochar. Essa situação corrobora o trabalho de Gonzaga *et al.* (2019), em que o biocarvão promoveu aumento na eficiência de absorção de N, resultado que explica o maior crescimento

das plantas produzidas com biochar. O incremento de N nas plantas cultivadas com biocarvão pode ser explicado pela propriedade que o material possui de reduzir a lixiviação de nutrientes e de aumentar o uso eficiente de N, em virtude da grande área superficial e da presença de locais polares e não polares (TOSELLI *et al.*, 2020).

Os substratos comercial e comercial + biochar propiciaram resultado inferior para o acúmulo de fósforo em todas as partes das plantas de mamoeiro (Figura 56). Avaliando-se a distribuição do P total acumulado nas mudas cultivadas com bagana de carnaúba observou-se que 54% ficou acumulado na parte aérea, ao passo que 46% do P se acumulou nas raízes.

Figura 56 – Acúmulo de fósforo na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



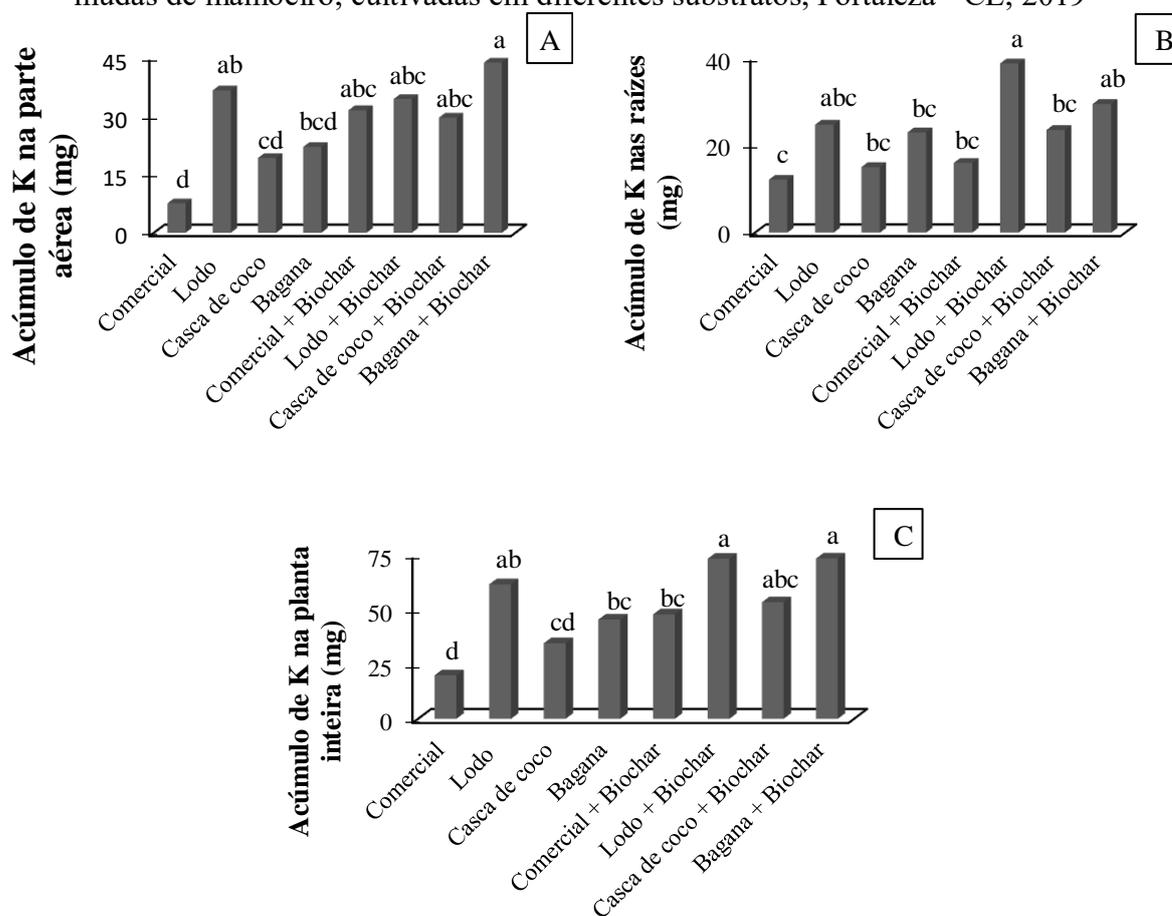
Fonte: Autora, 2020.

O maior acúmulo de fósforo nas mudas cultivadas com bagana de carnaúba está em conformidade com a composição desse substrato, o qual apresentou a concentração mais alta desse nutriente (Tabela 3), dentre os substratos testados. Em contrapartida, a elevada concentração de P no tratamento comercial + biochar não resultou em acúmulo superior do elemento nas plantas cultivadas nesse substrato, fato que ocorreu devido à reduzida produção de biomassa dessas mudas. Esse resultado sugere que o acúmulo de nutrientes nas plantas não

está condicionado apenas à disponibilidade de nutrientes, sendo o crescimento vegetal outro fator de extrema relevância.

Os substratos comercial, casca de coco verde e bagana de carnaúba propiciaram acúmulo inferior de potássio em todas as partes das plantas de mamoeiro (Figura 57). Ao se analisar a distribuição do K total das plantas cultivadas com bagana + biochar verificou-se que 60% se acumulou na parte aérea, enquanto 40% do K ficou acumulado no sistema radicular das mudas.

Figura 57 – Acúmulo de potássio na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



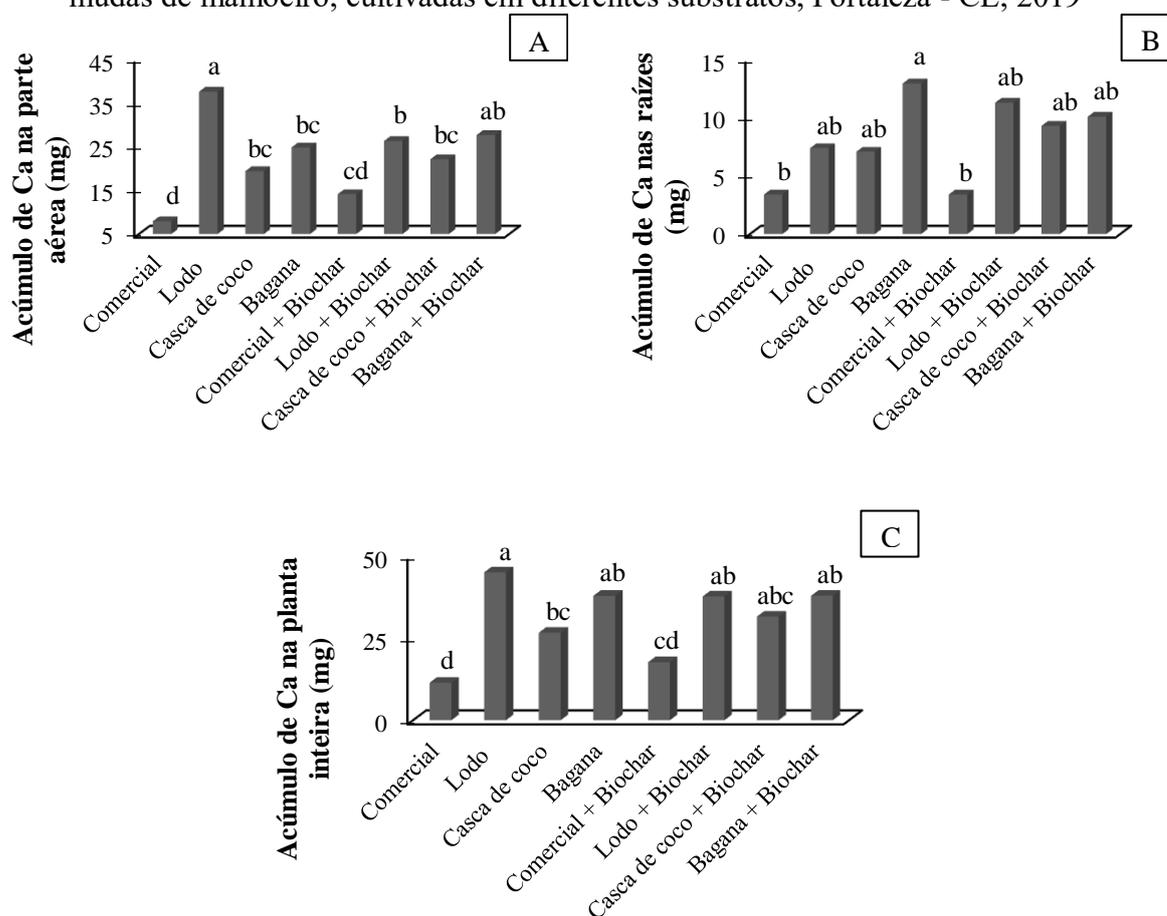
Fonte: Autora, 2020.

As plantas cultivadas com biochar apresentaram incremento no acúmulo total de potássio, em comparação com as mudas cultivadas sem esse material. Esse resultado corrobora o de Lima *et al.* (2016), em que aplicação de biocarvão promoveu aumento do teor de K nas folhas de angico. O maior acúmulo nas plantas cultivadas em substratos com biochar está em concordância com a elevada concentração de K desses tratamentos (Tabela 3). O biochar possui concentrações superiores de K e de N na sua composição, em comparação a diversos produtos usados para compor substratos hortícolas (CAVALCANTE *et al.*, 2012).

O potássio foi o macronutriente acumulado em maior quantidade na planta inteira de mamoeiro. Essa situação também ocorreu no experimento 1 do presente trabalho, quando as mudas foram cultivadas em sacos, e confirma a importância desse nutriente para o mamoeiro, além de indicar que o tipo de recipiente não interferiu no acúmulo de macronutrientes nas mudas. O K é um importante ativador enzimático, ativando mais de 60 enzimas, realiza a neutralização de ânions e promove a manutenção do potencial osmótico (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Os substratos comercial e comercial + biochar proporcionaram acúmulo inferior de cálcio em todas as partes das mudas de mamoeiro (Figura 58). Analisando a distribuição do Ca acumulado nas plantas cultivadas com lodo de esgoto observou-se que 84% se acumulou na parte aérea, ao passo que 16% do Ca ficou acumulado no sistema radicular das mudas.

Figura 58 – Acúmulo de cálcio na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



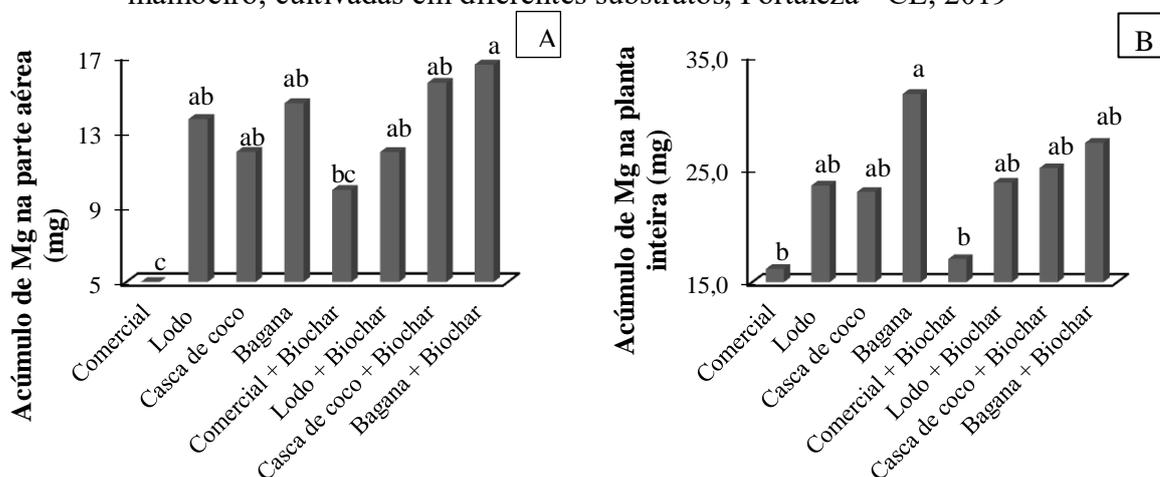
Fonte: Autora, 2020.

O tratamento casca de coco verde exibiu a maior concentração de cálcio (Tabela 3), todavia, o reduzido crescimento das plantas cultivadas nesse substrato fez com que o acúmulo total de Ca fosse inferior. De modo oposto, apesar de o lodo de esgoto ter

apresentado menor concentração de Ca, a maior produção de biomassa dessas plantas resultou em acúmulo superior de Ca em todas as partes das mudas. Outro fator que pode ter contribuído para o elevado acúmulo de Ca nas plantas cultivadas com lodo é a maior mineralização desse resíduo, visto que a quantidade de Ca mineralizada depende do material de origem (MALAVOLTA, 2006). Efeito positivo do lodo de esgoto sobre a quantidade de Ca no tecido vegetal, também foi obtido por Prates *et al.* (2011) em plantas de pinhão manso.

Os tratamentos comercial e comercial + biochar propiciaram acúmulo inferior de magnésio na parte aérea e na planta inteira de mamoeiro (Figura 59). Não houve diferença significativa no acúmulo de Mg nas raízes das mudas.

Figura 59 – Acúmulo de magnésio na parte aérea (A) e na planta inteira (B) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019

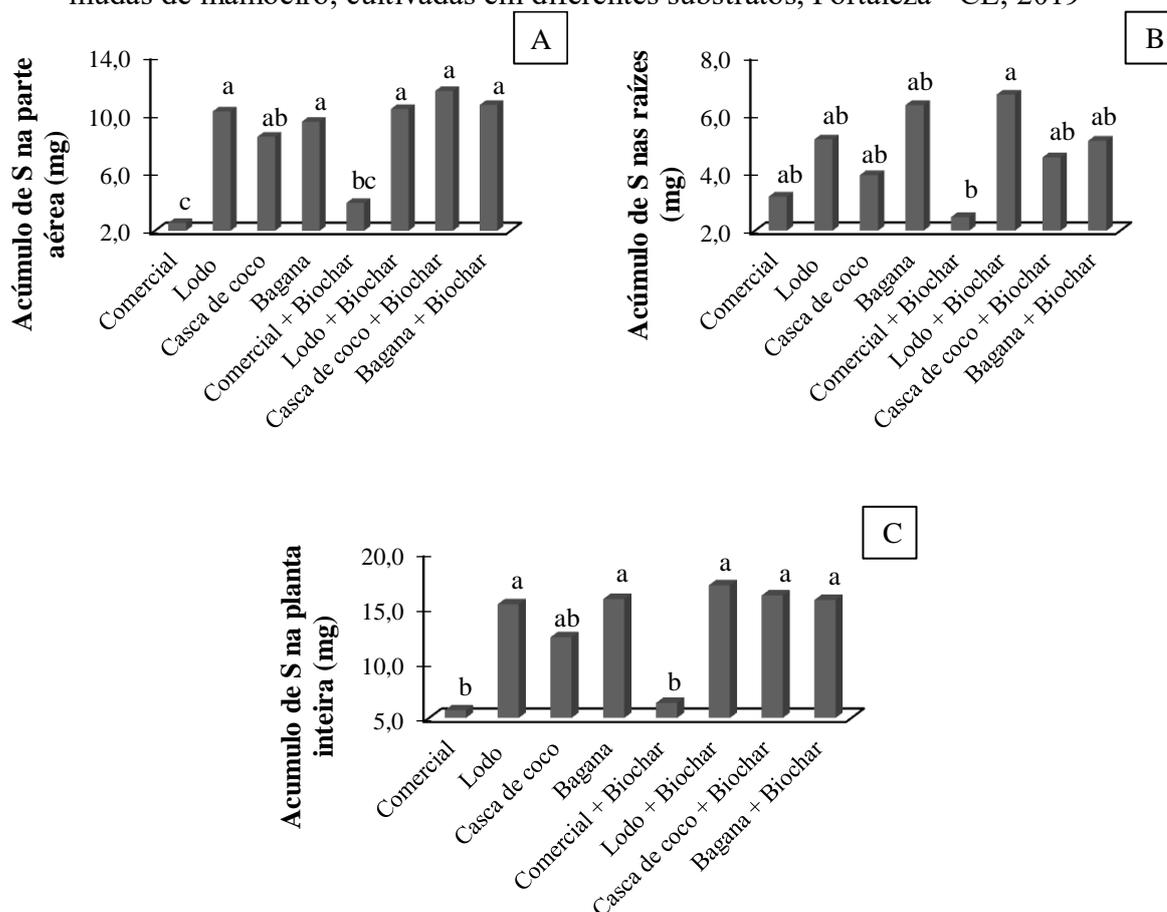


Fonte: Autora, 2020.

Embora os substratos casca de coco verde e casca de coco + biochar tenham apresentado as maiores concentrações de magnésio (Tabela 3), esses tratamentos também exibiram os valores mais altos de cálcio, fato que pode ter prejudicado a absorção do Mg pelas plantas, uma vez que elevadas concentrações de Ca podem diminuir a absorção de Mg (MALAVOLTA, 2006). Além disso, o menor crescimento das plantas cultivadas com casca de coco verde também influenciaram a menor absorção e acúmulo desse nutriente. O Mg é o átomo central da molécula de clorofila e desempenha papel em diversas reações da fotossíntese como ativação da enzima rubisco e da frutose 1,6-bifosfatase (EPSTEIN; BLOOM, 2006) sendo, por isso, essencial para a manutenção da fotossíntese nas plantas.

Os menores acúmulos de enxofre foram obtidos nas plantas cultivadas com os substratos comercial e comercial + biochar (Figura 60). Analisando-se a distribuição do S total acumulado nas plantas cultivadas com lodo + biochar verificou-se que 61% ficou acumulado na parte aérea, ao passo que 39% do S se acumulou nas raízes.

Figura 60 – Acúmulo de enxofre na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019

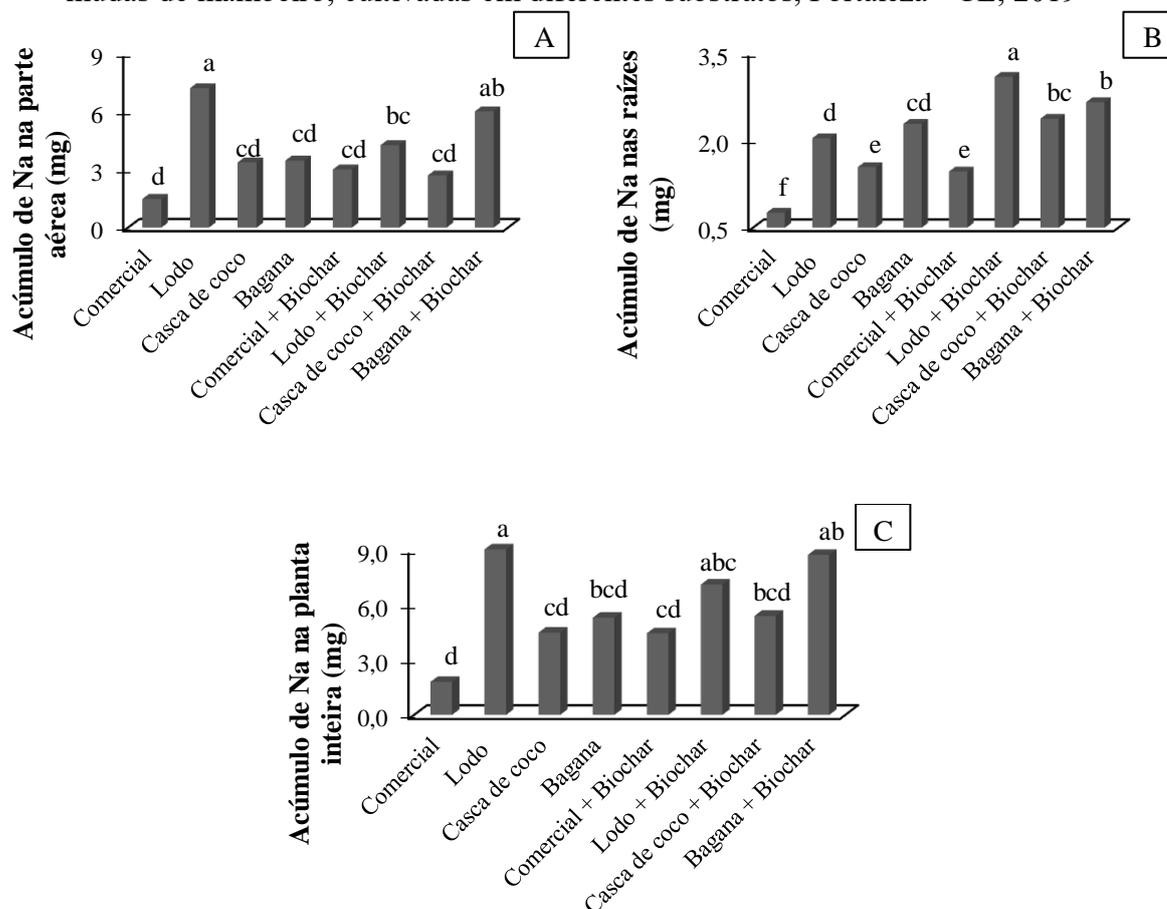


Fonte: Autora, 2020.

O tratamento lodo + biochar exibiu a menor concentração de enxofre dentre os substratos testados (Tabela 3); contudo, esse tratamento promoveu o maior acúmulo total do elemento. Esse fato ocorreu devido à maior produção de matéria seca das plantas cultivadas nesse substrato, uma vez quanto maior a biomassa produzida, maior será a absorção e o acúmulo de nutrientes. Esse resultado é semelhante ao observado por Rocha *et al.* (2013), em que o substrato formado por lodo de esgoto compostado promoveu acúmulo superior de S em mudas de eucalipto, enquanto o tratamento formado por substrato comercial proporcionou resultado inferior. Do mesmo modo, Backes *et al.* (2009) verificaram efeito positivo da aplicação de lodo de esgoto sobre a quantidade de S na parte aérea de plantas de mamoneira.

O substrato lodo de esgoto proporcionou acúmulo superior de sódio na planta inteira de mamoeiro, todavia, sem diferença estatística das mudas cultivadas com lodo + biochar e bagana + biochar (Figura 61). Ao se analisar distribuição do Na total acumulado nas mudas cultivadas com lodo de esgoto verificou-se que 78% se acumulou na parte aérea, ao passo que 22% do Na ficou acumulado nas raízes das plantas.

Figura 61 – Acúmulo de sódio na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

A adição de biocarvão aos substratos promoveu, de modo geral, incremento no acúmulo total de sódio nas mudas, com exceção das plantas cultivadas com lodo + biochar. Esse fato resulta da maior concentração do Na nos tratamentos com biochar na composição (Tabela 3) e do crescimento elevado das plantas cultivadas com esses substratos. Embora não seja nutriente, o Na pode substituir parte do K em funções não específicas de homeostase osmótica (EPSTEIN; BLOOM, 2006); todavia, neste estudo, as mudas que apresentaram acúmulo superior do Na também o fizeram para o K, o que sugere que não houve substituição.

O resultado obtido neste estudo contrasta com o observado por Akhtar *et al.* (2015), em que a adição de biochar reduziu a absorção do Na pelas plantas de trigo devido a ligação transitória desse material com o Na, o que ocorre pela alta capacidade de adsorção, promovendo a diminuição do estresse osmótico. Todavia, Toselli *et al.* (2020) ressaltam que as respostas dos vegetais à aplicação de biocarvão variam em função da espécie, das condições ambientais, do tipo de solo, das propriedades do biocarvão e de sua taxa de aplicação.

De modo geral, os tratamentos comercial e comercial + biochar promoveram os menores acúmulos de macronutrientes nas mudas. Esse fato resulta da menor concentração de nutrientes nesses substratos, principalmente no comercial Turfa Fértil<sup>®</sup>, e do reduzido crescimento dessas plantas, visto que a quantidade de nutrientes acumulados é proporcional à produção de biomassa da planta e varia em função da espécie e da eficiência de absorção (FAVERO *et al.*, 2000).

Os substratos com biocarvão promoveram resultado superior no acúmulo total de macronutrientes, com exceção do comercial + biochar, o qual apesar de ter propiciado acúmulo inferior nas mudas, promoveu incrementos em comparação ao tratamento comercial. O biochar, quando incorporado a resíduos orgânicos estabilizados ou quando utilizado como agente de compostagem, promove interações sinérgicas, sendo capaz de aumentar a estabilidade do composto e de melhorar a disponibilidade de nutrientes (TOSELLI *et al.*, 2020). Logo, a utilização de biochar traz inúmeros benefícios, constituindo uma estratégia ambientalmente correta para a melhoria da fertilidade e uma alternativa de redução dos impactos negativos causados pelo descarte inadequado de resíduos (GONZAGA *et al.*, 2019).

O acúmulo de macronutrientes na parte aérea das mudas ocorreu na seguinte ordem decrescente: K, Ca, N, Mg, S e P. Esse fato corrobora o resultado obtido no experimento 1 deste trabalho, com exceção do N, o qual não foi possível de analisar; todavia, difere do observado por Oliveira *et al.* (2009), cuja ordem de absorção de macronutrientes pela parte aérea de plantas adultas de mamoeiro no primeiro ano de cultivo teve o N como o segundo macronutriente mais absorvido pela cultura. Essa diferença em relação ao N pode ter ocorrido pelas distintas épocas de avaliação, visto que a absorção e o acúmulo de nutrientes variam em função dos estádios das plantas e, neste estudo, o tecido foliar foi avaliado quando a planta possuía 2 meses, enquanto Oliveira *et al.* (2009) realizaram a análise aos 12 meses.

Ao verificar a análise de variância para o acúmulo dos micronutrientes ferro, zinco, manganês, cobre e níquel na parte aérea, no sistema radicular e na planta inteira de mamoeiro observou-se que nas raízes e na planta inteira apenas o ferro não apresentou resposta significativa, a 1% de probabilidade pelo teste F, enquanto na parte aérea todos os elementos avaliados foram influenciados significativamente, em função dos tratamentos aplicados (Tabelas 25, 26 e 27).

Tabela 25 - Resumo da análise de variância para o acúmulo de ferro, zinco, manganês, cobre e níquel na parte aérea de mudas de mamoeiro, Fortaleza- CE, 2019

| Fontes de Variação | Quadrado Médio |         |        |       |       |        |
|--------------------|----------------|---------|--------|-------|-------|--------|
|                    | GL             | Fe      | Zn     | Mn    | Cu    | Ni     |
| Tratamentos        | 3              | 67395** | 5327** | 670** | 153** | 3199** |
| Resíduo            | 16             | 3.803   | 367    | 120   | 12    | 48     |
| Total              | 19             | -       | -      | -     | -     | -      |
| Média Geral        | -              | 153,0   | 55,7   | 42,9  | 15,2  | 18,7   |
| CV (%)             | -              | 40,2    | 34,4   | 22,5  | 22,9  | 37,2   |

\*\* = Significativo a 1 % pelo teste F.

Fonte: Autora, 2020.

Tabela 26 - Resumo da análise de variância para o acúmulo de ferro, zinco, manganês, cobre e níquel nas raízes de mudas de mamoeiro, Fortaleza- CE, 2019

| Fontes de Variação | Quadrado Médio |                         |           |         |          |           |
|--------------------|----------------|-------------------------|-----------|---------|----------|-----------|
|                    | GL             | Fe                      | Zn        | Mn      | Cu       | Ni        |
| Tratamentos        | 3              | 7.692.052 <sup>ns</sup> | 314.581** | 5.561** | 57.016** | 111.106** |
| Resíduo            | 16             | 4.791.320               | 13.483    | 11311   | 2.927    | 2.239     |
| Total              | 19             | -                       | -         | -       | -        | -         |
| Média Geral        | -              | 1.424,5                 | 228,5     | 64,0    | 78,0     | 94,3      |
| CV (%)             | -              | 153,7                   | 50,8      | 52,5    | 69,4     | 50,2      |

\*\* = Significativo a 1 % pelo teste F e, <sup>ns</sup> = não significativo.

Fonte: Autora, 2020.

Tabela 27 - Resumo da análise de variância para o acúmulo de ferro, zinco, manganês, cobre e níquel na planta inteira de mudas de mamoeiro, Fortaleza- CE, 2019

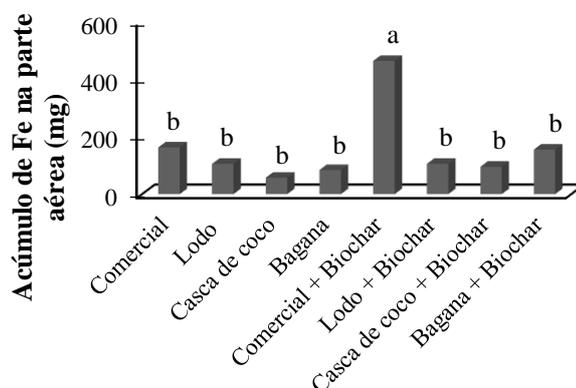
| Fontes de Variação | Quadrado Médio |                         |           |         |          |           |
|--------------------|----------------|-------------------------|-----------|---------|----------|-----------|
|                    | GL             | Fe                      | Zn        | Mn      | Cu       | Ni        |
| Tratamentos        | 3              | 7.679.985 <sup>ns</sup> | 362.524** | 6.856** | 60.757** | 149.489** |
| Resíduo            | 16             | 4.899.531               | 18.155    | 1.458   | 3.000    | 2.468     |
| Total              | 19             | -                       | -         | -       | -        | -         |
| Média Geral        | -              | 1.577,4                 | 295,2     | 107,0   | 93,1     | 113,0     |
| CV (%)             | -              | 140,3                   | 45,7      | 35,7    | 58,8     | 43,93     |

\*\* = Significativo a 1 % pelo teste F e, <sup>ns</sup> = não significativo.

Fonte: Autora, 2020.

O tratamento comercial + biochar proporcionou acúmulo superior de ferro na parte aérea das mudas de mamoeiro, enquanto as menores médias para o acúmulo de ferro foram obtidas nas plantas cultivadas com casca de coco verde e com bagana de carnaúba (Figura 62).

Figura 62 – Acúmulo de ferro na parte aérea de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019

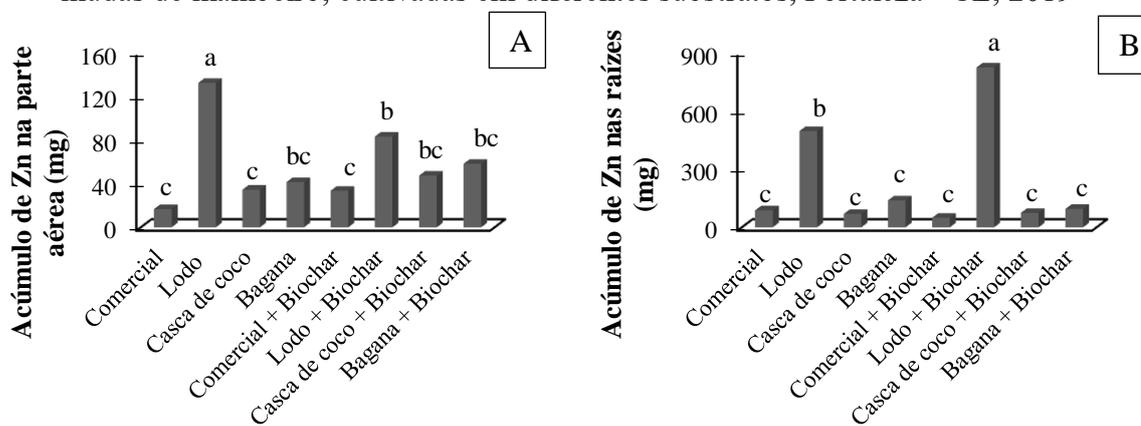


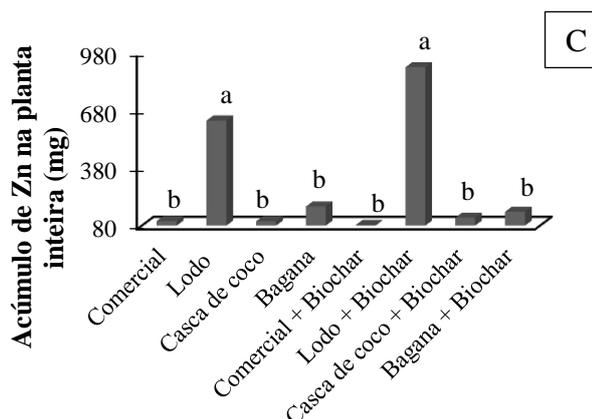
Fonte: Autora, 2020.

Embora a adição de biochar não tenha promovido aumento da concentração de ferro nos tratamentos (Tabela 3), houve incremento no acúmulo de Fe nas plantas cultivadas com biocarvão, o que confirma o potencial do biochar em aumentar a absorção de nutrientes. O Fe foi o micronutriente acumulado em maior quantidade na parte aérea das mudas. Esse resultado corrobora o obtido no experimento 1 deste trabalho e, reafirma a importância do Fe para a cultura, visto que é o micronutriente com maior taxa de absorção pela parte aérea do mamoeiro (OLIVEIRA *et al.*, 2009). O Fe participa da síntese de clorofila, do transporte de elétrons e da assimilação e fixação biológica do N (MALAVOLTA, 2006).

O substrato lodo de esgoto promoveu acúmulo superior de zinco na parte aérea e na planta inteira, enquanto o tratamento lodo + biochar propiciou resultado superior nas raízes na planta inteira de mamoeiro (Figura 63). Avaliando a distribuição do acúmulo total de Zn nas mudas cultivadas com lodo + biochar verificou-se que 9% ficou acumulado na parte aérea, ao passo que 91% se acumulou nas raízes.

Figura 63 – Acúmulo de zinco na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019





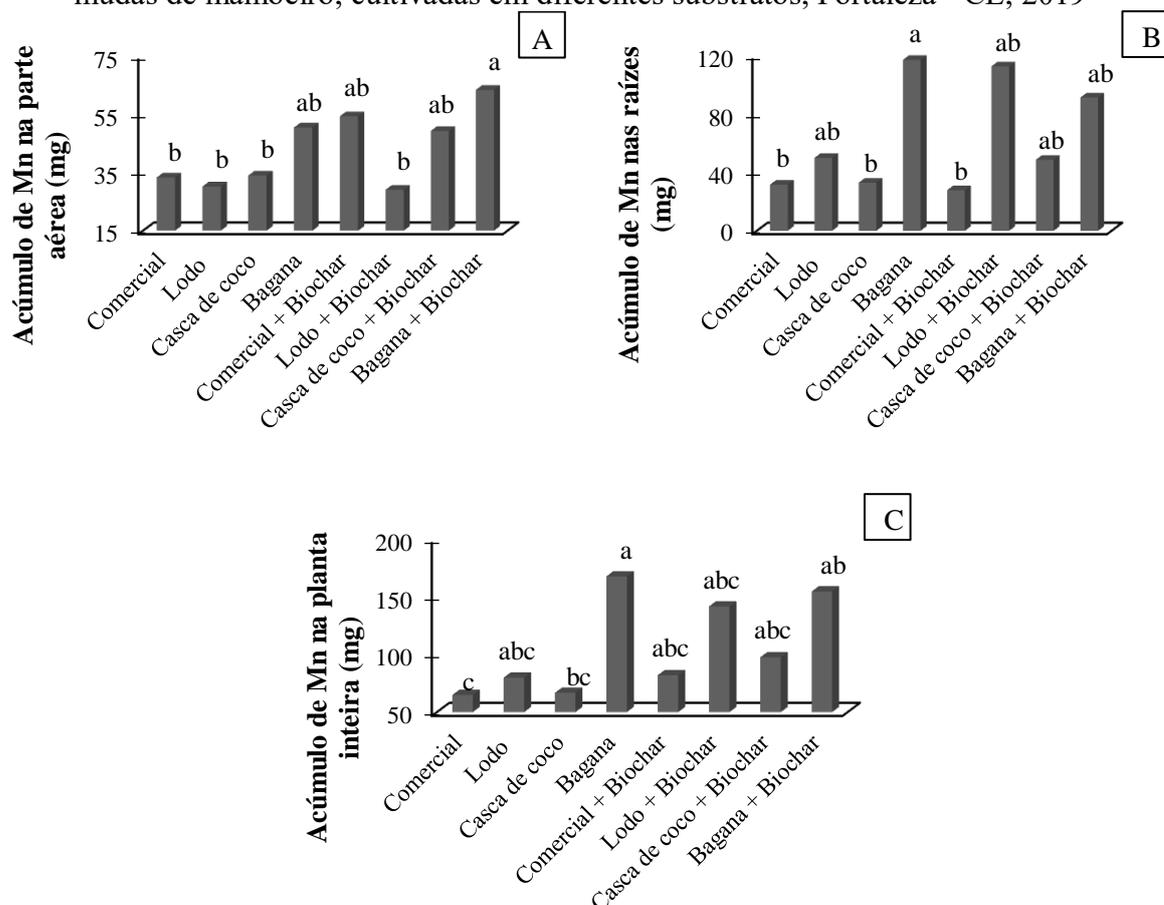
Fonte: Autora, 2020.

Apesar de a análise química dos substratos ter quantificado o zinco apenas no lodo de esgoto e no lodo + biochar (Tabela 3), a avaliação dos tecidos das mudas detectou a presença do elemento nas plantas cultivadas em todos os substratos. Esse fato ocorreu, possivelmente, pela mineralização do Zn durante o experimento e/ou pela capacidade das plantas de absorver uma fração maior de elementos do que apenas a concentração solúvel em água. O maior acúmulo de Zn nas mudas cultivadas com lodo de esgoto e lodo + biochar é consequência da maior concentração do nutriente nesses tratamentos, visto que o biossólido é uma das fontes de Zn com maior concentração desse metal (MALAVOLTA, 2006).

O zinco se concentra em maior quantidade nas raízes, enquanto nos demais órgãos da planta seu conteúdo é sempre baixo (FERNANDES *et al.*, 2018). Situação verificada neste trabalho e também por Mesquita *et al.* (2006) em estudo da remediação de solos tratados com lodo de esgoto rico em Zn. Os autores verificaram que a quantidade de Zn nas plantas de arroz cultivadas em um Latossolo Vermelho-Amarelo foi de 1,5 a 1,8 vezes superiores nas raízes do que na parte aérea, concluindo que o acúmulo do metal nas raízes atuou como importante mecanismo de tolerância, para evitar a transferência do elemento para a parte aérea das plantas.

Os tratamentos comercial e casca de coco verde proporcionaram acúmulo inferior de manganês em todas as partes das mudas de mamoeiro (Figura 64). Ao se avaliar a distribuição do Mn nas plantas cultivadas com bagana de carnaúba verificou-se que 30% se acumulou na parte aérea, ao passo que 70% do Mn ficou acumulado no sistema radicular das mudas.

Figura 64 – Acúmulo de manganês na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019

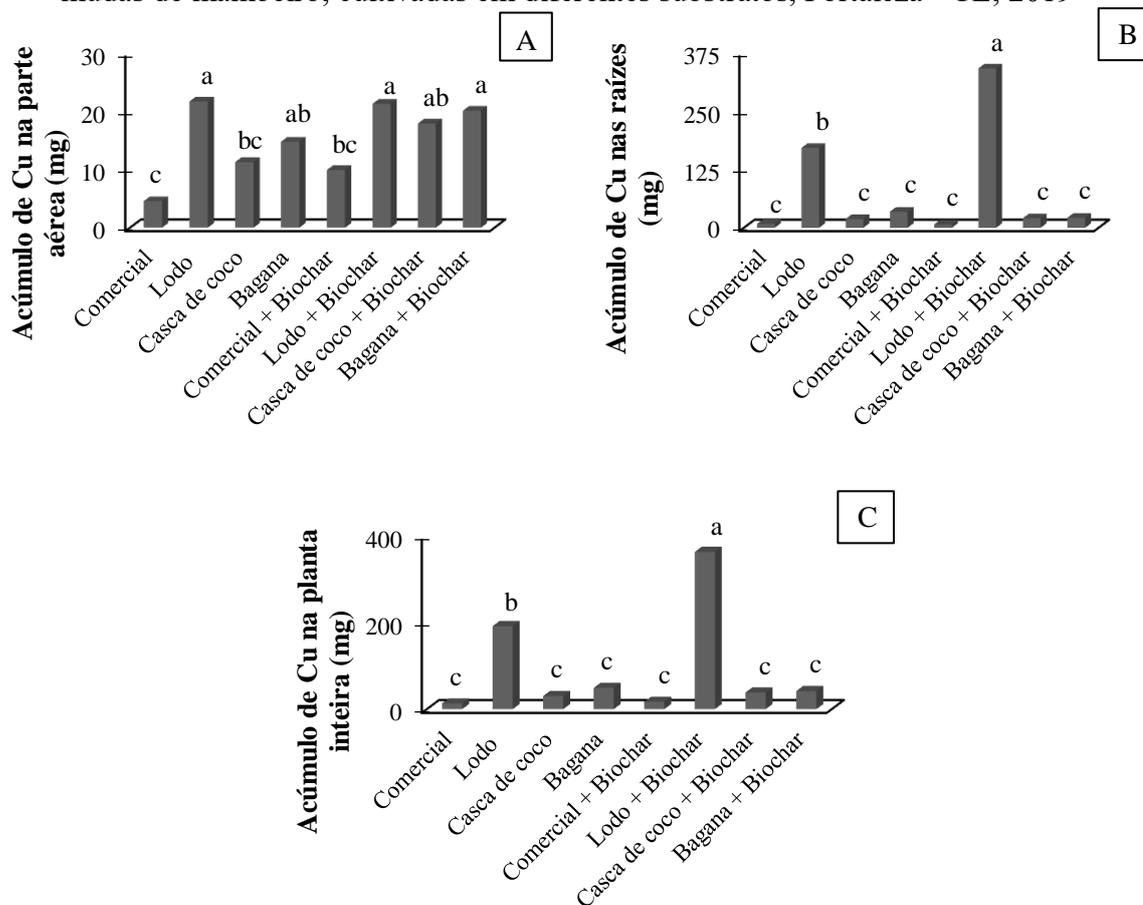


Fonte: Autora, 2020.

O substrato comercial exibiu a maior concentração de manganês dentre os tratamentos testados (Tabela 3); entretanto, o reduzido crescimento das plantas cultivadas nesse substrato promoveu acúmulo inferior de Mn. Outro fator que colaborou para o menor acúmulo desse metal nas mudas do substrato comercial foi a maior concentração de Fe desse tratamento, visto que o Fe inibe competitivamente a absorção do Mn (MALAVOLTA, 2006). O maior acúmulo de Mn nas raízes das plantas cultivadas com lodo, bagana, lodo + biochar e bagana + biochar sugere que pode ter ocorrido excesso desse elemento, sendo seu acúmulo tóxico para a maioria das plantas; todavia, o nível considerado tóxico varia em função da espécie, do cultivar e das condições do ambiente (FERNANDES *et al.*, 2018).

Os tratamentos comercial, casca de coco verde e comercial + biochar promoveram acúmulo inferior de cobre em todas as partes do mamoeiro (Figura 65). Analisando a distribuição do Cu nas mudas cultivadas com lodo + biochar observou-se que 6% do Cu se acumulou na parte aérea, ao passo que 94% ficou acumulado nas raízes das mudas.

Figura 65 – Acúmulo de cobre na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019

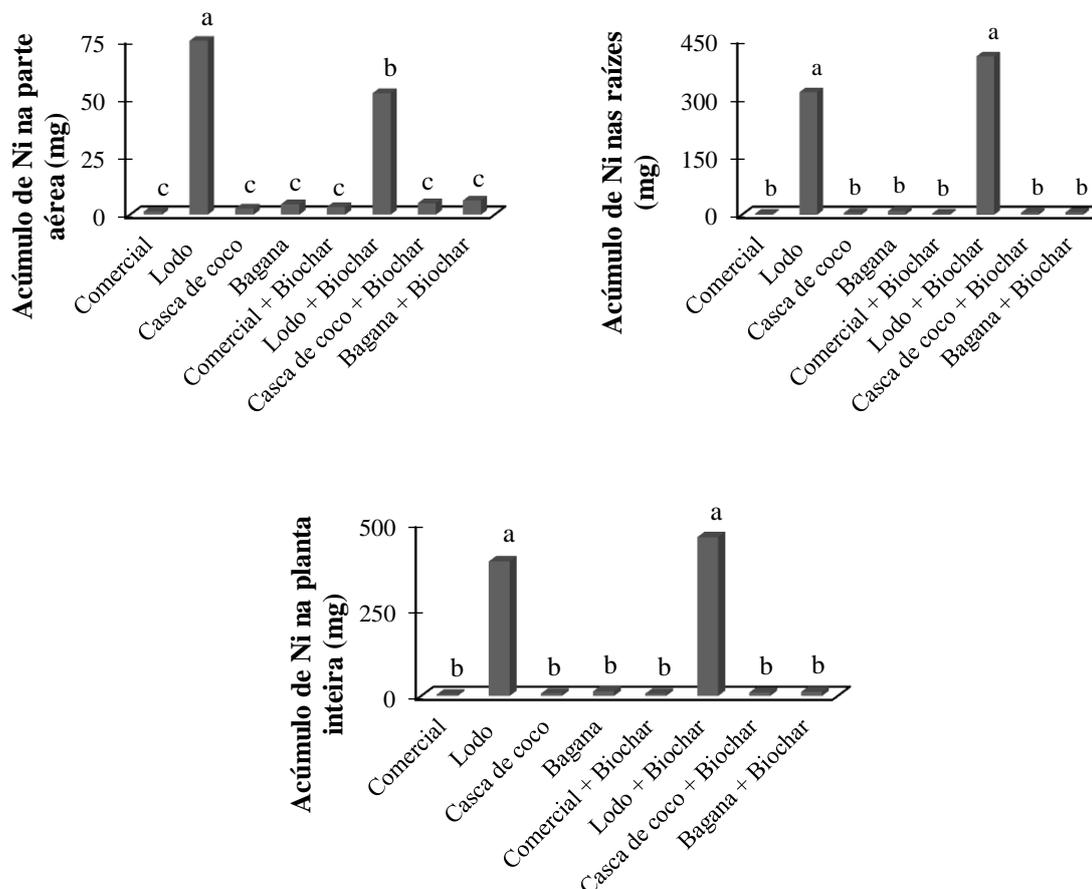


Fonte: Autora, 2020.

Os substratos lodo de esgoto e lodo + biochar exibiram igual concentração de cobre em sua composição (Tabela 3); todavia, apenas o lodo + biochar promoveu acúmulo total superior desse metal. Tal situação pode ter ocorrido em virtude da maior concentração de Zn no tratamento lodo de esgoto. Elevados valores de Zn podem reduzir a absorção de Cu, visto que esses dois nutrientes são absorvidos pelo mesmo carregador ou canal proteico, o que promove a competição desses elementos pelos mesmos sítios de absorção (MALAVOLTA, 2006). O Cu, quando presente em grandes quantidades, é muito tóxico as plantas (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Os substratos lodo de esgoto e lodo + biochar promoveram resultado superior para o acúmulo de níquel nas raízes e na planta inteira de mamoeiro, (Figura 66). Ao se analisar a distribuição do Ni nas mudas cultivadas com lodo + biochar verificou-se que 11% ficou acumulado na parte aérea, ao passo que 89% do Ni se acumulou nas raízes das mudas.

Figura 66 – Acúmulo de níquel na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

Apesar de os substratos comercial, comercial + biochar, bagana de carnaúba e bagana + biochar não terem apresentado níquel na composição (Tabela 3), a análise das plantas identificou a presença desse metal no tecido de todas mudas. O maior acúmulo de Ni nas plantas cultivadas com lodo de esgoto e lodo + biochar é decorrente dos maiores valores do metal nesses substratos, tendo em vista que o lodo de esgoto é a fonte que possui uma das maiores concentrações de Ni (MALAVOLTA, 2006). Elevada concentração de Ni no biossólido também foi observada por Silva *et al.* (1998).

De forma diferente ao que ocorreu com os macronutrientes, a adição de biocarvão aos substratos não promoveu incremento no acúmulo de todos os micronutrientes, cujo resultado variou em função do tipo de resíduo. De modo geral, para o acúmulo total de micronutrientes a adição biochar aos substratos comercial e bagana de carnaúba promoveu redução no acúmulo, enquanto para os tratamentos lodo de esgoto e casca de coco verde houve aumento no acúmulo com a utilização de biochar. As causas desse efeito do biochar sobre os micronutrientes precisam ser melhores investigadas.

O acúmulo total de micronutrientes nas mudas ocorreu na seguinte ordem decrescente: Fe > Zn > Ni > Cu > Mn. Esse resultado difere do obtido no experimento 1 desta pesquisa para a produção de mudas em sacos e, também do resultado observado por Oliveira *et al.* (2009) para a quantidade de micronutrientes absorvidos pela parte aérea de plantas de mamoeiro no primeiro ano de cultivo; porém, o Ni não foi avaliado por esses autores. Os diferentes recipientes utilizados nos experimentos 1 e 2 deste trabalho podem ter colaborado para a alteração na ordem de acúmulo, como também o tempo de condução de ambas as pesquisas. O experimento em sacos teve maior duração, o que propiciou maior crescimento das mudas e, provavelmente, alterou a ordem de absorção dos micronutrientes.

O acúmulo de micronutrientes, de modo geral, seguiu a mesma tendência da produção de biomassa seca das plantas, sendo que os tratamentos contendo lodo exibiram riqueza desses nutrientes, com as maiores concentrações de Zn, Cu e Ni, o que se refletiu no maior acúmulo desses elementos nas mudas. Essa situação é semelhante à verificada por Silva *et al.* (1998), em que o lodo de esgoto atuou como fonte de Cu e Zn, promovendo aumento na concentração desses metais no solo. Os micronutrientes se acumularam em maior quantidade nas raízes das mudas de mamoeiro, sugerindo que pode ter ocorrido excesso desses elementos, fato que corrobora o trabalho de Zelaya *et al.* (2019), em que o biochar de lodo promoveu maior quantidade de micronutrientes nas raízes das mudas de beterraba.

A análise de variância para o acúmulo de metais pesados revelou que na parte aérea e na planta inteira de mamoeiro todos os elementos avaliados apresentaram respostas significativas, enquanto nas raízes apenas o arsênio não foi influenciado significativamente pelos tratamentos aplicados (Tabelas 28, 29 e 30). Não foi quantificado o acúmulo do As na parte aérea das plantas, pois, a análise de teores não detectou a presença desse metal no tecido da parte aérea.

Tabela 28 - Resumo da análise de variância para o acúmulo de alumínio, cromo, chumbo e selênio na parte aérea de mudas de mamoeiro, Fortaleza- CE, 2019

| Fontes de Variação | Quadrado Médio |             |      |       |       |
|--------------------|----------------|-------------|------|-------|-------|
|                    | GL             | Al          | Cr   | Pb    | Se    |
| Tratamentos        | 3              | 6.488.829** | 12** | 4*    | 5**   |
| Resíduo            | 16             | 726.687,1   | 1,2  | 1,3   | 0,4   |
| Total              | 19             | -           | -    | -     | -     |
| Média Geral        | -              | 1.367,1     | 3,2  | 1,0   | 0,5   |
| CV (%)             | -              | 62,4        | 36,9 | 108,1 | 126,4 |

\*, \*\* = Significativo a 5% e a 1 % pelo teste F, respectivamente.

Fonte: Autora, 2020.

Tabela 29 - Resumo da análise de variância para o acúmulo de alumínio, arsênio, cromo, chumbo e selênio nas raízes de mudas de mamoeiro, Fortaleza- CE, 2019

| Fontes de Variação | Quadrado Médio |              |                 |       |      |      |
|--------------------|----------------|--------------|-----------------|-------|------|------|
|                    | GL             | Al           | As              | Cr    | Pb   | Se   |
| Tratamentos        | 3              | 10.585.009** | 2 <sup>ns</sup> | 190** | 14** | 52** |
| Resíduo            | 16             | 1.219.049    | 1               | 13    | 1    | 2    |
| Total              | 19             | -            | -               | -     | -    | -    |
| Média Geral        | -              | 1.747,5      | 1,0             | 4,7   | 2,3  | 2,8  |
| CV (%)             | -              | 63,2         | 107,2           | 76,4  | 49,2 | 48,3 |

\*\* = Significativo a 1 % pelo teste F e, <sup>ns</sup> = não significativo.

Fonte: Autora, 2020.

Tabela 30 - Resumo da análise de variância para o acúmulo de alumínio, cromo, chumbo e selênio na planta inteira de mudas de mamoeiro, Fortaleza- CE, 2019

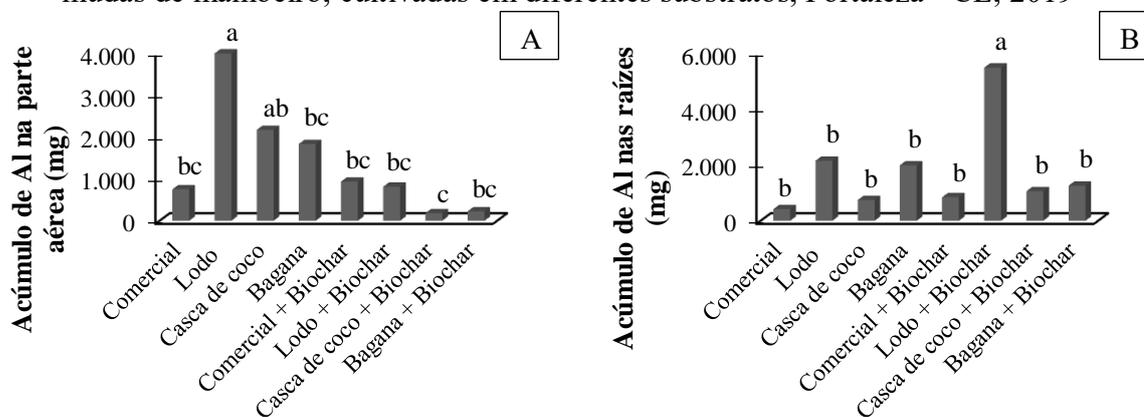
| Fontes de Variação | Quadrado Médio |            |       |      |      |
|--------------------|----------------|------------|-------|------|------|
|                    | GL             | Al         | Cr    | Pb   | Se   |
| Tratamentos        | 3              | 18096973** | 249** | 26** | 78** |
| Resíduo            | 16             | 1.273.372  | 16    | 3    | 1    |
| Total              | 19             | -          | -     | -    | -    |
| Média Geral        | -              | 3.114,7    | 7,9   | 3,4  | 3,3  |
| CV (%)             | -              | 36,2       | 51,1  | 48,8 | 36,0 |

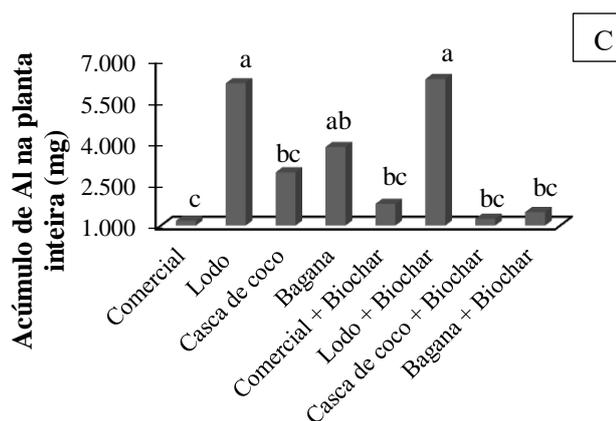
\*\* = Significativo a 1 % pelo teste F.

Fonte: Autora, 2020.

As plantas cultivadas com os substratos lodo de esgoto e lodo + biochar apresentaram resultado superior para o acúmulo total de alumínio, contudo sem diferir das mudas cultivadas com bagana de carnaúba (Figura 67). Ao se analisar a distribuição do Al nas mudas cultivadas com lodo + biochar observou-se que 13% se acumulou na parte aérea, ao passo que 87% do Al ficou acumulado nas raízes das mudas.

Figura 67 – Acúmulo de alumínio na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



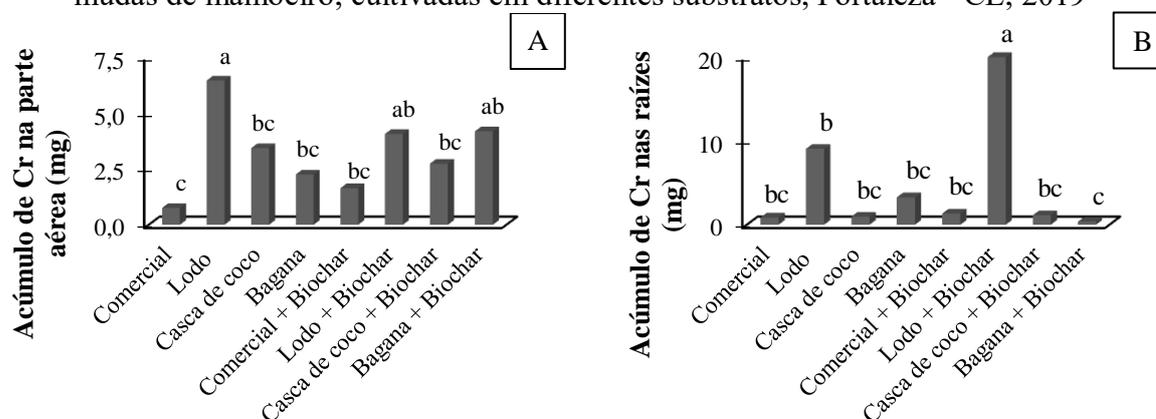


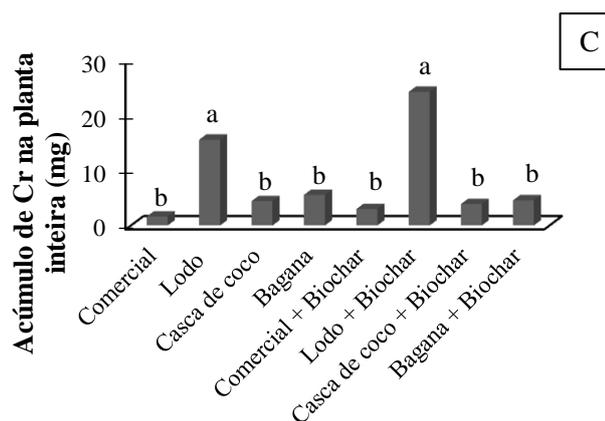
Fonte: Autora, 2020.

Os substratos lodo de esgoto, bagana de carnaúba e lodo + biochar exibiram maiores concentrações de alumínio (Tabela 3), fato que juntamente com o elevado crescimento dessas plantas explica o acúmulo total superior de Al. O maior acúmulo do elemento nas raízes observado neste estudo corrobora com Salvador *et al.* (2000) e Malavolta (2006), que indicam que esse órgão vegetal é o mais prejudicado pela toxidez de Al, uma vez que é o tecido em que se encontram os teores mais altos do elemento. Não foram verificados sintomas de toxidez nas mudas de mamoeiro que exibiram acúmulo superior, visto que não houve redução do crescimento radicular.

Os substratos lodo de esgoto e lodo + biochar promoveram resultado superior para o acúmulo total de cromo nas mudas (Figura 68). Ao se analisar a distribuição do Cr acumulado no mamoeiro cultivado com lodo + biochar observou-se que 17% ficou acumulado na parte aérea, ao passo que 83% do Cr se acumulou nas raízes das mudas.

Figura 68 – Acúmulo de cromo na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019





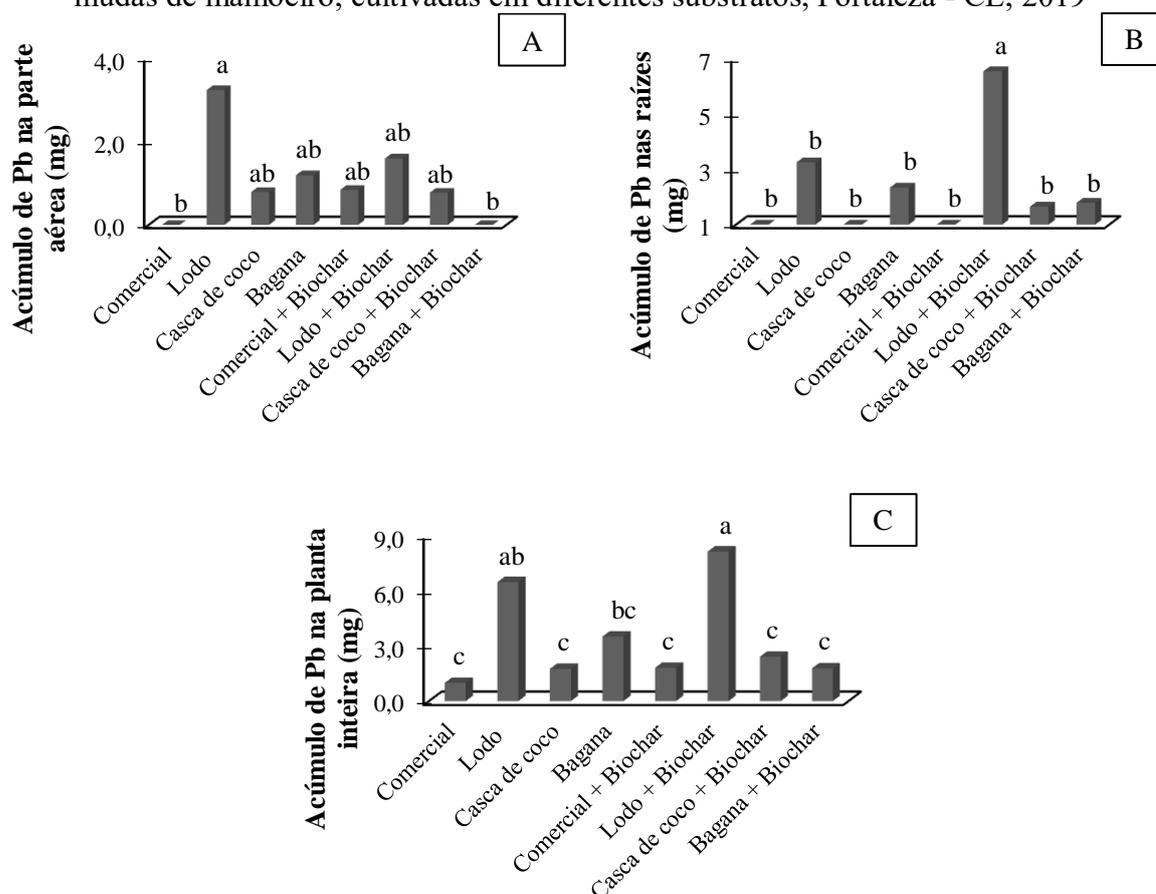
Fonte: Autora, 2020.

Os materiais lodo de esgoto, esterco de galinha e adubos minerais empregados na produção dos substratos são fontes de cromo (MALAVOLTA, 2006), por isso, a concentração desse metal foi semelhante em quase todos os tratamentos (Tabela 3). De modo semelhante, Berilli *et al.* (2016) verificaram que mesmo as mudas de café cultivadas com substratos convencionais, sem a presença do lodo de curtume, exibiram valores consideráveis de Cr nos tecidos, principalmente nas raízes, o que indica a presença natural deste metal no solo, húmus e em adubos químicos. Diante desses aspectos, constatou-se que o acúmulo do Cr nas mudas ocorreu em função da produção de matéria seca, uma vez que as plantas cultivadas com lodo de esgoto e lodo + biochar apresentaram bom crescimento e acúmulo superior do elemento.

O maior acúmulo de cromo nas raízes das mudas cultivadas nos substratos comercial, lodo de esgoto, bagana de carnaúba e lodo + biochar corrobora as indicações de Malavolta (2006), que relata que maior quantidade desse elemento permanece no sistema radicular das plantas. Nessa perspectiva, Nogueira *et al.* (2008) não detectaram Cr na palha, no sabugo e nos grãos de milho e, atribuíram o reduzido transporte desse metal na planta ao mecanismo de tolerância ao excesso de Cr. O elevado acúmulo do Cr nas raízes pode ocorrer devido à presença de ácidos orgânicos nos exsudados das raízes, os quais são ligados ao metal e limitam seu transporte para a parte aérea das plantas (RATHEESH *et al.*, 2010).

As mudas cultivadas nos substratos lodo de esgoto e lodo + biochar apresentaram resultado superior para o acúmulo total de chumbo (Figura 69). Avaliando-se a distribuição do Pb acumulado nas plantas cultivadas no substrato lodo + biochar verificou-se que 20% se acumulou na parte aérea, enquanto 80% do Pb se acumulou nas raízes das mudas.

Figura 69 – Acúmulo de chumbo na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

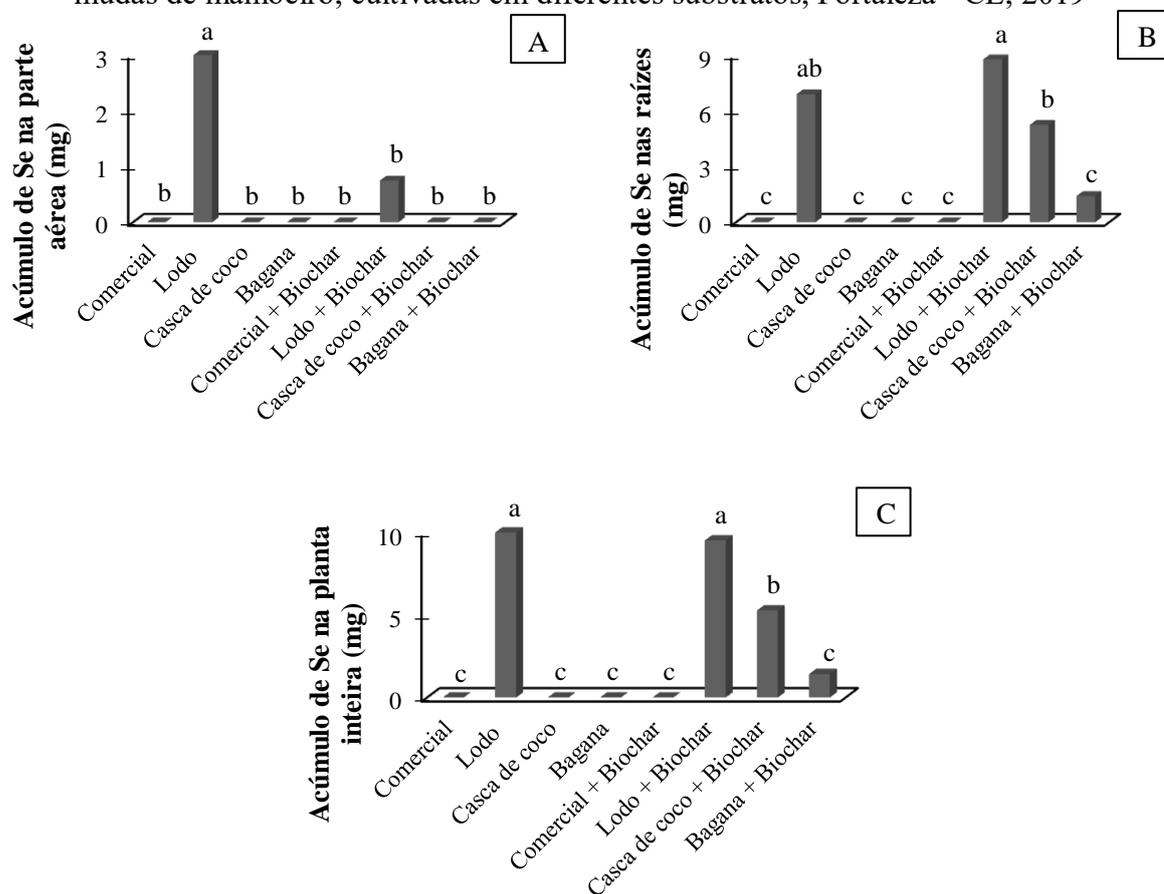
Apesar da análise química dos substratos não ter detectado concentrações de chumbo (Tabela 3), as mudas cultivadas em todos os substratos foram capazes de absorver e acumular esse elemento em seus tecidos. O acúmulo superior do Pb nas mudas cultivadas nos tratamentos contendo lodo de esgoto sugere que esse resíduo exibiu maior concentração do metal, visto que o lodo de esgoto é uma das fontes consideráveis do Pb (MALAVOLTA, 2006), conforme foi observado por Nogueira *et al.* (2008), em que o lodo de esgoto promoveu maior acúmulo de Cr e Pb em plantas de milho.

As mudas de todos os tratamentos apresentaram maior acúmulo nas raízes do que na parte aérea, situação que corrobora o trabalho de Boffe *et al.* (2017), em que o acúmulo de Pb foi maior no sistema radicular de plantas de girassol e, evidencia o intenso acúmulo desse metal pesado no sistema radicular das plantas. O elevado acúmulo do Pb nas raízes tem relação com a afinidade desse metal pelas cargas negativas resultantes da dissociação dos grupos carboxílicos dos ácidos orgânicos da parede celular das raízes (ALVES *et al.*, 2008).

Os substratos lodo de esgoto e lodo + biochar promoveram acúmulo total superior de selênio (Figura 70). Não foi detectada a presença do Se nas plantas cultivadas nos

substratos comercial, casca de coco verde, bagana de carnaúba e comercial + biochar. Ao se analisar a distribuição do Se nas mudas cultivadas com lodo + biochar verificou-se que 10% se acumulou na parte aérea, enquanto 90% do Se ficou acumulado nas raízes das plantas.

Figura 70 – Acúmulo de selênio na parte aérea (A), nas raízes (B) e na planta inteira (C) de mudas de mamoeiro, cultivadas em diferentes substratos, Fortaleza - CE, 2019



Fonte: Autora, 2020.

O acúmulo superior de selênio nas mudas cultivadas nos substratos lodo de esgoto e lodo + biochar ocorreu devido à elevada produção de biomassa seca dessas plantas e à maior concentração de Se nos substratos (Tabela 3), tendo em vista que o lodo de esgoto é uma das fontes mais expressivas do Se (MALAVOLTA, 2006). O selênio pode ser tóxico aos vegetais, sendo que sua importância para as plantas ainda não está bem esclarecida (LAMEGO; VIDAL, 2007); todavia, para os seres humanos é considerado um elemento benéfico.

Os tratamentos com lodo de esgoto promoveram acúmulo superior de metais pesados nas mudas de mamoeiro; contudo, a concentração desses elementos no biossólido esteve dentro do permitido pela resolução nº 375/2006 (CONAMA) para o emprego de lodo de esgoto como substrato (Tabela 1). Esses baixos valores de metais pesados sugerem que após o transplântio da muda para o campo, o substrato lodo não irá promover a contaminação do solo. Entretanto, Silva *et al.* (1998) ressaltam que apesar de o uso do lodo de esgoto com

baixas concentrações de metais não ocasionar problemas de contaminação do solo a curto prazo, estudos de longo prazo devem ser realizados.

#### ***4.2.4 Considerações finais***

Diante dos resultados expostos, pôde-se observar que a bagana de carnaúba promoveu a formação de mudas de boa qualidade, semelhante ao que ocorreu no experimento 1 desta pesquisa. Esse resultado confirma o potencial da bagana de carnaúba para uso como substrato alternativo na produção de mudas. Em contrapartida, a casca de coco verde produziu mudas com qualidade inferior, contrariando os resultados do experimento 1. Essa situação evidencia que para a produção de mudas de mamoeiro em bandejas não é indicado usar casca de coco de modo isolado, sendo sugerido se associar a outros materiais, visto que quando se adicionou biochar a esse resíduo houve incremento nas variáveis biométricas e nutricionais.

O substrato comercial não se mostrou adequado para a produção das mudas de mamoeiro em bandejas de poliestireno, de modo semelhante ao que ocorreu para a produção de mudas em sacos de polietileno (experimento 1). Essa situação ratifica a ineficiência do substrato comercial para a produção de mudas de mamoeiro, independente do recipiente utilizado, e evidencia que uma possível solução seja a utilização desse substrato em conjunto com a adubação, uma vez que o seu uso em associação com o biocarvão não foi eficiente para a produção de mudas com qualidade superior.

De modo diferente ao ocorrido no experimento 1, o lodo de esgoto utilizado de forma isolada ou em conjunto com o biochar foi eficiente para a produção das mudas de mamoeiro em bandejas. Esse desempenho positivo do lodo ocorreu, possivelmente, devido ao menor tamanho do recipiente usado, situação que reduziu o volume de substrato em contato com as plantas e, conseqüentemente, restringiu a quantidade de micronutrientes absorvidos pelas raízes, reduzindo as chances de toxidez pelo excesso desses elementos e de metais pesados. Esse resultado demonstra a importância do recipiente para a produção de mudas, visto que o mesmo substrato promoveu respostas distintas em função do recipiente usado.

A adição de biocarvão produzido a partir da fibra de coco verde, na proporção de 10% do volume do substrato, foi benéfica em todos os tratamentos. Esse fato ficou comprovado pelo aumento das variáveis de crescimento e pela melhoria das características nutricionais e de qualidade das mudas. Contudo, vale ressaltar que o uso desse material em proporções diferentes da empregada neste experimento pode resultar em prejuízo para as plantas.

## 5 CONCLUSÕES

Os substratos casca de coco verde e bagana de carnaúba, ambos enriquecidos com esterco de galinha e gesso, se mostraram eficientes para o cultivo do mamoeiro em sacos de polietileno, tendo produzido mudas de melhor qualidade, com adequado fornecimento de nutrientes e com variáveis biométricas e fisiológicas apropriadas para o plantio no campo.

Os substratos lodo de esgoto, lodo + biochar, e bagana + biochar, enriquecidos com esterco de galinha e gesso, foram os mais adequados para o cultivo de mudas de mamoeiro em bandejas de poliestireno, tendo produzido mudas com maior biomassa seca e de boa qualidade, além de terem propiciado adequado fornecimento de nutrientes. O uso do lodo de esgoto compostado não trouxe prejuízos à produção vegetal podendo ser utilizado de modo seguro sem ocasionar problemas ao meio ambiente.

Em ambos os experimentos desta pesquisa o substrato comercial Turfa Fértil<sup>®</sup> não foi eficiente na formação de mudas com qualidade, não sendo assim indicado o seu uso para a produção de mudas de mamoeiro, podendo ser substituído pela casca de coco verde e bagana de carnaúba para a produção em sacos, e pelo lodo de esgoto, lodo + biochar, e bagana + biochar, quando as mudas forem produzidas em bandejas.

O uso de biocarvão da casca de coco verde trouxe benefícios a todos os substratos, tendo promovido alterações nas propriedades físico-químicas dos tratamentos. A adição do biochar aos substratos promoveu, de modo geral, incremento nas variáveis analisadas e, conseqüentemente, produziu mudas com melhor padrão de qualidade, sendo sua utilização uma alternativa viável de enriquecimento nutricional dos substratos e de destinação adequada para o resíduo do coco verde.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, A. H. M.; LELES, P. S. S.; MELO, L. A.; OLIVEIRA, R. R.; FERREIRA, D. H. A. A. Caracterização e potencial de substratos formulados com biossólido na produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi. e *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1179-1190, 2017.
- AFONSO, M. V.; MARTINAZZO, E. G.; AUMONDE, T. Z.; VILLELA, F. A. Parâmetros fisiológicos de mudas de *Albizia niopoides* produzidas em diferentes composições de substrato. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1395-1402, 2017.
- AJALA, M. C.; AQUINO, N. F.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Efeito do volume do recipiente na produção de mudas e no crescimento inicial de *Jatropha curcas* L. no Oeste Paranaense. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 6, p. 2039-2046, 2012.
- AKHTAR, S. S.; ANDERSEN, M. N.; LIU, F. Residual effects of biochar on improving growth, physiology and yield of wheat under salt stress. **Agricultural Water Management**, Istanbul, v. 158, p. 61-68, 2015.
- ALBANO, F. G.; CAVALCANTE, Í. H. L.; MACHADO, J. S.; LACERDA, C. F.; SILVA, E. R.; SOUSA, H. G. New substrate containing agroindustrial carnauba residue for production of papaya under foliar fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 2, p. 128-133, 2017.
- ALEXANDRE, J. R.; OLIVEIRA, M. L. F.; SANTOS, T. C.; CANTON, G. C.; CONCEIÇÃO, J. M.; EUTRÓPIO, F. J.; CRUZ, Z. M. A.; DOBBSS, L. B.; RAMOS, A. C. Zinco e ferro: de micronutrientes a contaminantes do solo. **Natureza on line**, Santa Tereza, v. 10, n. 1, p. 23-28, 2012.
- ALVES, E. R.; SCHMIDT, R.; MOREIRA, R.; DIAS, J. R. M.; MAIA, E. Biometria e trocas gasosas em mudas clonais de cafeeiro submetidas a diferentes substratos. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 435-443, 2016.
- ALVES, J. C.; SOUZA, A. P.; PÔRTO, M. L.; ARRUDA, J. A.; TOMPSON JÚNIOR, U. A.; SILVA, G. B.; ARAÚJO, R. C.; SANTOS, D. Absorção e distribuição de chumbo em plantas devetiver, jureminha e algaroba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1329-1336, 2008.
- ANDRADE, C. A.; BIBAR, M. P. S.; COSCIONE, A. R.; PIRES, A. M. M.; SOARES, Á. G. Mineralização e efeitos de biocarvão de cama de frango sobre a capacidade de troca catiônica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 5, p. 407-416, 2015.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2018. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2018. 88p.
- ARAÚJO, A. C.; ARAÚJO, A. C.; DANTAS, M. K. L.; PEREIRA, W. E.; ALOUFA, M. A. I. Utilização de substratos orgânicos na produção de mudas de mamoeiro Formosa. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 210-216, 2013.
- ARAÚJO, A. P.; SOBRINHO, S. P. Germinação e produção de mudas de tamboril

(*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong) em diferentes substratos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 581-588, 2011.

ARAÚJO, E. F.; AGUIAR, A. S.; ARAUCO, A. M. S.; GONÇALVES, E. O.; ALMEIDA, K. N. S. Crescimento e qualidade de mudas de paricá produzidas em substratos à base de resíduos orgânicos. **Nativa**, Sinop - MT, v. 5, n. 1, p. 16-23, 2017.

ARAÚJO, W. B. M.; ALENCAR, R. D.; MENDONÇA, V.; MEDEIROS, E. V.; ANDRADE, R. de C.; ARAÚJO, R. R. Esterco caprino na composição de substratos para formação de mudas de mamoeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 68-73, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil** – 2010. São Paulo, 2011. 186p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil** – 2017. São Paulo, 2018. 74p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10.004**: resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 2004. 77p.

BACKES, C.; LIMA, C. P.; FERNANDES, D. M.; GODOY, L. J. G.; KIIHL, T. A. M.; BÔAS, R. L. V. Efeito do lodo de esgoto e nitrogênio na nutrição e desenvolvimento inicial da mamoneira. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 90-98, 2009.

BARDIVIESSO, D. M.; MARUYAMA, W. I.; REIS, L. L.; MODESTO, J. H.; REZENDE, W. E. Diferentes substratos e recipientes na produção de mudas de guabiroba (*Campomanesia pubescens* O. Berg). **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, v. 18, n. 1, p. 52-59, 2011.

BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. **Handbook of plant nutrition**. 2. ed. London: CRC press, 2015, 662p.

BELLÉ, S.; KÄMPF, A. N. Produção de mudas de maracujá-amarelo em substratos à base de turfa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 385-390, 1993.

BERILLI, S. S.; ZOOCA, A. A. F.; REMBINSKI, J.; SALLA, P. H. H.; ALMEIDA, J. D.; MARTINELLI, L. Influência do acúmulo de cromo nos índices de compostos secundários em mudas de café conilon. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 512-520, 2016.

BERNARDI, A. C. C.; WERNECK, C. G.; HAIM, P. G.; REZENDE, N. G. A. M.; PAIVA, P. R. P.; MONTE, M. B. M. Crescimento e nutrição mineral do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' cultivado em substrato com zeólita enriquecida com NPK. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 794-800, 2008.

BEZERRA, A. M. E.; MOMENTÉ, V. G.; MEDEIROS FILHO, S. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 295-299, 2004.

- BEZERRA, F. C. **Produção de mudas de hortaliças em ambiente protegido**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2003. 22 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 72). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/425901/1/Dc072.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2019.
- BOFFE, P. M.; CALEGARI, R. P.; SOUZA, D. C. R.; CONCEIÇÃO, P. S.; SZYMCZAK, D. A.; TESSARO, D. Potencial fitoextrator da espécie vegetal *Helianthus annuus* L. em solo contaminado por chumbo. **Espacios**, Caracas, v. 38, n. 9, p. 8-18, 2017.
- BUNT, A. C. Some physical and chemical characteristics of loamless pot-plant substrates and their relation to plant growth. **Plant and Soil**, The Hague, v. 38, p. 1954-1965, 1973.
- CALDEIRA, M. V.; DELARMELINA, W. M.; PERONI, L.; GONÇALVES, E. O.; SILVA, A. G. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 155-163, 2013.
- CAMPOSTRINI, E.; YAMANISHI, O. K.; MARTINEZ, C. A. Leaf gas exchange characteristics of four papaya genotypes during different stages of development. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 522-525, 2001.
- CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 533-535, 2002.
- CAVALCANTE, Í. H. L.; PETTER, F. A.; ALBANO, F. G.; SILVA, R. R. S.; SILVA JÚNIOR, G. B. Biochar no substrato para produção de mudas de maracujazeiro amarelo. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 111, n. 1, p. 41-47, 2012.
- CHAVES, J.C.M.; CAVALCANTI JUNIOR, A.T.; CORREIA, D.; SOUZA, F.X. de; ARAÚJO, C. A.T. **Normas de produção de mudas**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2000. 37p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 41). Disponível em: [http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo\\_3082.pdf](http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_3082.pdf). Acesso em: 10 fev. 2019.
- CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em argissolo tratado com lodo de esgoto. II-Fertilidade do solo e nutrição da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 653-662, 2008.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 375**, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2006.
- CORRÊA, C.; BIASI, L. Área foliar e tipo de substrato na propagação por estaquia de cipó-mil-homens (*Aristolochia triangularis* Cham. Et Schl.). **Current Agricultural Science and Technology**, Pelotas, v. 9, n. 3, p. 233-235, 2003.
- COSTA JUNIOR, E. S.; MATIAS, S. S. R.; MORAIS, D. B.; SOUSA, S. J. C.; SANTOS, G. B.; Nascimento, A. H. Produção de mudas de *Carica papaya*, tipo formosa, com resíduos de pau de buriti (*Mauritia flexuosa* Lf). **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 40, n. 4, p. 50-

59, 2017.

COSTA, E.; SANTOS, L. C. R.; VIEIRA, L. C. R. Produção de mudas de mamoeiro utilizando diferentes substratos, ambientes de cultivo e recipientes. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 528-537, 2009.

COSTA, E.; MESQUITA, V. A. G.; LEAL, P. A. M.; FERNANDES, C. D.; ABOT, A. R. Formação de mudas de mamão em ambientes de cultivo protegido em diferentes substratos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 5, p. 679-685, 2010.

CUNHA, A. O.; ANDRADE, L. A.; BRUNO, R. L. A.; SILVA, J. A. L.; SOUZA, V. C. Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex DC) Standl. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 507-516, 2005.

DANTAS, B. F.; RIBEIRO, L. S.; PEREIRA, M. S. Teor de açúcares solúveis e insolúveis em folhe de videiras, cv. syrah, em diferentes posições no ramo e épocas do ano. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 42-47, 2007.

DIAS, T. J.; PEREIRA, W. E.; CAVALCANTE, L. F.; RAPOSO, R. W. C.; FREIRE, J. L. O. Desenvolvimento e qualidade nutricional de mudas de mangabeiras cultivadas em substratos contendo fibra de coco e adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 512-523, 2009.

DICKSON, Alexander; LEAF, Albert L.; HOSNER, John F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, [s.l.], v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.

DINIZ, G. L.; SALES, G. N.; SOUSA, V. F. O.; ANDRADE, F. H. A.; SILVA, S. S.; NOBRE, R. G. Produção de mudas de mamoeiro sob salinidade da água irrigação e adubação fosfatada. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, n. 1, p. 218-228, 2018.

DUARTE, T. S.; PEIL, R. Relações fonte: dreno e crescimento vegetativo do meloeiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 271-276, 2010.

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, 627p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. 2 ed. Londrina: Editora Planta, 2006, 401p.

FAO, ITPS. **Status of the world's soil resources (SWSR) – main report**. Food and agriculture organization of the United Nations and intergovernmental technical panel on soils, Rome, Italy, 2015, p.650.

FARIAS, W. C.; OLIVEIRA, L. L. P.; OLIVEIRA, T. A.; DANTAS, L. L. G. R.; SILVA, T. A. G. Caracterização física de substratos alternativos para produção de mudas. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v. 8, n. 3, p. 01-06, 2012.

FAVARO, S. P.; MIRANDA, C. H. B. **Aproveitamento de espécies nativas e seus coprodutos no contexto de biorrefinaria**. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2013. 38p. (Embrapa Agroenergia. Documentos, 14). Disponível em:

<https://www.embrapa.br/agroenergia/busca-de-publicacoes/-/publicacao/974421>. Acesso em: 20 mai. 2019.

FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; COSTA, L. M.; ALVARENGA, R. C.; NEVES, J. C. L. Crescimento e acúmulo de nutrientes por plantas espontâneas e por leguminosas utilizadas para adubação verde. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 171-177, 2000.

FELIPE, L. O.; NUCCI, E. R.; LACERDA, F. A.; VIEIRA, F. S.; ASCENDINO, G. G.; OLIVEIRA, K. S. G. C.; LIMA, S. N. G.; XAVIER, B. M.; Análise da sinergia entre biocarvão, fertilizante mineral e *Rhizobium tropici*. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, v. 6, n. 4, p. 1-10, 2016.

FELIPE, R. T. A.; LEÃO, G. A.; OLIVEIRA, J. A. Crescimento e teores de arsênio em plântulas de *Leucaena leucocephala* e *Sesbania grandiflora*. **Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 2, p. 219-224, 2009.

FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa, Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018, 670p.

FIGUEIREDO, F. A. M. M. A.; CARNEIRO, J. G. A.; PENCHEL, R. M.; CAMPOSTRINI, E.; THIEBAUT, J. T. L.; BARROSO, D. G. Trocas gasosas, relações hídricas e eficiência fotoquímica em mudas clonais de eucalipto com permanência prolongada em tubetes. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 533-542, 2014.

FLOHR, L.; BRENTANO, D. M.; CARVALHO-PINTO, C. R. S.; MACHADO, V. G.; MATIAS, W. G. Classificação de resíduos sólidos industriais com base em testes ecotoxicológicos utilizando *Daphnia magna*: uma alternativa. **Biotemas**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 7-18, 2005.

FRANCISCO, M. G. S.; MARUYAMA, W. I.; MENDONÇA, V.; SILVA, E. A.; REIS, L. L.; LEAL, S. T. Substratos e recipientes na produção de mudas de mamoeiro 'Sunrise Solo'. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 3, n. 10, p. 267-274, 2010.

GALVÃO, R. O.; ARAÚJO NETO, S. E.; SANTOS, F. C. B.; SILVA, S. S. Desempenho de mudas de mamoeiro cv. sunrise solo sob diferentes substratos orgânicos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 3, p. 144-151, 2007.

GASPARIN, E.; AVILA, A. L.; ARAUJO, M. M.; CARGNELUTTI FILHO, A.; DORNELES, D. U.; FOLTZ, D. R. B. Influência do substrato e do volume de recipiente na qualidade das mudas de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. em viveiro e no campo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 553-563, 2014.

GOMES, D. R.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; GONÇALVES, E. O.; TRAZZI, P. A. Lodo de esgoto substrato para produção de mudas de *Tectona grandis* L. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 123-131, 2013.

GOMES, E. R.; STEINBRÜCK, M. A. Oportunidades e dilemas do tratamento dos resíduos sólidos no Brasil à luz da política nacional de resíduos sólidos (Lei N. 12.305/2010). **Confluências Revista Interdisciplinar de Sociologia e Direito**, Niterói, v. 14, n. 1, p. 100-114, 2012.

GOMES, S. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 459-465, 2007.

GONZAGA, M. I. S.; MACKOWIAK, C.; Almeida, A. Q.; CARVALHO JÚNIOR, J. I. T.; Sewage sludge derived biochar and its effect on the growth and morphological traits of *Eucalyptus grandis* w. hill ex maiden seedlings. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 687-695, 2018.

GONZAGA, M. I. S.; ALMEIDA, A. Q.; MACKOWIAK, C.; LIMA, I. S.; SANTOS, J. C. J.; ANDRADE, R. S. Nitrogen and phosphorus uptake efficiency in Indian mustard cultivated during three growth cycles in a copper contaminated soil treated with biochar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 49, n. 1, p. 1-8, 2019.

GUIMARÃES, F. P.; GOMES, C. Q.; MAGALHÃES, A. B. S.; FREITAS, T. V.; OLIVEIRA, J. A.; AGUIAR, R. Estudos laboratoriais de acúmulo e toxicidade de arsênio em *Eichhornia crassipes* e *Salvinia auriculata*. **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, Itajaí, v. 2, n. 2, p. 109-113, 2006.

HECK, K.; MARCO, É. G.; HAHN, A. B. B.; KLUGE, M.; SPILKI, F. R.; SAND, S. T. V. D.; 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. 54-59, 2013.

HERBETS, R. A.; COELHO, C. R. A.; MILETTI, L. C.; MENDONÇA, M. M. Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos biotecnológicos. **Revista Saúde e Ambiente**, Três Lagoas, v. 6, n. 1, p. 41-50, 2005.

HUNT, G. A. Effect of styroblock design and cooper treatment on morphology of conifer seedlings. In: **Proceedings of Target Seedling Symposium, Meeting of the Western Forest Nursery Associations**; 1990. Roseburg. Fort Collins: USDA Forest Service; 1990. p. 218-222.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, n. 2-3, p. 185-202, 2005.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, A. C.; SOUZA, P. V. Propriedades físicas e químicas de substratos renováveis. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1103-1113, 2013.

LACERDA, M. R. B.; PASSOS, M. A. A.; RODRIGUES, J. J. V.; BARRETO, L. P. Características físicas e químicas de substratos à base de pó de coco e resíduo de sisal para produção de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 163-170, 2006.

LAMEGO, F. P.; VIDAL, R. A. Fitorremediação: plantas como agentes de

despoluição? **Pesticidas: Revista de ecotoxicologia e meio ambiente**, Curitiba, v. 17, p. 9-18, 2007.

LAMIM, A. P. B.; JORDÃO, C. P.; PEREIRA, J. L.; BELLATO, C. R. Caracterização química e física de turfa litorânea e avaliação da adsorção competitiva por cobre e zinco. **Química Nova**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 18-23, 2001.

LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; SOFIATTI, V.; SAMPAIO, L. R.; BELTRÃO, N. E. M. Casca de mamona associada a quatro fontes de matéria orgânica para a produção de mudas de pinhão-manso. **Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 2, p. 232-237, 2015.

LIMA, S. L.; MARIMON JUNIOR, B. H.; MELO-SANTOS, K. S.; REIS, S. M.; PETTER, F.; A.; VILAR, C. C.; MARIMON, B. S. Biochar no manejo de nitrogênio e fósforo para a produção de mudas de angico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 2, p. 120-131, 2016.

LOPES, J. L. W.; BOARO, C. S. F.; PERES, M. R.; GUIMARÃES, V. F. Crescimento de mudas de alface em diferentes substratos. **Biotemas**, Florianópolis, v. 20, n. 4, p. 19-25, 2007.

LUDWIG, F.; GUERRERO, A. C.; FERNANDES, D. M.; BOAS, R. L. V. Análise de crescimento de gébera de vaso conduzida em diferentes substratos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 70-74, 2010.

MAGALHÃES, M. A.; MATOS, A. T.; DENÍCULI, W.; TINOCO, I. F. F. Compostagem de bagaço de cana-de-açúcar triturado utilizado como material filtrante de águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 466-471, 2006.

MAGGIONI, M. S.; ROSA, C. B. C. J.; ROSA JUNIOR, E. J.; SILVA, E. F.; ROSA, Y. B. C. J.; SCALON, S. P. Q.; VASCONCELOS, A. A. Desenvolvimento de mudas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) em função do recipiente e do tipo e densidade de substratos. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 10-17, 2014.

MAIA, C. M. B. F.; LIMA, R. M.; GUIOTOKU, M. **Efeito da temperatura final de carbonização nas propriedades físico-químicas do biocarvão da fibra do coco**. Colombo: Embrapa Florestas, 2013, 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado Técnico, 323). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/974621>. Acesso em: 20 fev. 2019.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. 2 ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MARTINEZ, R. A. S.; REZENDE, P. M.; ALVARENGA, A. A.; ANDRADE, M. J. B.; PASSOS, A. M. A. Doses e formas de aplicação de selênio na cultura da soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 698-704, 2009.

MARTINS, A. L. C.; BATAGLIA, O. C.; CAMARGO, O. A.; CANTARELLA, H. Produção

de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 563-574, 2003.

MARTINS, G. N.; SILVA, R. F.; ARAÚJO, E. F.; PEREIRA, M. G.; VIEIRA, H. D.; VIANA, A. P. Influência do tipo de fruto, peso específico das sementes e período de armazenamento na qualidade fisiológica de sementes de mamão do grupo formosa. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 27, n. 2, p. 12-17, 2005.

MATOS, E. C. T.; RODRIGUES, L. A.; SOUZA, P. A.; SILVA, R. V.; FARIA JÚNIOR, R. T. Espectroscopia fotoacústica para analisar a fertilidade de solos tratados com biochar e micorriza. **Química Nova**, São Paulo, v. 41, n. 9, p. 989-998, 2018.

MELO, R. M.; VIEIRA, M. C.; CARNEVALI, T. O.; GONÇALVES, W. V.; TORALES, E. P.; TOLOUEI, S. E. L.; SANTOS, C. C. Calagem e textura do substrato afetam o desenvolvimento de *Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 42, n. 1, p. 101-110, 2019.

MENDES, N. V. B.; LIMA, D. C.; CORRÊA, M. C. M.; NATALE, W. Emergência e desenvolvimento inicial da bacabeira em diferentes substratos e ambientes. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, v. 8, n. 2, p. 90-99, 2018.

MENDONÇA, V.; ARAÚJO, S. E.; RAMOS, J. D.; PIO, R.; GONTIJO, T. C. A. Diferentes substratos e recipientes na formação de mudas de mamoeiro 'Sunrise Solo'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 127-130, 2003.

MENDONÇA, V.; ABREU, N. A. A.; SOUZA, H. A.; FERREIRA, E. A.; RAMOS, J. D. Diferentes níveis de composto orgânico na formulação de substrato para a produção de mudas de mamoeiro 'Formosa'. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 1, p. 49-53, 2007.

MENDONÇA, V.; RAMOS, J. D.; ABREU, N. A. A.; TEIXEIRA, G. A.; SOUZA, H. A.; GURGEL, R. L. S.; ORBES, M. Y. Adubação nitrogenada em cobertura e substratos na produção de mudas de mamoeiro 'Formosa'. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 668-675, 2009.

MESQUITA, A. A.; SOBRINHO, N. M. B. A.; OLIVEIRA, C.; MAZUR, N.; SANTOS, F. S. Remediação de solos tratados com lodo rico em zinco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 738-744, 2006.

MESQUITA, E. F.; CAVALCANTE, L. F.; GONDIM, S. C.; CAMPOS, V. B.; CAVALCANTE, Í. H. L.; GONDIM, P. C.; Teores foliares e exportação de nutrientes do mamoeiro baixinho de Santa Amália tratado com biofertilizantes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 1, p. 66-76, 2010.

MESQUITA, E. F.; CHAVES, L. H. G.; FREITAS, B. V.; SILVA, G. A.; SOUSA, M. V. R.; ANDRADE, R. Produção de mudas de mamoeiro em função de substratos contendo esterco bovino e volumes de recipientes. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, n. 1, p. 58-65, 2012.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Instrução Normativa nº 17**, de 21 de maio de 2007. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais

para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos, na forma do Anexo à presente Instrução Normativa.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA.

**Instrução Normativa nº 31**, de 23 de outubro de 2008. Altera os subitens 3.1.2, 4.1 e 4.1.2, do Anexo à Instrução 91 Normativa SDA nº 17, de 21 de maio de 2007.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA.

**Instrução normativa nº. 5**. Definições, classificação, exigências, especificações, garantias e registro. Diário oficial da união, Brasília, 2016.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; Melo, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2004.

NASCIMENTO, U. C.; GONDIM, M. M. S.; AMORIM, F. F. V. R.; MENDES, K. R. LIMA, T. M.; SILVA, M. L.; PIRES, I. C. G. Uso de substratos alternativos para o cultivo de pimenteira ornamental no Leste Maranhense. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 10, n. 2, p. 68-83, 2018.

NATALE, W.; PRADO, R. M.; LEAL, R. M.; FRANCO, C. F. Efeitos da aplicação de zinco no desenvolvimento, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 310-314, 2004.

NATALE, W.; LIMA NETO, A. J.; ROZANE, D. E.; PARENT, L. E.; CORRÊA, M. C. M. Mineral nutrition evolution in the formation of fruit tree rootstocks and seedlings. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 40, n. 6, p. 1-15, 2018.

NEGREIROS, J. R. S.; BRAGA, L. R.; ÁLVARES, V. S.; BRUCKNER, C. H. Diferentes substratos na formação de mudas de mamoeiro do grupo solo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 11, n. 1, p. 101-103, 2005.

NEVES, A. C. R. R.; CASTRO, L. O. A. Separação de materiais recicláveis: panorama no Brasil e incentivos à prática. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 8, n. 8, p. 1734-1742, 2012.

NEVES, O. S. C.; FERREIRA, E. V. O.; CARVALHO, J. G.; SOARES, C. R. F. S. Adição de níquel na solução nutritiva para o cultivo de mudas de umbuzeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 485-490, 2007.

NOGUEIRA, T. A. R.; OLIVEIRA, L. R.; MELO, W. J.; FONSECA, I. M.; MELO, G. M. P.; MELO, V. P.; MARQUES, M. O. Cádmio, cromo, chumbo e zinco em plantas de milho e em Latossolo após nove aplicações anuais de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 2195-2207, 2008.

NOMURA, E. S.; LIMA, J. D.; GARCIA, V. A.; RODRIGUES, D. S. Crescimento de mudas micropropagadas da bananeira cv. Nanicão, em diferentes substratos e fontes de fertilizante. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 359-363, 2008.

OLIVEIRA JÚNIOR, L. F. G; COELHO, E. M.; COELHO, F. C. Caracterização pós-colheita

de mamão armazenado em atmosfera modificada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 660-664, 2006.

OLIVEIRA, A. M. G.; CALDAS, R. C. Produção do mamoeiro em função de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 160-163, 2004.

OLIVEIRA, A. M. G.; AQUINO, A. M.; CASTRO NETO, M. T. de. **Compostagem caseira de lixo orgânico doméstico**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2005. 6 p. (Embrapa Agrobiologia. Circular Técnica, 76). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1022380/1/Compostagemcaseiradelixoorganicodomestico.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2019.

OLIVEIRA, A. M. G.; SOUZA, L. F. S.; COELHO, E. F. Mamoeiro. In: CRISÓSTOMO, L. A.; NAUMOV, A. (Orgs.). **Adubando para alta produtividade e qualidade: fruteiras tropicais do Brasil**. 1 ed. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2009, p. 146-163.

OLIVEIRA, E. J.; COSTA, J. L.; SANTOS, L. F.; CARVALHO, F. M.; SILVA, A. S.; DANTAS, J. L. L. Molecular characterization of papaya genotypes using AFLP markers. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 849-858, 2011.

OLIVEIRA, I. D.; SILVA, J. Crescimento e desenvolvimento de plântulas de alface (*Lactuca sativa* L.) oriundas de sementes recobertas com "ferti-peixe". **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, Rio Branco, v. 3, n. 2, p. 110-117, 2016.

OLIVEIRA, M. C.; OGATA, R. S.; ANDRADE, G. A.; SANTOS, D. S.; SOUZA, R. M.; GUIMARÃES, T. G.; SILVA JÚNIOR, M. C.; PEREIRA, D. J. S.; RIBEIRO, J. F. **Manual de viveiro e produção de mudas: espécies arbóreas nativas do Cerrado**. Brasília: Editora Rede de Sementes do Cerrado, 2016. 124p.

OLIVEIRA, R. P.; SCIVITTARO, W. B.; VASCONCELLOS, L. A. B. C. Avaliação de mudas de maracujazeiro em função do substrato e do tipo de bandeja. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 50, n. 2, p. 261-266, 1993.

OLIVEIRA-JÚNIOR, P. R.; MARMONTEL, C. V. F.; MELO, A. G. C. Desenvolvimento inicial de quatro espécies florestais nativas em diferentes recipientes. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v. 20, n. 1, p. 76-84, 2012.

OZA, E. F.; MONACO, P. A. V. L.; SANTOS, M. M.; ROSADO, T. L.; KRAUSE, M. R.; GARCIA, W. A. Aproveitamento de escória de siderurgia em substratos alternativos para produção de mudas de pimenteira Dedo-de-moça. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 65, n. 1, p. 104-109, 2018.

PENNINGSFELD, F. Plant substrates for horticulture with special regard to Germany. A critical review. **Plant and Soil**, Austrália, v. 75, p. 269-281, 1983.

PEREIRA, T. A.; SILVA, S. S.; ANDRADE, E. M. G.; COSTA, J. P. M.; SOARES, P. C. E.; OLIVEIRA, F. S.; MARACAJÁ, P. B. Produção de mudas de mamoeiro em diferentes substratos. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v. 11, n. 2, p. 86-98, 2015.

PETRY, C. (Org.). **Plantas ornamentais: aspectos para a produção**. Passo Fundo: EDIUPF, 1999. 155p.

PETTER, F. A.; MARIMON JUNIOR, B. H.; ANDRADE, F. R.; SCHOSSLER, T. R.; GONÇALVES, L. G.; MARIMON, B. S. Biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de alface. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 5, n. 17, p. 243-250, 2012.

PINTO, S. I. C.; RAMOS, S. J.; ARAUJO, J. L.; FAQUIN, V.; NOVAIS, C. B.; SILVA, K.; FURTINI NETO, A. E. Silício como amenizador da fitotoxicidade de zinco em plantas jovens de *Eucalyptus urophylla* cultivadas em solução nutritiva. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1005-1014, 2009.

PRATES, F. B. S.; SAMPAIO, R. A.; SILVA, W. J.; FERNANDES, L. A.; ZUBA JUNIO, G. R.; SATURNINO, H. M. Crescimento e teores de macronutrientes em pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 101-112, 2011.

QUEIROZ, J. A. L.; MELÉM JÚNIOR, N. J. Efeito do tamanho do recipiente sobre o desenvolvimento de mudas de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 460-462, 2001.

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; JÚNIOR DE ALMEIDA, H.; ÁVILA, F. W.; GUILHERME, L. R. G.; BASTOS, C. E. A.; ÁVILA, P. A. Selenato e selenito na produção, nutrição mineral e biofortificação com selênio em cultivares de alface. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1347-1355, 2011.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; BETTIOL, W.; GUILHERME, L. R. G.; DYNIA, J. F. Acúmulo de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em latossolo vermelho adubado com fontes de lodo de esgoto e cultivado com milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 1, p. 15-23, 2004.

RATHEESH, P. C.; ABDUSSALAM, A. K.; NABEESA, S.; PUTHUR, J. T. Distribution of Bio-accumulated Cd and Cr in two Vigna species and the Associated Histological Variations. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, [s.l.], v. 6, n. 1, p. 4-12, 2010.

REZENDE, C. F. A.; FERNANDES, E. P.; SILVA, M. F.; LEANDRO, W. M. Crescimento e acúmulo de nutrientes em mudas cítricas cultivadas em ambiente protegido. **Bioscience Journal**, Uberlândia v. 26, n. 3, p. 367-375, 2010.

REZENDE, E. I. P.; ANGELO, L. C.; DOS SANTOS, S. S.; MANGRICH, A. S. Biocarvão (biochar) e sequestro de carbono. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 3, n. 5, p. 426-433, 2011.

ROCHA, J. H. T.; BACKES, C.; DIOGO, F. A.; PASCOTTO, C. B.; BORELLI, K. Composto de lodo de esgoto como substrato para mudas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 73, p. 27-35, 2013.

RODOLFO JÚNIOR, F.; TORRES, L. B. V.; CAMPOS, V. B.; LIMA, A. R.; OLIVEIRA, A. D.; MOTA, J. K. M. Caracterização físico-química de frutos de mamoeiro comercializados na EMPASA de Campina Grande-PB. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 53-58, 2007.

RODRIGUES, E. M.; DE PAULA, N. F.; DE PAULA, R. C. Cultivo de eucalipto com biocarvão de resíduos de folhas de palmeira dendê. **Ciência & Tecnologia Fatec-JB**, Jaboticabal, v. 8, n. 1, p. 139-143, 2016.

RODRIGUES, E. T.; LEAL, P. A. M.; COSTA, E.; PAULA, T. S.; GOMES, V. A. Produção de mudas de tomateiro em diferentes substratos e recipientes em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 4, p. 483-488, 2010.

ROVEDA, L. F.; CUQUEL, F. L.; MOTTA, A. C. V.; MELO, V. F. Composto orgânico com altos teores de níquel e sua biodisponibilidade no sistema solo planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 8, p. 819-825, 2014.

RÓZ, A. L.; RICARDO, J. F. C.; NAKASHIMA, G. T.; SANTOS, L. R. O.; YAMAJI, F. M. Maximização do teor de carbono fixo em biocarvão aplicado ao sequestro de carbono. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 8, p. 810-814, 2015.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C. P. Influência do alumínio no crescimento e na acumulação de nutrientes em mudas de goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 787-796, 2000.

SAMPAIO, A. O. Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375. **Revista DAE**, São Paulo, n. 193, p. 16-27, 2013.

SANTOS, C. C.; GOELZER, A.; SILVERIO, J. M.; SCALON, S. P. Q.; ZÁRATE, N. A. H.; VIEIRA, M. C. Capacidade vegetativa e trocas gasosas em mudas de *Pereskia aculeata* Plum em diferentes substratos. **Scientia Plena**, Sergipe, v. 15, n. 11, p. 1-9, 2019.

SARAIVA, K. R.; NASCIMENTO, R. S.; SALES, F. A. L.; ARAÚJO, H. F.; FERNANDES, C. N. V.; LIMA, A. D. Produção de mudas de mamoeiro sob doses de adubação fosfatada utilizando como fonte superfosfato simples. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 5, n. 4, p. 376-383, 2011.

SCHALCH, V.; LEITE, W. C. A.; FERNANDES JÚNIOR, J. L.; CASTRO, M. C. A. A. **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2002, 97p. Disponível em: [http://web-resol.org/textos/apostila\\_gestao\\_e\\_gerenciamento\\_de\\_rs\\_schalch\\_et\\_al.pdf](http://web-resol.org/textos/apostila_gestao_e_gerenciamento_de_rs_schalch_et_al.pdf). Acesso em: 20 fev. 2019.

SCHMITZ, J. A. K.; SOUZA, P. V. D.; KAMPF, A. N. Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para cultivo de mudas em recipientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 937-944, 2002.

SERRANO, L. A. L.; SILVA, C. M. M.; OGLIARI, J.; CARVALHO, A. J. C.; MARINHO, C. S.; DETMANN, E. Utilização de substrato composto por resíduos da agroindústria canavieira para produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 487-491, 2006.

SERRANO, L. A. L.; CATTANEO, L. F.; FERREGUETTI, G. A. Adubo de liberação lenta na

produção de mudas de mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 874-883, 2010.

SILVA JÚNIOR, J. V.; BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z.; BRITO, L. P. S.; AVELINO R. C.; CAVALCANTE, Í. H. L. Aproveitamento de materiais alternativos na produção de mudas de tomateiro sob adubação foliar. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 3, p. 528-536, 2014.

SILVA, A. C.; LEONELI, S.; SOUZA, A. P.; DOMINGOS, J. R.; DUCATT, C. Trocas gasosas e ciclo fotossintético da figueira 'Roxo de Valinhos'. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1270-1276, 2010.

SILVA, A. R. A. D.; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA FILHO, C. F. D.; PEREIRA FILHO, J. V.; FREITAS, C. A. S. D. Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 86-93, 2013.

SILVA, E. T. Tratamento de lixo domiciliar e sua aplicação na recuperação de áreas degradadas. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 197-209, 2007.

SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEXE, C. A.; MENDONÇA, E. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: nutrientes, metais pesados e produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 1, p. 1-8, 1998.

SILVA, F. C.; BERTON, R. S.; CHITOLINA, J. C.; BALLESTERO, S. D.; **Recomendações técnicas para o uso agrícola do composto de lixo urbano no Estado de São Paulo**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2002. 17p. (Embrapa Informática Agropecuária. Circular Técnica, 3). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/8691>. Acesso em: 10 jan. 2019.

SILVA, I. C. B.; FERNANDES, L. A.; COLEN, F.; SAMPAIO, R. A.; Growth and production of common bean fertilized with biochar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 11, p. 1-8, 2017.

SILVA, R. V.; RODRIGUES, L. A.; SILVA, M. G.; SILVA, B. G.; MARTINS, M. A.; Biochar and mucuna increase papaya plant growth and nutrition, as well as soil fertility. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 49, p. 1-9, 2019.

SIQUEIRA, D. P.; BARROSO, D. G.; CARVALHO, G. C. M. W.; ERTHAL, R. M.; RODRIGUES, M. C. C.; MARCIANO, C. R. Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de *Plathymenia reticulata* Benth. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 2, p. 728-739, 2019.

SOUCHIE, F. F.; MARIMON JUNIOR, B. H.; PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; MARIMON, B. S.; LENZA, E. Carvão pirogênico como condicionante para substrato de mudas de *Tachigali vulgaris* LG Silva & HC Lima. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 811-821, 2011.

SOUSA, G. G.; VIANA, T. V. A.; BRAGA, E. S.; AZEVEDO, B. M.; MARINHO, A. B.;

BORGES, F. R. M. Fertirrigação com biofertilizante bovino: Efeitos no crescimento, trocas gasosas e na produtividade do pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 3, p. 503-509, 2013.

SOUSA, J. A.; LÉDO, FJ da S.; SILVA, M. R. **Produção de mudas de hortaliças em recipientes**. Rio Branco: Embrapa- CPAF/AC, 1997. 19p. (Embrapa Acre. Circular Técnica 19). Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/492505/1/cirtec19.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2019.

SOUSA, L. B.; NÓBREGA, R. S. A.; LUSTOSA FILHO, J. F.; AMORIM, S. P. N.; FERREIRA, L. V. M.; NÓBREGA, J. C. A. Cultivo de *Sesbania virgata* (Cav. Pers) em diferentes substratos. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 58, n. 3, p. 240-247, 2015.

SOUZA, R. A. S.; BISSANI, C. A.; TEDESCO, M. J.; FONTOURA, R. C. Extração sequencial de zinco e cobre em solos tratados com lodo de esgoto e composto de lixo. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 308-314, 2012.

STEFFEN, G. P. K.; ANTONIOLLI, Z. I.; STEFFEN, R. B.; SCHIEDECK, G. Utilização de vermicomposto como substrato na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Corymbia citriodora*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 75-82, 2011.

SUASSUNA, C. F.; FERREIRA, N. M.; SÁ, F. V. S.; BERTINO, A. M. P.; MESQUITA, E. F.; PAIVA, E. P.; JESUS, P. L. M.; BERTINO, A. M. P. Produção de mudas de cajueiro anão precoce cultivado em diferentes substratos e ambientes. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 9, n. 33, p. 197-209, 2016.

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

TECCHIO, M. A.; LEONEL, S.; LIMA, C. P.; VILLAS BOAS, R. L.; ALMEIDA, E. L. P.; CÔRREA, J.C. Crescimento e acúmulo de nutrientes no porta-enxerto citrumelo 'Swingle', cultivado em substrato. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v. 22, n. 1, p. 37-44, 2006.

TORRES, G. N.; CAMARGOS, S. L.; WEBER, O. L. S.; MAAS, K. D. B.; SCARAMUZZA, W. L. M. P. Growth and micronutrient concentration in maize plants under nickel and lime applications. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 4, p. 796-804, 2016.

TOSELLI, M.; BALDI, E.; CAVANI, L.; SORRENTI, G. Nutrient management in fruit crops: An organic way. In: SRIVASTAVA, A. K.; CHENGXIAO, H.U. (Ed.). **Fruit crops: Diagnosis and management of nutrient constraints**. Amsterdam, Netherlands, 2020. p. 379-392.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Utilização de lodo de esgoto na produção de mudas de aroeira-pimenteira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 657-665, 2014.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM JÚNIOR, B. S.; CABRERA, B. R.; MORAES, P. O.; LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 58, n. 1, p. 59-85, 2009.

VALLONE, H. S.; GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S.; CUNHA, R. L.; DIAS, F. P. Diferentes recipientes e substratos na produção de mudas de cafeeiros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 55-60, 2010.

ZANETTI, M.; CAZETTA, J. O.; MATTOS JÚNIOR, D.; CARVALHO, S. A.; Uso de subprodutos de carvão vegetal na formação do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 508-512, 2003.

ZELAYA, K. P. S.; ALVES, B. S. Q.; COLEN, F.; FRAZÃO, L. A.; SAMPAIO, R. A.; PEGORARO, R. F.; FERNANDES, L. A. Biochar in sugar beet production and nutrition. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 49, n. 5, p. 1-9, 2019.

ZORZETO, T. Q.; DECHEN, S. C. F.; ABREU, M. F.; FERNANDES JÚNIOR, F. Caracterização física de substratos para plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 3, p. 300-311, 2014.

**APÊNDICE A - MÉDIAS DOS TEORES DE MACRONUTRIENTES, DO  
ELEMENTO SÓDIO E DE MICRONUTRIENTES NA PARTE AÉREA DE MUDAS  
DE MAMOEIRO CULTIVADAS NOS SUBSTRATOS COMERCIAL (C), BAGANA  
DE CARNAÚBA (B), CASCA DE COCO (CC) E LODO DE ESGOTO (L),  
FORTALEZA- CE, 2019**

| Substrato | P                              | K     | Ca    | Mg     | S      | Na    | Fe                              | Zn     | Mn     | Cu     | Ni     |
|-----------|--------------------------------|-------|-------|--------|--------|-------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|           | ----- g kg <sup>-1</sup> ----- |       |       |        |        |       | ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |        |        |        |        |
| C         | 1,7 c                          | 15 c  | 27 b  | 21,1 a | 11,1 a | 4,7 a | 516 a                           | 37,2 c | 152 a  | 12 ab  | 2,0 b  |
| B         | 4,6 a                          | 31 a  | 19 c  | 9,1 b  | 4,7 c  | 2,1 b | 141 b                           | 56 b   | 39,6 b | 9,2 b  | 4,0 b  |
| CC        | 3,0 b                          | 25 ab | 12 d  | 8,1 b  | 3,8 c  | 1,5 b | 92,8 b                          | 37,2 c | 27,6 c | 9,6 b  | 2,8 b  |
| L         | 4,1 a                          | 18 bc | 31 a  | 7,7 b  | 8,6 b  | 5,1 a | 424 a                           | 92,4 a | 44,8 b | 13,6 a | 76,8 a |
| CV %      | 12,89                          | 18,31 | 10,16 | 11,26  | 9,64   | 16,82 | 51,86                           | 15,73  | 10,02  | 14,08  | 17,23  |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, nas colunas.  
Fonte: Autora, 2020.

**APÊNDICE B - MÉDIAS DOS TEORES DE MACRONUTRIENTES, DO  
ELEMENTO SÓDIO E DE MICRONUTRIENTES NO SISTEMA RADICULAR DE  
MUDAS DE MAMOEIRO CULTIVADAS NOS SUBSTRATOS COMERCIAL (C),  
BAGANA DE CARNAÚBA (B), CASCA DE COCO (CC) E LODO DE ESGOTO (L),  
FORTALEZA- CE, 2019**

| Substrato | P                              | K    | Ca    | Mg    | S                 | Na                              | Fe     | Zn    | Mn    | Cu    | Ni    |
|-----------|--------------------------------|------|-------|-------|-------------------|---------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
|           | ----- g kg <sup>-1</sup> ----- |      |       |       |                   | ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |        |       |       |       |       |
| C         | 1,6 c                          | 27 b | 7 c   | 16 bc | 7,9 <sup>ns</sup> | 3,4 b                           | 3023 a | 208 b | 210 a | 38 b  | 5 b   |
| B         | 6,8 b                          | 37 a | 14 ab | 21 a  | 8,5 <sup>ns</sup> | 5,2 a                           | 430 c  | 190 b | 113 b | 24 b  | 8 b   |
| CC        | 6,5 b                          | 41 a | 15 a  | 19 ab | 8,3 <sup>ns</sup> | 3,4 b                           | 577 c  | 167 b | 85 b  | 41 b  | 12 b  |
| L         | 8,1 a                          | 38 a | 10 bc | 15 c  | 9,1 <sup>ns</sup> | 5,5 a                           | 1653 b | 984 a | 106 b | 234 a | 706 a |
| CV %      | 8,06                           | 14,0 | 22,64 | 14,24 | 30,25             | 10,21                           | 32,28  | 17,02 | 17,38 | 29,38 | 34,51 |

<sup>ns</sup> = Não significativo; médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, nas colunas.  
Fonte: Autora, 2020

**APÊNDICE C - MÉDIAS DOS TEORES DE METAIS PESADOS NA PARTE AÉREA  
DE MUDAS DE MAMOEIRO CULTIVADAS NOS SUBSTRATOS COMERCIAL (C),  
BAGANA DE CARNAÚBA (B), CASCA DE COCO (CC) E LODO DE ESGOTO (L),  
FORTALEZA- CE, 2019**

| Substrato | Al                              | As | Cr     | Pb     | Se    |
|-----------|---------------------------------|----|--------|--------|-------|
|           | ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |    |        |        |       |
| C         | 96,4 ab                         | 0  | 4,4 b  | 2,0 bc | 0 b   |
| B         | 135,2 a                         | 0  | 8,0 a  | 6,8 a  | 0 b   |
| CC        | 49,6 b                          | 0  | 5,6 ab | 3,6 b  | 0,4 b |
| L         | 137,6 a                         | 0  | 6,4 ab | 1,6 c  | 2,4 a |
| CV %      | 33,04                           | 0  | 23,76  | 31,30  | 90,35 |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, nas colunas.

Fonte: Autora, 2020.

**APÊNDICE D - MÉDIAS DOS TEORES DE METAIS PESADOS NO SISTEMA  
RADICULAR DE MUDAS DE MAMOEIRO CULTIVADAS NOS SUBSTRATOS  
COMERCIAL (C), BAGANA DE CARNAÚBA (B), CASCA DE COCO (CC) E LODO  
DE ESGOTO (L), FORTALEZA- CE, 2019**

| Substrato | Al                              | As    | Cr      | Pb     | Se    |
|-----------|---------------------------------|-------|---------|--------|-------|
|           | ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |       |         |        |       |
| C         | 2661,0 a                        | 2,6 a | 9,8 b   | 3,4 b  | 0,6 b |
| B         | 1406,4 c                        | 0 c   | 11,6 ab | 8,4 a  | 0 b   |
| CC        | 1682,4 bc                       | 0 c   | 15,6 a  | 6,4 ab | 0 b   |
| L         | 2600,6 ab                       | 1,6 b | 16,8 a  | 5,4 ab | 9,8 a |
| CV %      | 25,78                           | 49,94 | 23,22   | 31,37  | 54,39 |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, nas colunas.  
Fonte: Autora, 2020.

**APÊNDICE E - MÉDIAS DOS TEORES DE MACRONUTRIENTES, DO ELEMENTO SÓDIO E DE MICRONUTRIENTES NA PARTE AÉREA DE MUDAS DE MAMOEIRO CULTIVADAS NOS SUBSTRATOS COMERCIAL (C), LODO DE ESGOTO (L), CASCA DE COCO (CC), BAGANA DE CARNAÚBA (B), COMERCIAL + BIOCHAR (C + B), LODO + BIOCHAR (L + B), CASCA DE COCO + BIOCHAR (CC + B) E BAGANA+ BIOCHAR (B + B), FORTALEZA- CE, 2019**

| Substrato | N                              | P    | K    | Ca   | Mg    | S    | Na                              | Fe    | Zn    | Mn    | Cu               | Ni   |
|-----------|--------------------------------|------|------|------|-------|------|---------------------------------|-------|-------|-------|------------------|------|
|           | ----- g kg <sup>-1</sup> ----- |      |      |      |       |      | ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |       |       |       |                  |      |
| C         | 13 b                           | 2 d  | 20 c | 21 a | 12 b  | 8 ab | 4 a                             | 434 b | 45 bc | 12 b  | 12 <sup>ns</sup> | 4 c  |
| L         | 20 a                           | 4 b  | 22 b | 24 a | 9 de  | 6 cd | 4 a                             | 65 c  | 82 a  | 9 de  | 13 <sup>ns</sup> | 47 a |
| F         | 19 a                           | 5 a  | 22 b | 23 a | 14 a  | 10 a | a ab                            | 66 c  | 40 bc | 14 a  | 13 <sup>ns</sup> | 3 c  |
| B         | 20 a                           | 5 a  | 20 c | 22 a | 13 ab | 8 ab | 3 bc                            | 74 c  | 37 c  | 13 ab | 13 <sup>ns</sup> | 4 c  |
| C + C     | 21 a                           | 2 d  | 38 a | 17 b | 12 b  | 5 d  | 4 a                             | 554 a | 41 bc | 12 b  | 12 <sup>ns</sup> | 4 c  |
| L + C     | 21 a                           | 3 c  | 22 b | 16 c | 7 e   | 6 cd | 3 bc                            | 66 c  | 52 bc | 7 e   | 13 <sup>ns</sup> | 33 b |
| F + C     | 21 a                           | 3 c  | 21 c | 16 c | 11 bc | 8 ab | 2 c                             | 68 c  | 34 c  | 11 bc | 13 <sup>ns</sup> | 4 c  |
| B + C     | 19 a                           | 4 b  | 26 b | 16 c | 10 cd | 6 cd | 4 a                             | 89 c  | 34 c  | 10 cd | 12 <sup>ns</sup> | 4 c  |
| CV %      | 10,6                           | 10,2 | 9,5  | 9,0  | 6,3   | 11,4 | 19,9                            | 28,8  | 13,0  | 12,8  | 6,7              | 12,5 |

<sup>ns</sup> = Não significativo; médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, nas colunas.  
Fonte: Autora, 2020

**APÊNDICE F - MÉDIAS DOS TEORES DE MACRONUTRIENTES, DO ELEMENTO SÓDIO E DE MICRONUTRIENTES NO SISTEMA RADICULAR DE MUDAS DE MAMOEIRO CULTIVADAS NOS SUBSTRATOS COMERCIAL (C), LODO DE ESGOTO (L), CASCA DE COCO (CC), BAGANA DE CARNAÚBA (B), COMERCIAL + BIOCHAR (C + B), LODO + BIOCHAR (L + B), CASCA DE COCO + BIOCHAR (CC + B) E BAGANA+ BIOCHAR (B + B), FORTALEZA- CE, 2019**

| Substrato | P                              | K    | Ca    | Mg    | S      | Na     | Fe                              | Zn    | Mn    | Cu    | Ni    |
|-----------|--------------------------------|------|-------|-------|--------|--------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|           | ----- g kg <sup>-1</sup> ----- |      |       |       |        |        | ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |       |       |       |       |
| C         | 2 d                            | 28 b | 8 b   | 26 a  | 7,0 bc | 4,0 a  | 1024 <sup>ns</sup>              | 221 b | 74 ab | 23 b  | 9 c   |
| L         | 7 a                            | 42 a | 12 ab | 17 cd | 8,8 a  | 4,1 a  | 2465 <sup>ns</sup>              | 844 a | 85 ab | 286 a | 542 a |
| F         | 7 a                            | 31 b | 15 ab | 30 a  | 8,0 ab | 3,2 ab | 568 <sup>ns</sup>               | 143 b | 68 b  | 39 b  | 9 c   |
| B         | 6 abc                          | 29 b | 16 a  | 22 ab | 8,0 ab | 2,5 b  | 846 <sup>ns</sup>               | 171 b | 142 a | 42 b  | 11 c  |
| C + C     | 2 d                            | 40 a | 9 b   | 18 bc | 6,2 c  | 3,7 ab | 2220 <sup>ns</sup>              | 124 b | 70 ab | 18 b  | 9 c   |
| L + C     | 6 abc                          | 43 a | 12 ab | 13 d  | 7,4 ab | 3,5 ab | 4040 <sup>ns</sup>              | 883 a | 123 a | 364 a | 443 b |
| F + C     | 5 bc                           | 42 a | 16 a  | 17 cd | 7,9 ab | 4,1 a  | 644 <sup>ns</sup>               | 130 b | 83 ab | 36 b  | 9 c   |
| B + C     | 5 bc                           | 41 a | 14 ab | 15 cd | 7,1 bc | 3,6 ab | 4598 <sup>ns</sup>              | 133 b | 125 a | 3 b   | 9 c   |
| CV %      | 10,7                           | 8,6  | 21,6  | 9,9   | 8,0    | 14,6   | 141,9                           | 18,8  | 32,4  | 33,0  | 20,7  |

<sup>ns</sup> = Não significativo; médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, nas colunas.  
 Fonte: Autora, 2020

**APÊNDICE G - MÉDIAS DOS TEORES DOS ELEMENTOS ALUMÍNIO, CROMO,  
CHUMBO E SELÊNIO NA PARTE AÉREA DE MUDAS DE MAMOEIRO  
CULTIVADAS NOS SUBSTRATOS COMERCIAL (C), LODO DE ESGOTO (L),  
CASCA DE COCO (CC), BAGANA DE CARNAÚBA (B), COMERCIAL + BIOCHAR  
(C + B), LODO + BIOCHAR (L + B), CASCA DE COCO + BIOCHAR (CC + B) E  
BAGANA + BIOCHAR (B + B), FORTALEZA- CE, 2019**

| Substrato | Al                              | Cr    | Pb                | Se    |
|-----------|---------------------------------|-------|-------------------|-------|
|           | ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |       |                   |       |
| C         | 2059,5 ab                       | 2,0 b | 0,0 <sup>ns</sup> | 0,0 b |
| L         | 2539,0 a                        | 4,0 a | 2,0 <sup>ns</sup> | 2,0 a |
| F         | 2516,5 a                        | 4,0 a | 1,0 <sup>ns</sup> | 0,0 b |
| B         | 1643,5 abc                      | 2,0 b | 1,0 <sup>ns</sup> | 0,0 b |
| C + C     | 1137,0 bcd                      | 2,0 b | 1,0 <sup>ns</sup> | 0,0 b |
| L + C     | 517,5 cd                        | 2,5 b | 1,0 <sup>ns</sup> | 0,5 b |
| F + C     | 129,0 d                         | 2,0 b | 0,5 <sup>ns</sup> | 0,0 b |
| B + C     | 131,0 d                         | 2,0 b | 0,0 <sup>ns</sup> | 0,0 b |
| CV %      | 37,1                            | 30,9  | 109,5             | 113,1 |

<sup>ns</sup> = Não significativo; médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, nas colunas.

Fonte: Autora, 2020

**APÊNDICE H – MÉDIA DOS TEORES DOS ELEMENTOS ALUMÍNIO, CROMO, CHUMBO E SELÊNIO NA PARTE AÉREA DE MUDAS DE MAMOEIRO CULTIVADAS NOS SUBSTRATOS COMERCIAL (C), LODO DE ESGOTO (L), CASCA DE COCO (CC), BAGANA DE CARNAÚBA (B), COMERCIAL + BIOCHAR (C + B), LODO + BIOCHAR (L + B), CASCA DE COCO + BIOCHAR (CC + B) E BAGANA + BIOCHAR (B + BB), FORTALEZA – CE, 2019**

| Substrato | Al                              | As      | Cr     | Pb     | Se     |
|-----------|---------------------------------|---------|--------|--------|--------|
|           | ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |         |        |        |        |
| C         | 791,5 c                         | 3,8 a   | 2,3 b  | 2,3 c  | 0,0 b  |
| L         | 3574,0 ab                       | 2,0 abc | 15,0 a | 5,5 ab | 12,0 a |
| F         | 1529,5 bc                       | 0,0 c   | 2,0 b  | 2,0 c  | 0,0 b  |
| B         | 2399,0 bc                       | 1,5 bc  | 4,5 b  | 3,0 bc | 0,0 b  |
| C + C     | 2129,0 bc                       | 2,5 ab  | 3,5 b  | 2,5 bc | 0,0 b  |
| L + C     | 5780,0 a                        | 2,0 abc | 21,5 a | 7,0 a  | 9,5 a  |
| F + C     | 1831,5 bc                       | 0,5 bc  | 2,0 b  | 3,0 bc | 9,0 a  |
| B + C     | 1733,5 bc                       | 0,5 bc  | 0,5 b  | 2,5 bc | 2,0 b  |
| CV %      | 38,7                            | 55,5    | 51,1   | 38,0   | 34,5   |

<sup>ns</sup> = Não significativo; médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, nas colunas.  
 Fonte: Autora, 2020