

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
(PRODUÇÃO VEGETAL)

KAROLINE DE MELO PADILHA

**BIOCHAR E CARVÃO ATIVADO DO ENDOCARPO DO COCO UTILIZADOS  
COMO CONDICIONADORES DE UM SOLO CULTIVADO COM ALFACE (*Lactuca  
sativa*)**

Rio Largo – AL

2018

KAROLINE DE MELO PADILHA

**BIOCHAR E CARVÃO ATIVADO DO ENDOCARPO DO COCO UTILIZADOS  
COMO CONDICIONADORES DE UM SOLO CULTIVADO COM ALFACE (*Lactuca  
sativa*)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Agronomia da Universidade Federal de Alagoas,  
para obtenção do grau de **Doutor em Agronomia**.  
Área de concentração: **Produção Vegetal**.

**Orientador:** Prof. Dr. Abel Washington de  
Albuquerque

**Coorientadora:** Prof. Dr<sup>a</sup> Tania Marta Carvalho  
dos Santos

Rio Largo - AL

2018

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas Biblioteca**  
**Setorial do Centro de Ciências Agrárias**  
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

P123b      Padilha, Karoline de Melo

Biochar e carvão ativado do endocarpo do coco utilizados como condicionadores de um solo cultivado com alface (*Lactuca sativa*) / Karoline de Melo Padilha – 2018.

137 f.; il.

Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Abel Washington de Albuquerque

Coorientação: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Tania Marta Carvalho dos Santos

Inclui bibliografia

1. Fertilidade do solo 2. Plantas - produtividade 3. Biocarvões  
I. Título


CDU: 631.452

TERMO DE APROVAÇÃO


KAROLINE DE MELO PADILHA  
(Matrícula 15140055)


"Biochar e carvão ativado do endocarpo do coco utilizados como condicionadores de um solo cultivado com alface"

Tese apresentada e avaliada pela banca examinadora em três de outubro de 2018, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias da UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.

  
Prof. Dr. Abel Washington de Albuquerque  
Presidente

  
Prof.ª Dr.ª Tania Marta Carvalho dos Santos  
Membro

  
Prof. Dr. João Inácio Soletti  
Membro

  
Prof.ª Dr.ª Walane Maria Pereira de Mello Ivo  
Membro

Rio Largo - AL  
Outubro-2018

Aos meus pais, Maria do Carmo e José Reinaldo

Aos meus irmãos, Karine e Pedro Enéas

Aos meus tios, Maria Cícera e Benedito

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela oportunidade de realizar este trabalho e pela força e coragem que Ele me deu para enfrentar todos os desafios encontrados durante todo este tempo de pesquisa.

À Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, pelo Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, por meio do qual foi possível o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores da pós-graduação em Produção Vegetal, por todos os ensinamentos transmitidos dentro da sala de aula.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) pela concessão de bolsa de doutorado.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Tabuleiros Costeiros, nos nomes das Dra. Wallane Ivo e Tâmara Cláudia, pela permissão para utilização da casa-de-vegetação para execução de parte do experimento e pelo uso do laboratório para realização de algumas análises do solo.

Ao professor Eurico por conceder a utilização da casa-de-vegetação para execução de parte do experimento.

Ao meu orientador, Prof. Abel Washington, pela disposição de me orientar no decorrer da execução deste trabalho.

A minha coorientadora, Profa. Tania Marta, por toda ajuda no desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos – LASSOP, no nome do Prof. João Soletti, por todo apoio para produção do biochar.

Ao Laboratório de Tecnologia de Nanosistemas Carregadores de Substâncias Ativas (TECNANO) pela análise química do biochar e carvão ativado.

Ao meu primo, Eraldinho Padilha, pela ajuda nas coletas de solo durante o experimento.

A Alania pela ajuda na realização de algumas análises do solo.

A Felipe Tenório pela parceria.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para realização desta pesquisa.

## **BIOGRAFIA**

KAROLINE DE MELO PADILHA, filha de Maria do Carmo de Melo Padilha e José Reinaldo Tenório Padilha, nasceu em Garanhuns, PE, em 17 de setembro de 1986. Ingressou no curso de graduação em Agronomia no ano de 2006, concluindo em 2011. Neste mesmo ano, iniciou o mestrado em Produção Agrícola, finalizando-o em 2013. A graduação e o mestrado foram realizados na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Garanhuns.

Ingressou no curso de doutorado em Produção Vegetal da Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, no ano de 2015.

## RESUMO

A fertilidade do solo por ser um dos fatores que pode limitar o desempenho das culturas, faz com que os agricultores apliquem periodicamente fertilizantes sintéticos no solo para manter os níveis adequados de nutrientes essenciais às plantas. Porém, esta prática aumenta os custos de produção e pode promover a contaminação do solo e das águas subterrâneas pelo excesso de doses de adubos. Para minimizar este problema, indica-se aumentar a capacidade do solo de reter e disponibilizar estes nutrientes às plantas por um período mais longo, incorporando matéria orgânica ao solo. No entanto, dependendo das propriedades químicas e físicas desta matéria orgânica, este material é rapidamente decomposto perdendo assim seu efeito no solo ao longo do tempo. Desta forma, indica-se a utilização de materiais que sejam resistentes à oxidação, como biochar e carvão ativado. Estes biocarvões (biochar e carvão ativado), por apresentarem uma decomposição muito lenta, terem uma porosidade e área superficial muito alta e por possuírem grupos funcionais nas suas superfícies, podem atuar no aumento do estoque de carbono e da capacidade de troca de cátions do solo por muitos anos, incrementando a fertilidade do solo ao longo do tempo, podendo resultar na redução da necessidade de adubação sintética. E ainda, por meio de seus poros, pode fornecer abrigo e proteção aos micro-organismos do solo. Baseando-se nisto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar as mudanças na fertilidade, nos indicadores microbiológicos do solo e na produtividade das plantas após a incorporação de biochar e carvão ativado no solo. Para isto, foram aplicadas seis doses de biochar e carvão ativado no solo, deixando-o em repouso durante 245 dias e mantendo a umidade do solo na capacidade de campo. Após este período, foi feito o plantio de mudas de alface da cultivar ‘Elba’. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 6, sendo dois tipos de biocarvões (biochar e carvão ativado) e 6 ( $0 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $15 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $30 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $45 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $60 \text{ t ha}^{-1}$  e  $75 \text{ t ha}^{-1}$ ) doses de biocarvões, utilizando 5 repetições, totalizando 60 unidades experimentais. Aos 71 dias após o transplante das mudas de alface, foi realizada a colheita das plantas, avaliando a altura da planta (ALT), número de folhas (NF), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR). Sendo determinado também os teores foliares de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e fósforo (P). Em relação ao solo, coletou-se amostras de solo de cada tratamento para fazer as seguintes análises químicas e microbiológicas: pH, teores de Ca, Mg, P, K, alumínio trocável ( $\text{Al}^{+3}$ ) e acidez potencial



(H+Al); carbono orgânico total do solo (COT), carbono da biomassa microbiana (CBM) e respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>). Com o resultado destes dados foram obtidos os valores da capacidade de troca de cátions efetiva (CTC<sub>ef</sub>), capacidade de troca catiônica a pH7 (CTC<sub>pH7</sub>), soma de bases (SB), saturação por base (V), quociente microbiano (*q*Mic) e quociente metabólico (*q*CO<sub>2</sub>). Verificou-se no solo que os valores de K, Ca, P, COT, CBM e *q*Mic tiveram interação (fonte x dose) significativa. Todas estas variáveis aumentaram os seus valores conforme o acréscimo nas doses, sendo que, entre os biocarvões utilizados, o carvão ativado promoveu maiores mudanças nos teores de Ca, P e COT e o biochar nos valores de K, CBM e *q*Mic. Para o fator isolado fonte, observou-se que a H+Al e CTC<sub>pH7</sub> foram superiores no tratamento com biochar e V foi maior no solo com carvão ativado, indicando que o carvão ativado foi mais eficiente em reduzir a acidez potencial do solo e, conseqüentemente, promover uma melhor fertilidade ao solo. Já o fator dose foi significativo para o pH, Mg, H+Al, CTC<sub>pH7</sub>, SB e V, apresentando tendência de aumento nas variáveis de pH, Mg, SB e V com a elevação das doses do biocarvão e redução nos valores de CTC<sub>pH7</sub> e H+Al com incremento das doses. Em relação às plantas de alface, ocorreu interação (dose x fonte) para os teores foliares de K e P, indicando maiores valores de P nas plantas tratadas com carvão ativado e maior teor de K naquelas cultivadas com biochar no solo. O carvão ativado foi responsável pela maior produção de folhas e MFPA, refletindo as maiores mudanças na fertilidade do solo tratado com este biocarvão. O aumento das doses de biocarvão promoveu incremento nos valores da ALT, NF e MFPA, relacionando este crescimento e produção com as modificações que ocorreram no solo. Estes resultados mostraram que tanto o biochar quanto o carvão ativado possuem o potencial de melhorar as propriedades do solo, resultando em uma maior produtividade das plantas. Sendo que o carvão ativado promoveu uma produção maior das plantas de alface, provavelmente, devido às maiores modificações na fertilidade do solo.

Palavras-chave: fertilidade do solo, produtividade de plantas, biocarvões

## ABSTRACT

Soil fertility for being one of the factors that can limit crop acting, makes farmers to periodically apply synthetic fertilizers to the soil to maintain adequate levels of plant essential nutrients. However, this practice increases production costs and can promote contamination of soil and groundwater by excess doses of fertilizers. To minimize this problem, it is indicated to increase the capacity of the soil to retain and available these nutrients to the plants for a longer period, incorporating organic matter into the soil. However, depending on the chemical and physical properties of this organic matter, this material is rapidly decomposed thus losing its effect on the soil over time. Thus, it is indicated the use of materials that are resistant to oxidation, as biochar and activated carbon. These biocarbons (biochar and activated carbon), by exhibit a very slow decomposition, have a very high porosity and surface area and because they have functional group on their surfaces, can act in the increase of the carbon stock and the cation exchange capacity of the soil for many years, increasing the fertility of the soil over time, which may result in the reduction of the need for synthetic fertilization. And yet, through its pores, it can provide shelter and protection to soil microorganism. Based on this, the objective of this research was to evaluate the changes in fertility, soil microbiological indicators and plant productivity after the incorporation of biochar and activated carbon in the soil. For this, were apply six doses of biochar and activated carbon in the soil, leaving it at rest for 245 days and maintaining soil moisture at field capacity. After this period, lettuce seedlings of the cultivar " Elba " were planted. The experimental design was in randomized blocks, in a 2 x 6 factorial scheme, with two types of biocarbons (biochar and activated carbon) and 6 doses (0 Mg ha<sup>-1</sup>, 15 Mg ha<sup>-1</sup>, 30 Mg ha<sup>-1</sup>, 45 Mg ha<sup>-1</sup>, 60 Mg ha<sup>-1</sup> and 75 Mg ha<sup>-1</sup>) of biocarbons, using 5 replicates, totaling 60 experimental units. Of the 71 days after transplanting of lettuce seedlings, was perform hasvest plant, assessing height plant (ALT), number of leaves (NF), fresh shoot mass (MFPA), fresh root mass (MFR), dry shoot mass (MSPA) and root mass (MSR). Were also determined the leaf contents of calcium (Ca), magnesium (Mg), potassium (K) and phosphorus (P). In relation to the soil, samples of soil were collected from each treatment to perform the following chemical and microbiological analyzes: pH, Ca, Mg, P, K, exchangeable aluminum (Al<sup>+3</sup>) and potential acidity (H + Al); total soil organic carbon (TOC), microbial biomass carbon (CBM) and microbial respiration (C-CO<sub>2</sub>). With the result of this data were get the values of the effective cation exchange capacity (CTC<sub>ef</sub>),

cation exchange capacity at pH7 ( $CTC_{pH7}$ ), base sum (SB), base saturation (V), microbial quotient ( $q_{Mic}$ ) and metabolic quotient ( $q_{CO_2}$ ). It was verified in the soil that the values of K, Ca, P, COT, CBM and  $q_{Mic}$  had significant interaction (source x dose). All these variables increased their values according to the increase in doses, being that, among the biocarbons used, the activated charcoal promoted higher changes in Ca, P and TOC contents and biochar in K, CBM and  $q_{Mic}$  values. For the isolated source factor, it was observed that H + Al and  $CTC_{pH7}$  were higher in the treatment with biochar and V was higher in the soil with activated carbon, indicating that the activated carbon was more efficient in reducing the potential acidity of the soil and, consequently promoted better soil fertility. The dose factor was significant for pH, Mg, H + Al,  $CTC_{pH7}$ , SB and V, showing a tendency of increase in the pH, Mg, SB and V variables with the elevation of the biochar and the values of  $CTC_{pH7}$  and H + Al with increasing doses. In relation to the lettuce plants, interaction (dose x source) was observed for leaf contents of K and P, indicating higher values of P in the plants treated with activated carbon and higher K content in those cultivated with biochar in the soil. Activated carbon was responsible for the higher leaf yield and MFPA, reflecting the greater changes in the fertility of the soil treated with this biocarbon. The increase of the biocarbon doses promoted an increase in ALT, NF and MFPA values, relating this growth and production to the changes that occurred in the soil. These results showed that both biochar and activated carbon have the potential to improve soil properties, resulting in higher plant productivity. Since activated carbon promoted a larger production of lettuce plants, probably due to the greater changes in soil fertility.

Key words: soil fertility, plant productivity, biocarbons

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fotografias de perfis da Terra Preta de Índio e de artefatos de cerâmica encontrados nestes solos.....	22
Figura 2 - Grão do pó de coco <i>in-natura</i> a) varredura a 200 µm, b) detalhamento a 10 µm, c) carvão sem tratamento, d) carvão ativado com CH <sub>3</sub> COONa. ....	25
Figura 3 - (A) Esquematização do biocarvão com estrutura interna inerte e estrutura periférica funcionalizada; (B) estrutura do solo; (C) retendo água; (D) coordenando íons metálicos nutrientes – ou tóxicos- para as plantas. ....	28

### PARTE 1

Figura 1 - Endocarpo do fruto de <i>cocos nucifera</i> L.....	65
Figura 2 - Biochar antes (A) e após o processo de trituração (B) para obtenção da granulometria igual ou inferior a 0,42 mm .....	66
Figura 3 - Forno utilizado para produção de biochar. (A) sistema de condensação; (B) aparato experimental para realização da pirólise .....	66
Figura 4 - Variação dos teores de potássio (K) (A) e cálcio (Ca) (B) em função das doses de biochar e carvão ativado aplicadas em solo arenoso .....	77
Figura 5 - Variação do teor de fósforo (P) em função das doses de biochar e carvão ativado aplicadas em solo arenoso .....	78
Figura 6 - Variação dos valores de pH (A), H <sup>+</sup> Al (B), CTC <sub>pH7</sub> (C), Mg (D), SB (E) e V (F) no solo em função das doses de biocarvões .....	83
Figura 7 - Variação dos valores do carbono orgânico total (COT) (A), carbono da biomassa microbiana (CBM) (B) e quociente microbiano ( <i>q</i> Mic) (C), em função das doses de biochar e carvão ativado .....	87

### PARTE 2

Figura 1 - Endocarpo do fruto de <i>cocos nucifera</i> L.....	107
Figura 2 - Biochar antes (A) e após o processo de trituração (B) para obtenção da granulometria igual ou inferior a 0,42 mm .....	108
Figura 3 - Forno utilizado para produção de biochar. (A) sistema de condensação; (B) aparato experimental para realização da pirólise .....	108

Figura 4 - Teores de potássio (K) (A) e fósforo (P) (B) foliar em alface ‘Elba’ submetida a doses de biochar e carvão ativado, após 71 dias do transplântio.....115

Figura 5 - Variação da altura da planta (ALT) (a), número de folhas (NF) (b) e massa fresca da parte aérea (MFPA) (c) das plantas de alface em função das doses de biocarvão .....121

## LISTA DE TABELAS

### PARTE 1

Tabela 1 - Atributos físicos de um solo de textura areia franca na profundidade de 10 – 20 cm, coletado em região de zona rural no município de Boca da Mata – Al, antes da aplicação dos tratamentos.....68

Tabela 2 - Atributos químicos de um solo de textura areia franca na profundidade de 10 – 20 cm, coletado em região de zona rural no município de Boca da Mata – Al, antes da aplicação dos tratamentos.....68

Tabela 3 - Propriedades químicas de biochar e carvão ativado do endocarpo de *cocos nucifera* L. ....73

Tabela 4 - Resumo da análise de variância para as variáveis de solo: pH, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio trocável ( $Al^{+3}$ ), acidez potencial (H+Al), fósforo (P), soma de base (SB), capacidade de troca catiônica efetiva ( $CTC_{ef}$ ), capacidade de troca catiônica a pH7 ( $CTC_{pH7}$ ) e saturação por base (V%) sob diferentes fontes e doses de biocarvão .....76

Tabela 5 - Valores médios da H + Al,  $CTC_{pH7}$  e V de solos tratados com dois tipos de biocarvões, biochar e carvão ativado.....81

Tabela 6 - Resumo da análise de variância para as variáveis de solo: carbono orgânico total (COT), respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e quociente microbiano ( $qMic$ ).....86

### PARTE 2

Tabela 1 - Propriedades químicas de biochar e carvão ativado de endocarpo de *cocos nucifera* L. ....109

Tabela 2 - Atributos físicos de um solo de textura areia franca na profundidade de 10 – 20 cm, coletado em região de zona rural no município de Boca da Mata – Al, antes da aplicação dos tratamentos.....110

Tabela 3 - Atributos químicos de um solo de textura areia franca na profundidade de 10 – 20 cm, coletado em região de zona rural no município de Boca da Mata – Al, antes da aplicação dos tratamentos .....110

Tabela 4 - Resumo da análise de variância para os valores de altura da planta (ALT), número de folhas (NF), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) de plantas de alface ‘Elba’ .....113

Tabela 5 - Resumo da análise de variância dos teores foliares de potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) de plantas de alface 'Elba' cultivada sob diferentes fontes e doses de biocarvões .....114

Tabela 6 - Valores médios do número de folhas (NF) e matéria fresca da parte aérea (MFPA) da cultura da alface crespa cultivada sob diferentes tipos de biocarvões, biochar e carvão ativado .....118

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	18
<b>2. HIPÓTESE</b> .....	20
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	21
3.1 Condicionadores de solo: exemplo da Terra Preta de Índio .....	21
3.2 Produção de biocarvão: pirólise .....	23
3.3 Efeitos de biochar nas propriedades do solo .....	27
3.3.1 Mudanças nas propriedades físicas e hidráulicas do solo.....	28
3.3.2 Mudanças nas propriedades químicas do solo .....	30
3.3.3 Mudanças nas propriedades biológicas do solo e no meio ambiente .....	32
3.4 Carvão ativado .....	35
3.5 Cultura do coqueiro .....	37
3.6 Cultura da alface .....	38
<b>REFERENCIAS</b> .....	41
<b>4 PARTE 1: ALTERAÇÕES DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE UM SOLO CULTIVADO COM ALFACE (<i>Lactuca sativa</i>) APÓS A APLICAÇÃO DE BIOCHAR E CARVÃO ATIVADO</b> .....	61
<b>RESUMO</b> .....	61
<b>ABSTRACT</b> .....	62
<b>4.1 INTRODUÇÃO</b> .....	63
<b>4.2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	65
4.2.1 Produção de biochar e análise química do biochar e carvão ativado .....	65
4.2.2 Rendimento dos produtos da pirólise .....	67
4.2.3 Coleta e caracterização química e física do solo antes da incorporação de biochar e carvão ativado no solo .....	68
4.2.4 Instalação do experimento em casa de vegetação .....	69
4.2.5 Delineamento experimental e análise estatística .....	71



<b>4.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	71
4.3.1 Rendimento dos produtos pirolisados: biochar, óleo pirolenhoso e gás de síntese .....	71
4.3.2 pH, composição elementar, composição química e razões atômicas de biochar e carvão ativado do endocarpo do coco.....	72
4.3.3 Análise de variância dos componentes da fertilidade do solo .....	75
4.3.4 Teores de potássio (K), cálcio (Ca) e fósforo disponível (P) na interação biocarvão e dose, após 245 dias de incubação .....	77
4.3.5 Valores de acidez potencial (H+Al) e dos indicadores de fertilidade de solos tratados com biochar e carvão ativado, após 245 dias de incubação .....	80
4.3.6 Valores de pH, acidez potencial (H+Al), magnésio (Mg) e dos indicadores de fertilidade de solos em função das doses de biocarvões, após 245 dias de incubação ....	82
4.3.7 Análise de variância dos indicadores biológicos do solo .....	85
4.3.8 Interação do carbono orgânico total (COT), carbono da biomassa microbiana (CBM) e quociente metabólico (qmic) em solos tratados com doses de biochar e carvão ativado, após 245 dias de incubação.....	86
<b>4.4 CONCLUSÕES</b> .....	89
<b>REFERENCIAS</b> .....	90
<b>5 . PARTE 2: DESENVOLVIMENTO AGRONÔMICO DO ALFACE (<i>Lactuca sativa</i>) SUBMETIDO A DOSES DE BIOCHAR E DE CARVÃO ATIVADO DO ENDOCARPO DO COCO (<i>Cocos nucifera</i> L.)</b> .....	103
<b>RESUMO</b> .....	103
<b>ABSTRACT</b> .....	104
<b>5.1 INTRODUÇÃO</b> .....	105
<b>5.2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	107
5.2.1 Produção de biochar e análise química do biochar e carvão ativado .....	107
5.2.2 Coleta e caracterização química e física do solo antes da incorporação de biochar e carvão ativado no solo .....	110
5.2.3 Instalação do experimento em casa de vegetação .....	110
5.2.4 Delineamento experimental e análise estatística .....	111

<b>5.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	112
5.3.1 Análise de variância das variáveis de crescimento de plantas de alface e dos teores foliares de cálcio, magnésio, potássio e fósforo .....	112
5.3.2 Teores de fósforo e potássio em plantas de alface em função de doses e fontes de biocarvão no solo .....	114
5.3.3 Comparação de biochar com carvão ativado nos parâmetros de crescimento de plantas de alface ‘Elba’ .....	118
5.3.4 Altura da planta (ALT), número de folhas (NF) e massa fresca da parte aérea (MFPA) em função de doses de biocarvão.....	120
<b>5.4 CONCLUSÕES</b> .....	124
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	124

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O interesse da utilização de biochar como condicionador do solo surgiu com a descoberta das Terras Pretas de Índio (TPIs), localizadas na floresta amazônica. Estas terras foram modificadas por processos antrópicos e apresentam alta fertilidade, grande teor de carbono e alta produtividade vegetal, em contraste com os solos adjacentes que possuem baixa fertilidade e, como consequência, menor potencial agrícola. O responsável por estas características das TPIs é o carbono pirogênico, pois este carbono resiste à degradação microbiana, podendo permanecer no solo por centenas a milhares de anos (MANGRICH et al., 2011; NOVOTNY et al., 2009).

Este tipo de carbono é produzido por um processo termoquímico denominado de pirólise, que consiste na decomposição de biomassa em alta temperatura, na ausência total ou parcial de oxigênio. Um dos produtos gerados neste processo é denominado de biocarvão/biochar (FIGUEIREDO, 2011), e diversos resíduos agrícolas podem ser utilizados para produzi-lo, por exemplo, os oriundos do uso e da industrialização do fruto do coco-da-baía. O uso destes refugos para produção de biocarvão torna-se relevante para o Brasil devido o país ser considerado o quarto maior produtor de *cocos nucifera* do mundo, destacando-se a região Nordeste como a principal produtora desta cultura. Dentre os estados do Nordeste, o estado de Alagoas apresentou a quarta maior produção de coco em 2017, gerando, aproximadamente, 29 304 t de resíduos em 2013 (IBGE, 2017; 2013). Uma quantidade considerável destes resíduos é descartada de forma inadequada no meio ambiente, provocando problemas ambientais. Segundo Brainer (2017) estes refugos podem se tornar subprodutos com valor econômico, tendo como um destes subprodutos o biocarvão que pode ser utilizado como condicionador do solo, favorecendo a produção das culturas e, conseqüentemente, aumentando o lucro do agricultor.

As propriedades químicas e físicas dos biocarvões são responsáveis pela atuação destes materiais no solo. A estrutura interna do biochar, semelhante ao do grafite, aumenta a sua recalcitrância, promovendo, quando incorporado ao solo, o sequestro de carbono no solo. Além disso, este material possui poros e grupos funcionais nas suas superfícies que interagem com os componentes inorgânicos do solo promovendo uma melhoria na sua estrutura, na retenção de água e de nutrientes e também pode adsorver ou liberar íons de  $H^+$  e  $OH^-$ , respectivamente, modificando o pH do solo. E ainda as cinzas do biochar contribuem para o aumento do pH do solo e para disponibilidade de elementos essenciais

às plantas, como Ca, Mg e K. Outra propriedade do solo que pode ser influenciada pela presença de biochar é a microbiológica, pois os poros deste material podem servir de sítios preferenciais para os micro-organismos e o seu carbono lábil pode ser fonte de energia para biomassa microbiana (DEENIK et al., 2011; REZENDE et al., 2011; SINGH et al., 2010; LEHMANN e JOSEPH, 2009).

Outro material orgânico que também se classifica como biocarvão é o carvão ativado. Ele também é produzido por pirólise, diferenciando - se do biochar apenas pelo processo de ativação que a biomassa é submetida. Esta ativação tem por objetivo desobstruir os poros que ficaram preenchidos durante o processo termoquímico, resultando na formação de uma maior porosidade e área superficial (BEREK, 2014; SMITH et al., 2010; PEREIRA et al., 2008).

Devido a todas as alterações no solo ocasionadas pela incorporação do biochar e do carvão ativado, a produção vegetal pode ser potencializada. Um setor agrícola que pode ser beneficiado pela utilização destes materiais orgânicos no solo é a olericultura, devido a sua relevância social e econômica, conseqüentemente, gerando emprego e renda à população. Entre as hortaliças cultivadas, destaca-se a alface. Esta cultura é a segunda hortaliça que possui maior área de produção do Brasil, cerca de 91 172 ha, produzindo em torno de 1 701 872 toneladas (GARCIA FILHO, 2017; GOMES et al., 2014), apresentando uma crescente importância para o estado de Alagoas nos últimos anos.

Em Alagoas, o cultivo de alface é geralmente realizado pela agricultura familiar, distribuindo-se, principalmente, nos municípios de Arapiraca, Feira Grande, Junqueiro, Lagoa da Canoa, Limoeiro de Anadia, São Sebastião e Taquarana. Esta região é responsável pela produção e comercialização de 90% das folhosas consumidas no estado, abastecendo parte do mercado de Pernambuco, Bahia e Sergipe (SEPLANDE, 2012).

Diante da necessidade da melhoria do solo para aumentar a produção de hortaliças, especialmente da alface, no estado de Alagoas e da busca para a reutilização da casca do coco o objetivo desta pesquisa foi avaliar as alterações que o biochar e o carvão ativado do endocarpo do coco promoveram nos atributos químicos e microbiológicos do solo cultivado com alface.

## 2. HIPÓTESE

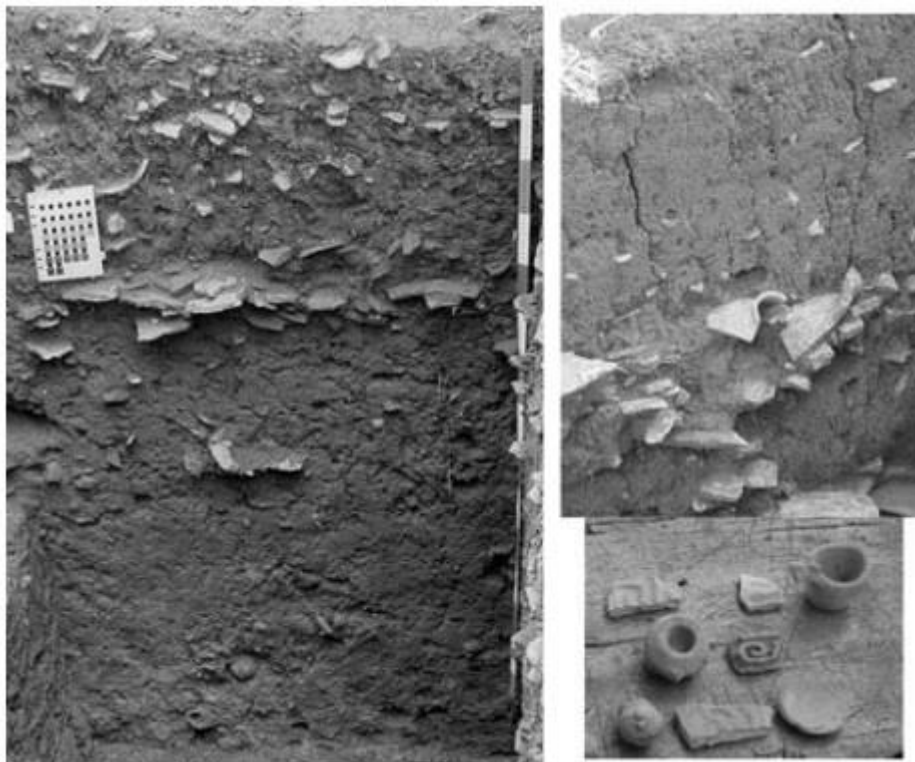
A presente pesquisa teve como hipótese o fato de que as características físicas e químicas do biochar e carvão ativado podem promover mudanças positivas na fertilidade e na parte microbiológica do solo, como também aumentar o estoque de carbono no solo. Sendo que estas modificações no solo podem ser diferentes já que o carvão ativado apresenta uma porosidade e área superficial específica maiores do que as do biochar, podendo afetar de forma distinta a produção de plantas de alface.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Condicionadores de solo: exemplo da Terra Preta de Índio

A floresta Amazônica, a maior floresta do mundo, é distribuída por nove países da América Latina, sendo 69% da sua extensão localizada no território brasileiro. No Brasil ela representa cerca de 5,1 milhões de km<sup>2</sup> da dimensão do país, apresentando uma ampla variedade de solos que, em sua grande maioria, possuem baixa saturação de bases, alta acidez, reduzida quantidade de nutrientes para as plantas e limitada capacidade de troca catiônica; o que restringe a produção agrícola nesses solos. Em contrapartida, existem solos que são férteis, resilientes e escuros, com aproximadamente 500 a 700 anos de idade, os quais são denominados de Terras Pretas de Índio ou Terras Pretas Arqueológicas. Essas terras foram descobertas, por volta da década de 1870, por naturalistas e geólogos que viajavam pela Amazônia e observaram a presença de solos escuros e férteis, diferenciando dos solos com baixa fertilidade presentes em quase toda região (MANGRICH et al., 2011; LAH, 2009; GLASER et al., 2001; CHRANE e SANCHEZ, 1982; AB'SABER, 1977).

Presume-se que as Terras Pretas de Índio (**Figura 1**) ocupam cerca de 1% a 10 % da floresta Amazônica, com dimensões que variam de 1 a 500 ha, distribuindo-se em manchas escuras aleatórias em toda a Amazônia, especialmente nas áreas brasileiras, podendo também ser encontradas na Colômbia, no Peru, no sul da Venezuela e nas Guianas (GLASER e BIRK, 2011; MANGRICH et al., 2011; KÄMPF e KERN, 2005; GERMAN, 2003). Estes solos foram formados pela ação conjunta de índios pré-colombianos e dos micro-organismos do solo. Os índios foram responsáveis pela incorporação ao solo de resíduos animais e vegetais, de excrementos humanos, de cinzas, de carbono pirogênico e de outros materiais. Já os micro-organismos atuaram na ciclagem de nutrientes, promovendo a decomposição de materiais orgânicos e a imobilização dos nutrientes nos seus tecidos, evitando perde-los por lixiviação (GLASER, 2007; LEHMANN et al., 2003).



**Figura 1.** Fotografias de perfis da Terra Preta de Índio e de artefatos de cerâmica encontrados nestes solos. Fonte: Novotony et al. (2009)

As Terras Pretas de Índio (TPIs) são diagnosticadas pela presença do horizonte *A antropico* entre 30 a 60 cm de profundidade, o qual é rico em matéria orgânica e contém pedaços de cerâmicas ou outros materiais que revelam a atividade de seres humanos em um longo espaço de tempo. O elevado teor de matéria orgânica nessas terras é atribuído à presença de uma matéria orgânica rica em carbono pirogênico, o qual foi formado provavelmente pela combustão incompleta de resíduos orgânicos. Este carbono também é encontrado, além das TPIs, em solos que a vegetação foi queimada naturalmente ou pela ação do homem (CAMPOS et al., 2012; MANGRICH et al., 2011; PETTER et al., 2010; WOODS e DENEVAN, 2009; GLASER et al., 2000; KERN e KAMPF, 1989).

O carbono pirogênico é constituído de estruturas poliaromáticas que o torna resistente à oxidação e altamente recalcitrante, permanecendo no solo mesmo em condições propícias para sua decomposição e lixiviação. Este tipo de carbono é encontrado 70 vezes mais nas Terras Pretas de Índio do que nos demais solos, apresentando a sua matéria orgânica, aproximadamente, de 35% de carbono pirolenhoso, enquanto nos solos adjacentes esse valor é em torno de 14%. A alta concentração desse carbono no solo é responsável pela coloração escura dessas terras. Além dos grandes níveis de carbono pirogênico, são encontrados altos teores de nutrientes, como nitrogênio, fósforo, potássio

e cálcio, que contribuem para a fertilidade desses solos, e ainda uma alta atividade biológica (EMBRAPA, 2013; CAMPOS et al., 2012; MANGRICH et al., 2011; CUNHA et al., 2009; GLASER, 2007; GLASER et al., 2001; SCHMIDT et al., 2000;).

A alta fertilidade destes solos foi observada por Campos et al. (2012) após caracterizarem os atributos químicos das terras pretas arqueológicas e dos solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. Estes autores verificaram que as propriedades químicas, como: pH, Ca, C, CTC, SB e V das terras pretas eram superiores aos solos não antropogênicos, proporcionando-lhe maior fertilidade. Souza et al. (2016) também verificaram que as terras pretas de índios apresentam maior fertilidade do que o solo adjacente, com maiores valores de P, Ca, CTC, SB, V e de capacidade de retenção de água.

As Terras Pretas de Índio são geralmente utilizadas por pequenos agricultores para cultivar laranja, mamão, goiaba, banana, coco, acerola, guaraná, cupuaçu, milho, mandioca, batata doce, tomate, pimentão, cebola, pepino e diversas outras culturas. O cultivo destes vegetais não altera a fertilidade do solo, sendo ela mantida mesmo depois de vários anos de uso. Devido à manutenção da qualidade destas terras ao longo do tempo e a sua viabilidade para uso agrícola, pesquisadores de vários países tiveram a ideia de produzir um material que apresentasse características semelhantes à matéria orgânica dos solos antropogênicos e que pudesse ser utilizado como condicionador de solos, tornando-os mais férteis. O material produzido foi o biocarvão ou biochar, o qual apresenta estruturas aromáticas condensadas e grupos funcionais nas suas superfícies que podem interagir com os componentes do solo, resultando na melhoria das suas condições físico-química (NOVOTNY et al., 2012; MANGRICH et al., 2011; PETTER, 2010; COUTO, 2009; NEVES JUNIOR, 2008).

### 3.2 Produção de biocarvão: pirólise

A produção de biocarvão, por meio da pirólise, pode ser uma maneira de minimizar os problemas ambientais referentes ao descarte inapropriado de resíduos ao meio ambiente, como também fornece uma alternativa de reutilização dos refugos gerados pelas atividades agropecuárias e agroindustriais e ainda para restos de madeiras de árvores que foram podadas ou cortadas nas cidades (ZHAO et al., 2014; LABEGALINI, 2013; ALHO, 2012; CANTRELL et al., 2012; MAJOR et al., 2010; FAAIJ et al., 2005),



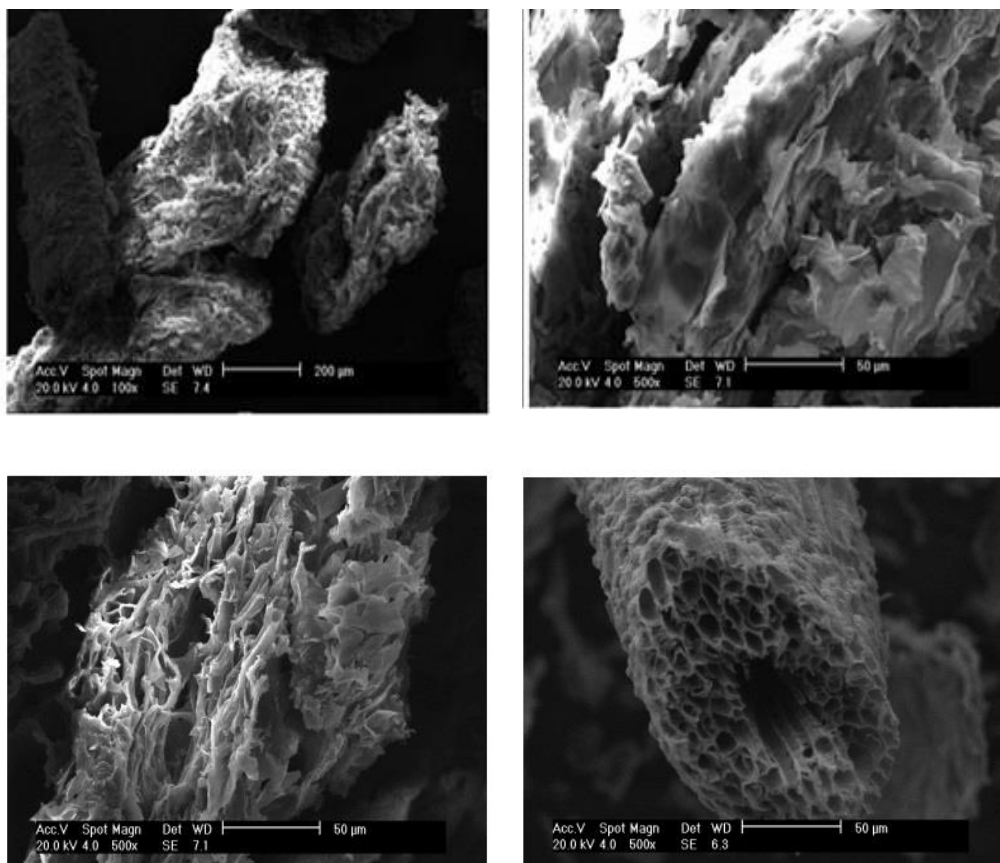
reduzindo o problema que muitas prefeituras podem ter em relação ao destino final destes materiais.

A pirólise é um processo de decomposição térmica de um material orgânico, na ausência ou na presença de quantidades limitadas de oxigênio e em uma ampla faixa de temperatura. O aquecimento desse material ocasiona a quebra e o rearranjo de ligações químicas das cadeias orgânicas e de interações físicas, promovendo a separação da estrutura molecular da biomassa, liberando compostos de carbono na forma sólida, líquida e gasosa; os quais são denominados, respectivamente, como biocarvão, óleo pirolenhoso e gás de síntese (NOBREGA, 2011; SOHI et al., 2010; DINIZ, 2005). Os principais gases de síntese que são liberados durante o processo endotérmico são os seguintes:  $H_2$ , CO,  $CO_2$  e  $CH_4$ . Eles podem ser empregados como combustível gasoso para geração de força – motriz e como energia térmica. Já o óleo pirolenhoso é constituído por uma parte ácida (extrato ácido ou pirolenhoso) e uma parte composta de hidrocarbonetos aromáticos, conhecida como alcatrão. Este óleo pode ser utilizado como inseticida, herbicida, fungicida, combustível líquido renovável, insumo para indústria farmacêutica entre outras finalidades. E por fim, o biocarvão que pode ser denominado de biochar quando utilizado como condicionador do solo e carvão ativado quando passa por um processo de ativação (CANABARRO et al., 2013; NOBREGA, 2011; LEHMANN e JOSEPH, 2009; SILVA, 2009; ELLIOTT, 2007; ANDRADE e CARVALHO, 1998).

A estrutura física e a composição química dos biocarvões (biochar e carvão ativado) são influenciadas pelas condições em que a pirólise é realizada, como temperatura final, tempo de residência, taxa de aquecimento e o tipo de gás presente no reator pirolítico. As altas temperaturas aumentam a quantidade de estruturas poliaromáticas no material, proporcionando a formação de biocarvão mais resistente à decomposição. Essa relação entre as condições de pirólise e as modificações nos biocarvões foram confirmadas por diversos autores (SIEBENEICHLER et al., 2017; CHEN et al., 2014; VIEIRA et al., 2013; WANG et al., 2013; YUAN et al., 2013; LEI et al.; 2009).

Durante o processo de pirólise, a porosidade e a área superficial da biomassa (**Figura 2**) são alteradas por meio do fornecimento de calor e do aumento da temperatura. O calor promove quebra, contração e expansão no material e o acréscimo na temperatura causa a liberação de compostos orgânicos na forma de gases, resultando na alteração da estrutura

física inicial da biomassa. Além disso, ocorre o rearranjo de átomos de carbono que incrementa a produção de poros no biocarvão e, como consequência, aumenta a sua área superficial específica, ocasionando maior capacidade de troca de cátions e de adsorção de nutrientes neste material orgânico. Outros fatores que contribuem para a formação de poros no biocarvão são a taxa e o tipo de gases infetada no sistema durante a ativação, a estrutura celular e a quantidade de poros presentes inicialmente na biomassa (CONZ, 2015; MORAIS, 2014; YUAN, 2013; MOHD e HAMMED, 2009; NOVAK, 2009; DINIZ, 2005). Ainda é possível verificar a formação de carbono na forma lábil e também na forma estável. Este possui uma estrutura mais aromática que possibilita uma oxidação mais lenta do biocarvão, enquanto aquele é constituído principalmente de estrutura alifática que permite uma oxidação mais rápida do material, estando o carbono prontamente disponível para os micro-organismos do solo. Com essa modificação na estrutura física e química no biocarvão, o seu tempo de decomposição torna-se maior do que a biomassa utilizada na sua produção (PETTER et al., 2016; PURAKAYASTHA et al., 2016; LEHMANN, 2009).



**Figura 2:** Grão do pó de coco *in-natura* a) varredura a 200 µm, b) detalhamento a 10 µm, c) carvão sem tratamento, d) carvão ativado com CH<sub>3</sub>COONa. Fonte: Morais, 2014.

Outro fator interessante que ocorre durante a pirólise é a perda seletiva dos átomos de hidrogênio e oxigênio, favorecendo o aumento na concentração de carbono no biocarvão (OLIVEIRA et al., 1982). Esta perda seletiva de átomos foi observada por Jindo et al. (2014) e Jung et al. (2016) ao pesquisarem a influência do aumento da temperatura de pirólise na concentração dos átomos de C, H e O no biochar. Estes autores constataram que a elevação da temperatura promoveu maiores perdas de H e O da biomassa quando comparada as de C, resultando no acréscimo do teor de C no biochar e na diminuição das relações H/C e O/C, indicando aumento na aromaticidade e redução na polaridade dos biochars, respectivamente.

Outras observações feitas por Jung et al. (2016), ao avaliarem biochars de pó de algas marinhas produzidos em quatro temperaturas na pirólise (200 °C à 800 °C), foram que estas temperaturas afetaram o rendimento e as propriedades químicas dos biochars. A maior porcentagem de biochar, 83,95%, foi encontrada na temperatura de 200°C indicando, segundo os autores, uma pirólise parcial da biomassa. Já na temperatura de 400°C, observou-se uma queda do rendimento do biochar, que foi atribuída, principalmente, à destruição da celulose e à decomposição de compostos estruturais.

Já Jindo et al. (2014) pesquisando os efeitos de 5 temperaturas de pirólise (400 °C até 800 °C) em quatro tipos de biomassa (dois resíduos de madeira e dois resíduos de arroz observaram que a porosidade, a área superficial e a capacidade de adsorção dos biochars aumentaram conforme o acréscimo na temperatura de pirólise. E em relação às fontes de matéria – prima, os biocarvões derivados de resíduos de madeira apresentaram maiores teores de materiais voláteis, por causa da presença de lignina que pode resistir parcialmente à degradação térmica em baixas temperaturas (400°C). Ademais, o rendimento do biochar de madeira foi superior ao de arroz.

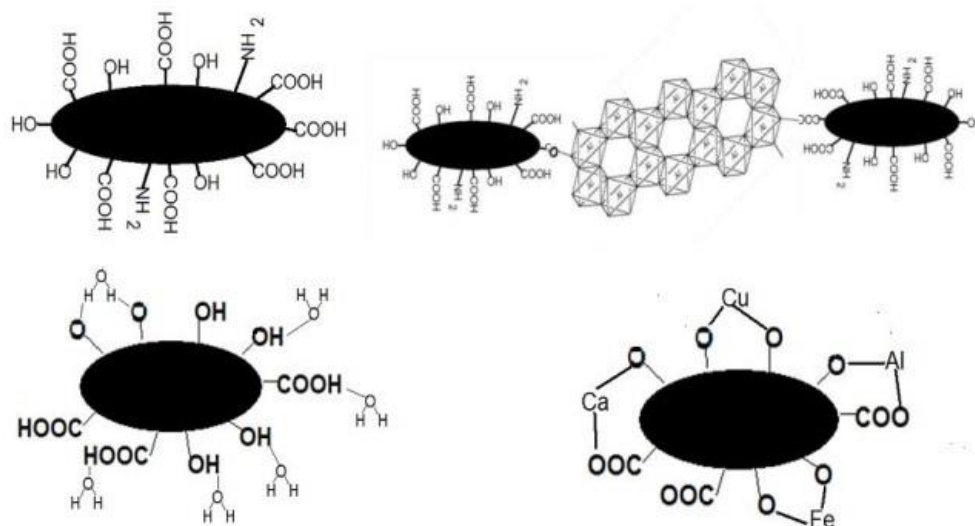
A área superficial específica e o volume de poros também podem ser influenciados pelo processo de ativação, como foi observado por Bouchelta et al. (2012) ao estudar efeitos de 6 (50, 100, 150, 200, 250 e 300 cm<sup>3</sup>/min) taxas de fluxo de nitrogênio no carvão ativado produzido por pirólise. Estes pesquisadores verificaram que o aumento da taxa de 50 até 150 cm<sup>3</sup> min<sup>-1</sup> estimulou o maior desenvolvimento da área superficial específica, do volume total de poros e do volume de microporos. No entanto, a partir da taxa de 150 cm<sup>3</sup> min<sup>-1</sup> os valores desses parâmetros foram reduzidos, indicando que as altas taxas

diminuem a temperatura das partículas e, como consequência, menos voláteis são liberados, resultando em menor produção de poros.

Bouchelta et al. (2012) ainda verificaram que os processos de pirólise e de ativação promoveram um considerável acréscimo na percentagem de carbono no biocarvão, sendo esse acréscimo de 94,52% e 98,44%, respectivamente. De acordo com os autores, esses aumentos na concentração de carbono estão relacionados às perdas de matérias voláteis e à decomposição de celulose e hemicelulose durante a pirólise e a decomposição da lignina na técnica de ativação.

### 3.3 Biochar como condicionador do solo

O biochar, por ser considerado um material que pode contribuir para redução de alguns problemas mundiais, como a produção de alimentos, as mudanças climáticas e a gestão de resíduos, tem despertado o interesse de diversos setores da sociedade. Ele é um material rico em carbono, produzido em um compartimento fechado com alta temperatura, com pouco ou nenhum fornecimento de oxigênio, diferindo do carvão vegetal pela sua utilização como condicionador do solo. O biochar tem o potencial de melhorar as propriedades físicas, químicas, hidráulicas e biológicas do solo da mesma forma que a matéria orgânica. Isso é possível devido as suas características peculiares, como alta estabilidade, conteúdo de nutrientes, capacidade de troca de cátions, pH neutro a alcalino, estrutura molecular, tempo de decomposição no solo, grande área superficial específica e alta porosidade (RITTTL, 2015; BEREK, 2014; IBRAHIM et al., 2013; PETTER e MADARI, 2012; LEHMANN e JOSEPH, 2009; LEHMANN, 2007). Uma esquematização do biocarvão e de sua ação no solo é mostrado na figura 3.



**Figura 3:** (A) Esquemática do biocarvão com estrutura interna inerte e estrutura periférica funcionalizada; (B) estrutura do solo; (C) retendo água; (D) coordenando íons metálicos nutrientes – ou tóxicos- para as plantas. Fonte: Rezende et al. (2011)

Vários tipos de materiais orgânicos podem ser utilizados para produzir biocarvão, como resíduo de milho, casca de cacau e casca de arroz, resíduos de algas marinhas, madeira, palha de cana-de-açúcar, camas de animais, refulos municipais, entre outros (FRIMPONG et al., 2016; JUNG et al., 2016; SMEBYE et al. 2016; NOVOTNY et al., 2015). O uso destes e de outros refulos para produção de biocarvão é relevante devido à grande quantidade que estes materiais são produzidos, dando a eles um destino final apropriado.

### 3.3.1 Mudanças nas propriedades físicas e hidráulicas do solo

O biochar melhora as características físicas do solo, como estrutura e porosidade; e reduz a densidade, a compactação e a erosão do solo. Consequentemente, ocorre uma melhoria nos processos de retenção e drenagem da água no perfil do solo (HSEU et al., 2014; PEAK et al., 2014; HERATH et al., 2013; IBRAHIM et al., 2013; LIU et al. 2012; PESSENDA et al., 2004).

As propriedades de retenção e drenagem de água no solo são dependentes da distribuição de poros que é influenciada pela textura, agregação e teor de matéria orgânica do solo. Esta dependência faz com que qualquer modificação que ocorra nestes atributos (textura, estrutura e teor de matéria orgânica) reflita na movimentação de água no perfil do solo. Um material com potencial de alterar estas características é o biochar, devido a

sua grande área superficial específica, porosidade e cargas superficiais que facilitam a sua interação com os minerais, matéria orgânica e micro-organismos no solo, resultando na melhoria da sua agregação e, como consequência, da sua retenção de água. Esta maior retenção de água é importante principalmente nos solos que possuem uma baixa capacidade de reter água, como os arenosos, os quais estão sujeitos a perder nutrientes pelo processo de lixiviação. Nestes solos, a água e os nutrientes retidos nos microporos do biochar são liberados à medida que o solo seca e o potencial matricial aumenta, podendo resultar em uma maior disponibilidade de nutrientes e água às plantas, especialmente nas estações secas do ano, e a redução na quantidade de irrigação (VERHEIJEN et al., 2010; MAJOR, 2009; CHENG et al., 2006). Além disso, por causa da mudança na agregação do solo, ocorre um acréscimo na sua porosidade total e redução na sua densidade, podendo ocasionar também uma melhoria na infiltração de água no solo, evitando a formação do escoamento superficial e, conseqüentemente, o processo erosivo (GWENZI et al., 2015; LEI e ZHANG, 2013).

Estas mudanças em algumas propriedades físicas do solo foram observadas por Herath et al. (2013) ao estudarem os efeitos do biochar nas propriedades físicas de dois tipos de solo. Estes autores verificaram que a adição do biocarvão aumentou, quando comparado ao controle, à quantidade de água disponível, à capacidade de retenção de água do solo, à porosidade do solo, especialmente macroporos, e melhorou a estabilidade dos agregados. Baseados nesses resultados, os pesquisadores concluíram que a porosidade do solo influenciou as mudanças nas propriedades hidráulicas do solo, com aumento na quantidade de água disponível, favorecendo a produtividade das culturas e reduzindo a frequência de irrigação.

Da mesma forma, Hseu et al. (2014) verificou que a aplicação de biochar ao solo modificou as características físicas do solo, como redução na densidade, na resistência de penetração e na formação de crostas no solo, resultando no aumento da capacidade de infiltração de água e na redução de perda de solo. A menor quantidade de crostas no solo foi devido à geração de macro e micro agregados que foi induzida pelo biochar. Esses macroagregados podem ter sido formados pelo rearranjo das partículas do solo por meio da interação do biochar com o solo (JIEN e WANG, 2013). Uma vez que a estrutura aromática do biochar pode melhorar a agregação do solo, aumentando a resistência dos agregados à água e a perturbações físicas, por exemplo, ciclo de umedecimento do solo (WANG et al.; 2017).

### 3.3.2 Mudanças nas propriedades químicas do solo

O biochar pode alterar as propriedades químicas do solo, aumentando o pH do solo e a capacidade de troca catiônica, elevando a disponibilidade de alguns cátions essenciais para as plantas (Ca, Mg e K) e reduzindo o teor de Al tóxico e de metais pesados. Todas essas modificações melhoram a fertilidade do solo e, conseqüentemente, o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das plantas são favorecidos (ZHENG et al., 2017; DEENIK e COONEY, 2016; LIMA et al., 2015; DEAL et al., 2012; DEENIK et al., 2011; NOVAK et al., 2009; LIANG et al., 2006).

A maioria dos biochars produzidos possuem um pH neutro a alcalino, o que pode afetar o pH do solo, promovendo o seu aumento. Este efeito de calagem do biochar é importante para solos ácidos, pois estes, geralmente, apresentam deficiência em nutrientes e alto teor de alumínio. O pH baixo diminui a capacidade de troca de cátions e aumenta a quantidade de alumínio, ocasionando redução na disponibilidade e absorção de nutrientes pelas plantas (ALBURQUERQUE et al., 2014; VERHEIJEN et al., 2010; BOHNEN, 1995).

Outra forma do biochar alterar a disponibilidade de nutrientes é por meio da mineralização dos elementos presentes na sua composição, como nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio, potássio, entre outros. E também por sua própria capacidade de reter os nutrientes na sua superfície, incrementando a quantidade destes elementos no solo. Esta capacidade de reter nutrientes está relacionada com as cargas negativas na superfície do biochar, as quais aumentam ao longo do tempo por meio do processo oxidativo e são responsáveis pela redução do processo de lixiviação (MAJOR et al., 2010; MAJOR, 2009; CHENG et al., 2008; LEHMANN e GLASER, 2003).

Esta alteração no pH após adição de biochar ao solo foi verificada por Martinsen et al. (2015) ao estudarem a ação de três tipos de biochar (casca de cacau, casca de arroz e casca de dendê) no solo. Eles observaram que a adição desses materiais ocasionou aumento no pH do solo, sendo que esse acréscimo foi superior no biocarvão de casca de cacau; que na dose de 0,6% promoveu mudança de pH de 4,7 para 5, enquanto os demais precisaram de uma dose 10 (casca de dendê) e 12 (casca de arroz) vezes maior para alcançar o pH 5. Na dose de 30%, os resultados do pH foram de 8,95 para casca de cacau, 5,52 para casca de dendê e 5,47 para casca de arroz. Essas diferenças podem estar

relacionadas à capacidade de neutralização ácida dos biochars, que é superior no de casca de cacau ( $217 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), com valores de  $36 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  e  $45 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  nas cascas de dendê e casca de arroz, respectivamente. Esses autores também observaram que o incremento do pH do solo reduziu o teor de Al tóxico no solo para zero na dose de 3% de casca de cacau, enquanto que a dose de 30% dos biochars de casca de arroz e casca de dendê não foi suficiente para eliminar este elemento dos locais estudados.

Outro efeito do biochar no solo foi encontrado na pesquisa de Suppadit et al. (2012) que, analisando os efeitos de diferentes taxas de biochar de codorniz na cultura da soja, notaram que a aplicação desse biocarvão no solo elevou os teores de Ca, Mg, K, N, Fe, Zn, Cu, Mn e C. Segundo Eshghi et al. (2010), a capacidade de absorção e retenção de nutrientes do biochar podem ter causado o aumento na disponibilidade destes elementos.

No que diz respeito à capacidade de troca de cátions do solo após adição de biochar, Andrade et al. (2015), estudando os efeitos do aumento da adição de cama de frango e de seu biochar nas propriedades do solo durante 64 dias, constataram um acréscimo linear da CTC efetiva em função das doses de biocarvão, sendo que essa variável foi apenas superior à cama de frango nas doses de  $4000 \text{ mg}$  e  $8000 \text{ mg kg}^{-1}$  de carbono. Como ocorreu uma correlação positiva entre o pH e a CTC efetiva nos tratamentos com o biochar, foi possível afirmar que a alcalinidade desse material foi responsável, pelo menos em parte, pelo incremento do pH e da CTC efetiva do solo. Esses autores também observaram, para quase todas as doses estudadas, que a CTC potencial do solo tratado com cama de frango foi superior ao com biochar, demonstrando que a cama de frango foi mais efetiva na geração de cargas no solo. Além disso, a mineralização do carbono inicial aplicado ao solo como cama de frango foi 50%, já no biocarvão foi de apenas 5%; com acúmulo de carbono no solo de 40% e 80%, respectivamente. Em relação a razão da CTC/C, a maior quantidade de cargas negativas foi gerada no solo com cama de frango. De acordo com vários estudos (ANDRADE et al., 2015; CHENG et al., 2006; COHEN-OFRI et al., 2006) a CTC do biocarvão aumenta ao longo dos anos pelo ataque de micro-organismos e pelas reações de oxidação abióticas, aumentando assim as cargas negativas. Então acréscimos na CTC do solo devem ser esperados ao passar do tempo devido à recalcitrância do biocarvão no ambiente.



Aplicação de biochar também reduz a disponibilidade de metais pesados no solo e, conseqüentemente, sua acumulação nas plantas, como foi confirmado por Zheng et al. (2017) ao estudarem os efeitos de dois métodos de aplicação (toda área ou na área em volta do crescimento da raiz) de biochar em solos contaminado com cádmio e na acumulação desse metal em plantas de alface. A adição de doses de biochar em toda área promoveu redução no teor de cádmio extraível no solo. Tal resultado pode estar relacionado com o aumento do pH do solo, já que esse acréscimo gera um número maior de cargas negativas na superfície e, conseqüentemente, a capacidade de sorção do solo para cátions metálicos é maior. Além disso, essa redução está vinculada ao potencial do biochar de adsorver metais na sua superfície (UCHIMIYA et al., 2011a, b; BRADL, 2004). Em relação às plantas de alface, foi observado que o teor de Cd nas alfaces reduziu aos níveis de concentração em alimentos permitidos pela China ( $<0.2 \mu\text{g g}^{-1}$ ), nos dois métodos de aplicação de biochar. No estudo os pesquisadores sugerem que a aplicação de biochar apenas em volta do sistema radicular é a mais recomendada, pois esse método reduz os custos com o biochar e com a imobilização de Cd e também diminui o acúmulo desse metal na planta.

O uso de biochar pode alterar a fertilidade do solo, refletindo na produção das culturas. Uzoma et al. (2011) observaram que o estrume de vaca afetou o crescimento (altura e número de folhas) e o rendimento de milho comparado ao controle. Esse resultado pode estar relacionado à maior disponibilidade de nutrientes (N, P, Ca, Mg e K), confirmada pelos teores de nutrientes e CTC que foram superiores nos solos com biochar, sucedendo no crescimento e rendimento mais acentuado das plantas.

### 3.3.3 Mudanças nas propriedades biológicas do solo e no meio ambiente

O biochar modifica as propriedades biológicas do solo por fornecer abrigo e proteção física aos micro-organismos contra os predadores, afetando a diversidade microbiana do solo. Além disso, os componentes lábeis desse material podem ser utilizados como fonte de carbono pelos micro-organismos, estimulando o crescimento da biomassa microbiana e a sua atividade (LEHMAN et al., 2011).

O biochar apresenta um tempo de vida superior aos demais compostos carbônicos, com uma estabilidade que pode ser 1500 até 2000 vezes maior do que o material não pirolisado, podendo permanecer no solo por centenas ou até milhares de anos. Isso

acontece devido à presença de carbono em estruturas aromáticas que torna a sua decomposição lenta mesmo em condições ambientais e biológicas favoráveis, resultando no sequestro/estoque de carbono no solo e, conseqüentemente, na redução da emissão de carbono para atmosfera. Além disso, o biocarvão pode diminuir a emissão de óxido nitroso ( $N_2O$ ). O  $N_2O$  tem 298 vezes mais potencial de aquecimento global do que o  $CO_2$  no período de 10 anos, apresentando como principal fonte de emissão deste gás a agricultura, por meio da utilização de fertilizantes nitrogenados. Essa característica do biochar é importante para diminuir os problemas relacionados com o aquecimento global (SCHULZ e GLASER, 2012; REZENDE et al., 2011; SOHI et al., 2010; FORSTER et al., 2007; FOWLES, 2007; LEHMANN, 2007; LEHMANN et al., 2006; RONDON et al., 2005).

O sequestro de carbono no solo não está apenas relacionado com o fato do biochar ser fonte de carbono para o solo, mas também com sua ação na agregação das partículas do solo. Isso foi observado por Wang et al. (2017) ao estudarem a reação de dois tipos de solo com duas fontes de biochar. De forma geral, os biochars reduziram a perda de carbono no solo siltoso pelo aumento da agregação e do armazenamento de carbono nos macroagregados. Já no solo de textura arenosa, os biochars estimularam as perdas de carbono que foram relacionadas ao baixo efeito na agregação do solo, deixando a matéria orgânica mais acessível ao ataque microbiano. Assim, os autores sugerem que a adição de biochar favorece o sequestro de carbono no solo por meio da maior agregação das partículas e estabilização da MOS nos agregados, confrontando a ideia que o biochar sequestra carbono apenas pelo fato de ser recalcitrante.

A presença de biochar no solo também pode modificar a comunidade microbiana do solo, como observado por Pan et al. (2016), que verificaram que a estrutura da comunidade microbiana do solo tratado com a palha de arroz foi distinta do solo com biochar, porque essas fontes possuem diferentes formas de carbono. O carbono lábil da palha de arroz e o carbono recalcitrante do biochar são decompostos por diferentes micro-organismos. Como a palha é constituída por diferentes biopolímeros recalcitrantes, ela é utilizada como substrato por diversos grupos microbianos; já o biochar, que é composto de uma grande quantidade de aril-C, é mais difícil de ser usado pelos micro-organismos. Com estes resultados os autores concluíram que o biochar de palha de arroz é pouco utilizado pelos micro-organismos do solo em comparação à palha, logo, o biochar é uma alternativa de sequestrar carbono no solo.

As observações feitas nos estudos de Wang et al. (2017) e Pan et al. (2016) estão relacionados com os processos de estabilização do carbono no solo. De acordo com DIECKOW et al. (2009), GUGGENBERGER e KAISER (2003), EDWARDS e BREMNER (1967), a estabilização do carbono no solo pode ocorrer pela proteção física da matéria orgânica em agregados do solo, pela estabilização bioquímica e pela estabilidade por meio da interação dos compostos orgânicos com os minerais do solo ou estabilização química da matéria orgânica. A proteção física está relacionada à localização da matéria orgânica dentro dos agregados, promovendo assim, uma proteção física a este material à ação dos micro-organismos. Já a estabilização bioquímica envolve a composição elementar e os grupos funcionais presentes no material orgânico, tornando-o recalcitrante. E a estabilização química ocorre por meio de ligações químicas e físico-químicas entre substâncias orgânicas e inorgânicas, formando complexos organo-minerais que resultam na redução da taxa de decomposição das moléculas orgânicas.

Este aumento no estoque/sequestro de carbono no solo foi verificado por Shenbagavalli e Mahimairaja (2012) ao investigarem a influência de doses de biochar na dinâmica de carbono e nutrientes em solo, durante o período de 90 dias, em condições laboratoriais. Estes pesquisadores observaram que o biochar teve efeito significativo no teor do carbono orgânico total do solo. No final dos 90 dias, o teor COT do controle era de  $4,5 \text{ g kg}^{-1}$ , enquanto no solo com biochar esse teor variou de  $6,9$  até  $18,1 \text{ g kg}^{-1}$ , sendo que o maior valor foi obtido na dose de 5% de biocarvão. Isso pode ter acontecido por causa do alto teor de carbono no biochar. Também verificaram aumento no nível de ácidos húmico e fúlvico no solo após adição de biochar, indicando que uma grande quantidade de carbono foi sequestrada no solo.

O biochar além de reduzir a emissão de carbono para atmosfera, também diminui a emissão de óxido nitroso, como verificado por Nelissen et al. (2014). Estes pesquisadores observaram que os solos tratados com biochar após serem fertilizados com ureia ou nitrato apresentaram diminuição na emissão de  $\text{N}_2\text{O}$ . Esta redução pode estar relacionada, segundo os autores, à baixa disponibilidade de substrato para os micro-organismos realizarem a nitrificação e desnitrificação, a imobilização biótica de nitrogênio, a sorção de  $\text{NH}_4^+$  ou  $\text{NO}_3^-$  pelos microporos do biochar e ao aumento na emissão de  $\text{NH}_3$ . Outra pesquisa que também evidenciou a ação do biochar na emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  foi a de Case et al. (2012). Estes estudiosos concluíram que esta redução na emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  foi devido, provavelmente, à imobilização física ou biológica de  $\text{NO}_3^-$  na presença de biochar.

### 3.4 Carvão ativado como condicionador do solo

O carvão ativado é um material utilizado para tratar efluentes, água e solo. A palavra ativada refere-se ao aumento da porosidade do material após um processo denominado ativação. Durante a ativação, a oxidação dos átomos de carbono resulta no aumento da área superficial do carvão, a qual pode alcançar valor entre 200 a 800 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (HALE et al., 2012; SCHNEIDER, 2008; PEREIRA et al., 2008; CLAUDINO, 2003; SONTHEIMER et al., 1988).

Esse carvão é produzido em dois processos denominados de pirólise e ativação. A pirólise é realizada em temperaturas altas acima de 400°C e em um compartimento fechado com atmosfera inerte. Durante a pirólise, a umidade e os gases são removidos da matéria-prima, resultando na formação de um produto carbonáceo que é constituído de minerais que estavam presentes na biomassa e que apresenta uma área superficial específica reduzida, devido à baixa formação de poros. Em seguida, ocorre a ativação, que é uma etapa que influencia as propriedades estruturais do carvão, como porosidade, área superficial específica e presença de grupos funcionais (YANG et al., 2010; EL-HENDAWY et al., 2008; EL-SHEIKH et al., 2004).

A ativação desenvolve a porosidade do carvão através da abertura prévia de poros inacessíveis, da abertura de novos poros e do alargamento dos poros existentes. E também por meio da ruptura de ligações, da ordenação estrutural de carbono residual e de reações de polimerização (BYRNE e NAGLE, 1997; RODRÍGUEZ-REINOSO, 1991). A ativação também remove os compostos orgânicos armazenados nos poros do carvão, desobstruindo-os. Existem duas maneiras de realizá-la: através da ativação física ou da ativação química.

A ativação física ocorre em duas etapas. Na primeira, a biomassa é pirolisada em temperaturas mais baixas e depois ela é carbonizada em temperaturas elevadas entre 800 e 1000 °C, sob fluxo de gases oxidativos, como CO<sub>2</sub>, vapor d'água ou a mistura de ambos. Entre estes dois tipos de gases oxidativos o vapor d'água é o mais utilizado, pois apresenta um tamanho menor que facilita o contato com os microporos, aumentando a sua reação. Esse processo é o mais empregado nas indústrias de produção de carvão ativado, pois é um método simples e o carvão por ele produzido apresenta alta microporosidade e elevada resistência física. Enquanto na ativação química, a biomassa é primeiramente misturada com materiais químicos desidratantes, como H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, NaOH, KOH, ZnCl<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, para

depois ser carbonizada. Este processo é considerado mais vantajoso do que o físico porque ele é realizado em apenas uma etapa de carbonização, a temperatura de pirólise é menor, o tempo de ativação é baixo e o rendimento, a porosidade e a área superficial do carvão são maiores. Entre os agentes químicos utilizados, o  $ZnCl_2$  é o mais usado, pois o seu custo é relativamente mais baixo e ele atua como um desidratador, favorecendo uma maior aromaticidade do material, possuindo então uma alta capacidade de ativação (YANG et al., 2010; ZHU et al., 2008; AZARGOHAR e DALAI, 2005; SOARES, 2001).

Os carvões ativados fisicamente são mais empregados no processo de adsorção de gases, porque a sua estrutura porosa é formada por fendas finas; enquanto os ativados quimicamente são mais utilizados para adsorção de líquidos, já que os seus poros são grandes. A sua capacidade de adsorção está diretamente relacionada à área de superfície específica, ao volume de poros e à alta reatividade superficial. Na sua superfície existem grupos funcionais básicos e ácidos. Estes realizam troca de ânions e possuem uma grande quantidade de oxigênio; aqueles apresentam uma pequena quantidade de oxigênio e comportamento de troca de cátions (ZHU et al., 2008; FOGLER, 1998; BOEHM, 1994).

Este carvão possui alta porosidade que é resultante da grande variedade de tamanhos e formas de poros (macroporos, mesoporos e microporos), os quais surgem pela desorganização dos átomos do material precursor. Além disso, ele apresenta uma extensa área superficial específica e na sua superfície átomos de oxigênio, nitrogênio e hidrogênio que dão origem a diferentes grupos funcionais. A sua porosidade, área superficial específica e a presença de grupos funcionais na sua superfície fazem com que esse material tenha uma alta capacidade de adsorção. Os seus grupos funcionais podem ser derivados da biomassa ou do processo de produção do carvão, especialmente a ativação, ou ainda do processo de oxidação (FIGUEIREDO e PEREIRA, 2010; LÁSZLÓ et al., 2005; SCHETTINO JUNIOR, 2004; YANG, 2003; RODRIGUÉZ-REINOSO, 1998; DUBININ, 1996; HAMERLINCK e MERTENS, 1994; SNOEYINK e WEBER, 1967).

O carvão ativado pode ser produzido a partir de materiais sólidos carbonáceos com natureza sintética ou natural. No entanto, as biomassas de grande relevância na produção deste material são os resíduos formados nas atividades rurais, porque são fontes renováveis e são produzidos em grande quantidade, o que os tornam uma fonte barata e de fácil acesso; além disso, são ricos em carbono e tem baixo teor de cinzas. Dentro do universo de restos agrícolas, a madeira de pinus e de eucalipto e o endocarpo do coco-da-baía são as principais matérias-primas utilizadas para produção de carvões ativados comerciais (WERLANG et al., 2013; MESTRE et al., 2009; KALDERIS et al., 2008).

### 3.5 Cultura do coqueiro

O coqueiro é uma cultura de importância mundial, pois é cultivada em aproximadamente 90 países, sendo a sua produção destinada, na maioria das vezes, à extração de óleo e à produção de coco seco desidratado. Dentre os maiores produtores de coco do mundo (Indonésia, Filipinas e Índia), o Brasil destaca-se como o quarto maior produtor, apresentando uma produção de aproximadamente 2,8 milhões de toneladas, sendo responsável por cerca de 80% da produção de coco na América do Sul. A região Nordeste é considerada o território com maior área plantada e maior produção de coco do país, localizando-se as áreas de plantio, principalmente, nas baixadas litorâneas e nos tabuleiros costeiros. Dentre os estados brasileiros, o estado de Alagoas é considerado o quinto maior produtor (BRAINER, 2017; IBGE, 2017; MARTINS e JESUS JUNIOR, 2014; FONTES et al., 2003).

O coqueiro (*Cocos Nucifera* L.), que tem como centro de origem o Sudeste Asiático, é uma monocotiledônea que pertence à família Arecaceae. Esta cultura é constituída por uma raiz fasciculada, estipe, folha do tipo penada e inflorescência paniculada. O seu fruto é formado pelo epicarpo, mesocarpo, endocarpo, albúmen sólido e albúmen líquido. O coco verde, geralmente, é utilizado para o consumo da água de coco, enquanto o coco seco é destinado ao consumo in natura e à indústria alimentícia para produção de leite de coco, doce, fibras, coco ralado, entre outros produtos e subprodutos. Considera-se que a preferência dos nordestinos é pelo coco seco, representando 80% do que é consumido quando comparado ao coco verde. Além do fruto, o caule, a folha, a raiz e a inflorescência também são utilizados para geração de diversos produtos (SILVEIRA, 2008; EMBRAPA, 2006; ARAGÃO, 2002; EMBRAPA, 2002).

Como esta palmeira é cultivada em quase todo território nacional e o consumo de coco é elevado, principalmente nas áreas litorâneas, existe uma preocupação com a quantidade de resíduos que é gerada durante o seu cultivo e o seu consumo, os quais são, por exemplo, casca de coco, fibra e cachos do coqueiro. Muitas vezes esses refugos não são reaproveitados, sendo eles queimados ou descartados em lixões, promovendo a poluição do meio ambiente, degradando a paisagem, produzindo mau cheiro, colocando em risco a saúde humana e de animais. Além disso, o descarte inapropriado dos resíduos, reduz o ganho econômico dos agricultores e comerciantes de coco, pois poderiam ser utilizados para gerar diversos produtos, como carpete, estofamento de carros, vasos para o cultivo de plantas ornamentais, produção de substrato (vermiculita vegetal), bolsas, bijuterias, carvão vegetal, gás combustível e bioóleo entre outras finalidades (PAZ et al., 2017; NUNES et al., 2007).

A produção de carvão vegetal (biochar e carvão ativado), gás combustível e o bioóleo podem ser realizadas pelo processo denominado de pirólise. Esse processo é uma alternativa viável para produção de energia renovável e de agregação de valor aos refugos da agricultura. O biochar é utilizado como condicionador de solo, pois ele melhora a fertilidade do solo e, conseqüentemente, a produção das culturas (PAZ et al., 2017; HARIZ et al., 2015). Todos os resíduos gerados durante todo o ciclo e industrialização, tanto do coco verde quanto do coco seco, podem ser matéria-prima para produção de biochar e carvão ativado, sendo que alguns destes refugos devem passar por um pré-tratamento para que não seja necessária muita energia para realização da pirólise, por exemplo, o coco verde que deve passar por uma pré-secagem.

### 3.6 Cultura da alface

O consumo de hortaliças tem apresentado um índice crescente em virtude tanto do aumento da população quanto da mudança nos hábitos alimentares dos indivíduos. Dentre estas hortaliças a alface destaca-se como a folhosa mais consumida pelos brasileiros e mais cultivada no mundo, sendo tradicionalmente produzida por pequenos agricultores, atribuindo-lhe grande relevância econômica e social, pois fixa o homem no campo (SALA e COSTA, 2012; OHSE et al., 2001; NAKAGAWA et al., 1993).

A alface (*Lactuca sativa*) é originada da Ásia. Ela pertence à família Asteraceae e é classificada como uma planta herbácea de ciclo anual; apresentando como características

morfológicas um caule pequeno, folhas e um sistema radicular superficial. As suas folhas podem ser de coloração roxa ou verde, lisas ou crespas, com ou sem formação de cabeça, dependendo da cultivar. Devido a estas várias características nas suas folhas, as plantas de alface são classificadas em seis grupos: alface repolhuda – manteiga, alface repolhuda – crespa (americana); solta e lisa; solta e crespa; romana e mimosa. As do tipo crespas são as mais consumidas, representando 70% da predileção do consumidor e também é a mais preferida pelos produtores, pois possui resistência às doenças, ao transporte e ao pendoamento precoce, além de ter boa adaptação ao cultivo no verão e maior período de pós-colheita (FILGUEIRA, 2007; RODRIGUES et al., 2007; COSTA e SALA, 2005; FILGUEIRA, 2003).

A alface é constituída de altos teores de vitaminas A, B1, B2, B6 e C, de cálcio e ferro e de fibra, sendo considerada uma excelente fonte nutricional. Essa hortaliça tem ação calmante, diurética e laxante, além de possuir um sabor agradável e refrescante. Por causa dessas características, ela é consumida em todo o mundo, sendo destinada ao consumo in natura, fast food e na forma de produtos minimamente processados (TÖFOLI et al., 2014; KRAUSE-SAKATE et. al., 2008; CASALI et al., 1980; CHRISTÓVÃO, 1958).

Essa hortaliça é propagada por meio de sementes, as quais são semeadas em bandejas para produção de mudas, que são transplantadas para o campo quando apresentam quatro folhas definitivas. A planta de alface é colhida no ponto máximo de desenvolvimento, isto é, antes do início do pendoamento, porque ele causa sabor amargo nas folhas, tornando-as sem valor comercial (FILGUEIRA, 2007).

No estado de Alagoas, o cultivo de alface e de outras hortaliças, como coentro, cebolinha verde e couve-flor, tem apresentado um crescimento nos últimos anos devido à redução no plantio do fumo. Esse acréscimo no plantio dessas olerícolas está relacionado com a sua alta produtividade, alta rentabilidade e também com a atribuição social que essa atividade promove, como o emprego de pessoas que trabalhavam nas áreas oriundas da fumicultura. No entanto, as práticas agrícolas adotadas durante o plantio de alface, como preparação de solo, adubações, irrigações entre outras, são inadequadas para a cultura obter o seu máximo desenvolvimento. Para alcançar uma boa produtividade, essa hortaliça exige condições físicas e químicas do solo adequadas para o desenvolvimento do seu sistema radicular, como solos não compactados e ricos em matéria orgânica, já que suas raízes são muito sensíveis e superficiais; e também demanda



o suprimento de nutrientes e de água durante todo o seu ciclo. Tais exigências podem ser atendidas por meio do manejo correto do solo e do uso de insumos que aumentem a disponibilidade de nutrientes (SANTOS et al., 2015; ARAUJO, 2010; LOPES et al., 2005; SANTOS e PEREIRA, 2004; FILGUEIRA, 1987) e água para as plantas.

Dois materiais orgânicos que podem melhorar as propriedades físicas e químicas do solo e assim beneficiarem a produtividade das plantas de alface são o biochar e o carvão ativado. Essa afirmativa foi confirmada por alguns pesquisadores que verificaram que a adição de biochar no solo promoveu aumento significativo na produtividade das plantas de alface, como Trupiano et al. (2017), Woldetsadik et al. (2017) e Zheng et al. (2017); sendo este resultado atribuído ao acréscimo nos teores de nutrientes dos solos tratados com biochar, a melhoria nas características físicas do solo, como aumento no conteúdo de água no solo e redução na densidade do solo (WOLDETSADIK et al., 2017; ZHENG et al., 2017).

Este efeito do biochar no desenvolvimento das culturas, especialmente, as hortaliças, foi estudado por Carter et al. (2013) que avaliaram os efeitos da aplicação de biochar de casca de arroz em solos, com e sem adubação no cultivo de alface e repolho. Eles verificaram que a presença de biochar no solo promoveu aumento na produção de biomassa nestas plantas, sendo que este acréscimo correspondeu a 903% na dose de 50 g de biochar por kg de solo em relação ao controle no solo não adubado. No solo fertilizado, as doses de 50 g kg<sup>-1</sup> e 150 g kg<sup>-1</sup> também incrementaram o crescimento das plantas de alface. Quando os autores compararam a produção em relação à presença ou ausência de fertilizante no solo, eles observaram que a adição do biochar no solo fertilizado promoveu um crescimento menor das plantas em comparação ao solo sem fertilizante, indicando uma necessidade de aplicação de doses maiores de biochar na presença de adubo no solo. Um dos fatores que pode ter contribuído para este aumento no crescimento das plantas foi a mudança no pH do solo promovido pelo biochar.

Outra pesquisa que analisou o comportamento do crescimento de alface, durante 7 semanas, à presença de doses de biochar no solo foi Upadhyay et al. (2014). Estes pesquisadores observaram que nas doses de 30, 50 e 100 t ha<sup>-1</sup>, a altura das plantas de alface foi semelhante até a sétima semana após o plantio, sendo diferentes da testemunha. Em relação à massa fresca da parte aérea (MFPA), a concentração de 30 t ha<sup>-1</sup> foi a que proporcionou uma MFPA maior do que a do controle e das taxas de 10 e 100 t ha<sup>-1</sup>, e

igual à dose de 50 t ha<sup>-1</sup>. A semelhança da MFPA entre as doses de 30 e 50 t ha<sup>-1</sup> e entre as taxas de 10 e 100 t ha<sup>-1</sup> pode indicar, segundo os autores, sensibilidade das plantas à quantidade de biocarvão superior a 30 t ha<sup>-1</sup>, tornando essa dose a mais indicada para maior produção de alface.

Silva (2018) também observaram que a aplicação de 10% de biocarvão no substrato para produção de mudas de alface resultou no aumento do desenvolvimento das plântulas das mudas de alface devido à melhoria da fertilidade do substrato.

Diante do exposto, pode-se perceber que existe a necessidade da aplicação de novas técnicas de manejo de solo que possam melhorar a fertilidade dos solos e a produtividade das plantas, como a alface, ao mesmo tempo que o estoque de carbono no solo é aumentado e o problema relacionado com a grande quantidade de resíduo gerado durante o consumo e industrialização do coco é, em parte, solucionado. A técnica agrícola que abrange todos estes aspectos citados é a produção e utilização de biochar e carvão ativado. Todavia, existe ainda a necessidade de produção destes materiais orgânicos em grande quantidade para poder serem utilizados pelos agricultores no campo, sendo que esta produção resulte em um preço acessível para os agricultores.

## REFERENCIAS

- AB'SABER, A.N. Os domínios morfoclimáticos da América do Sul: primeira aproximação. **Geomorfologia**, São Paulo, v. 53, p. 1–23, 1977.
- ALBURQUERQUE, J. A.; CALERO, J. M.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CAMPILLO, M. C. D.; GALLARDO, A.; VILLAR, R. J. Effects of biochars produced from different feedstocks on soil properties and sunflower growth. **Plant Nutr. Soil Sci**, v. 177, p. 16–25, 2014.
- ALHO, C. F. B. V. **Efeito da temperatura final de pirólise na estabilidade de biocarvão produzido a partir de madeira de *Pinus sp.* e *Eucalyptus sp.*** 2012. 58f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

ANDRADE, A.M.; CARVALHO, L.M. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do Estado do Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, v.5, p. 24-42, 1998.

ANDRADE, C. A.; BIBAR, M. P. S.; COSCIONE, A. R.; PIRES, A. M. M.; SOARES, A. G. Mineralização e efeitos de biocarvão de cama de frango sobre a capacidade de troca catiônica do solo. **Pesq. agropec. bras.**, v.50, p.407-416, 2015.

ARAGÃO, W. M. Fruto do coqueiro para consumo natural. In: ARAGÃO, W.M. (Ed.). **Coco: pós-colheita**. Brasília: Embrapa, 2002. p.19-25.

ARAÚJO, B. F. O. **Fitomassa da cultura da alface (*lactuca sativa* L.) sob a aplicação de fertilizantes minerais e substância húmica**. 2010. 24f. Trabalho de conclusão de curso (Engenheiro Agrônomo) - Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, 2010.

AZARGOHAR, R.; DALAI, A.K. Production of activated carbon from Luscar char: Experimental and modeling studies. **Microporous and Mesoporous Materials**, v.85, p. 219–225, 2005.

BEREK, A. K. Exploring the potential roles of biochars on land degradation mitigation. **Journal of Degraded and Mining Lands Management**, v. 1, p. 149-158, 2014.

BOEHM, P.H. Some aspects of the surface chemistry of carbon blacks on other carbons. **Carbon**, v. 32, p. 759-769, 1994.

BOHNEN, H. Acidez e calagem. In: GIANELLO, C., BISSANI, C.A., TEDESCO, M.J. (Eds.). **Princípios de fertilidade de solo**. Porto Alegre: Dep. de Solos. Fac. de Agronomia. UFRGS, 1995. p.51-76.

BOUCHELTA, C; MEDJRAM, M. S.; ZOUBIDA, M.; CHEKKAT, F. A.; RAMDANE, N.; BELLAT, J. Effects of pyrolysis conditions on the porous structure development of date pits activated carbon. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 94, p. 215–222, 2012.

BRADL, H. B. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. **J Colloid Interface Sci**, v. 277, p.1–18, 2004.

BRAINER, S. A adaptação do nordeste ao cenário de modernização da cocoicultura brasileira. **Caderno setorial Etene**, n.18, 2017.

BRODOWSKI, S., JOHN, B., FLESSA, H., AMELUNG, W. Aggregate-occluded black carbon in soil. **European Journal of Soil Science**, v. 57, p. 539–546, 2006.

BYRNE, C.E., NAGLE, D.C. Carbonization of wood for advanced materials applications. **Carbon**, v. 35, p. 259–266, 1997.

CAMPOS, M.C.C.; SANTOS, L.A.C.; SILVA, D.M.P.; MANTOVANELLI, B.C. e SOARES, M.D.R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. R. **Agro@mbiente On-line**, v. 6, p.102-109, 2012.

CANABARRO N, SOARES JF, ANCHIETA CG, KELLING CS, MAZUTTI MA. Thermochemical processes for biofuels production from biomass. **Sustain Chem Proc**, v.1, p.1-10, 2013.

CANTRELL, K. B.; HUNT, P. G.; UCHIMIYA, M.; NOVAK, J. M.; RO, K. S. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. **Bioresource Technology**, v. 107, p. 419–428, 2012.

CARTER, S.; SHACKLEY, S.; SOHI, S.; SUY, T. B.; HAEFELE, S. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown Lettuce (*Lactuca sativa*) and Cabbage (*Brassica chinensis*). **Agronomy**, v. 3, p. 404-418, 2013.

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

CASE, S. D.C.; MCNAMARA, N. P.; REAY, D. S.; WHITAKER, J. The effect of biochar addition on N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emissions from a sandy loam soil - The role of soil aeration. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 51, p. 125-134, 2012.

CHEN, C.; CHENG, C.; HUANG, Y.; CHEN, C.; LAI, C.; MENYAILO, O.V; FAN, L.; YANG, Y. Converting leguminous green manure into biochar: changes in chemical composition and C and N mineralization. **Geoderma**, v. 232/234, p. 581–588, 2014.

CHENG, C. H.; LEHMANN, J.; ENGELHARD, M. H. Natural oxidation of black carbon in soils: changes in molecular form and surface charge along a climosequence. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 72, p. 1598-1610, 2008.

CHENG, C. H.; LEHMANN, J.; THIES, J. E.; BURTON, S. D.; ENGELHARD, M. H. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. **Organic Geochemistry**, v. 37, p. 1477-1488, 2006.

CHENG, C.-H.; LEHMANN, J.; THIES, J.E.; BURTON, S.D.; ENGELHARD, M.H. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. **Organic Geochemistry**, v.37, p.1477-1488, 2006.

CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. 2003. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

COCHRANE, T.T.; SÁNCHEZ, P.A. Land resources, soils and their management in the Amazon region: a state of knowledge report. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AMAZONIAN AGRICULTURE AND LAND USE RESEARCH, 1982, Cali, Colombia. **Proceedings...** Cali: CIAT, 1982. p. 137-209.

COHEN-OFRI, I.; WEINER, L.; BOARETTO, E.; MINTZ, G.; WEINER, S. Modern and fossil charcoal: aspects of structure and diagenesis. **Journal of Archaeological Science**, v. 33, p. 428-439, 2006.

CONZ, R. F. **Caracterização de matérias-primas e biochars para aplicação na agricultura**. 2015. 132f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2015.

COUTO, G. M. **Utilização da serragem de *Eucalyptus* sp. na preparação de carvões ativados**. 2009. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; CANELLAS, L.P.; RIBEIRO, L.B.; BENITES, V.M.; SNTOS, G.A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de Índio) in the Brazilian Amazon Basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.85-93, 2009.

DEAL, C.; BREWER, C. E.; BROWN, R. C.; OKURE, M. A. E.; AMODING, A. Comparison of kiln-derived and gasifier-derived biochars as soil amendment in the humid tropics. **Biomass and Bioenergy**, v. 37, p.161-168, 2012.

DEENIK, J. L.; COONEY, M. J. The potential benefits and limitations of corncob and sewage sludge biochars in an infertile Oxisol. **Sustainability**, v. 8, p. 1- 18, 2016.

DEENIK, J. L.; DIARRA, A.; UEHARA, G.; CAMPBELL, S.; SUMIYOSHI, Y.; JR.; M. J. A. Charcoal Ash and Volatile Matter Effects on Soil Properties and Plant Growth in an Acid Ultisol. **Soil Science**, v. 176, p. 336-345, 2011.

DIECKOW, J.; BAYER, C.; CONCEICAO, P.C.; ZANATTA, J.A.; MARTIN-NETO, L.; MILORI, D. B. M.; SALTON, J.C.; MACEDO, M.M.; MIELNICZUK, J. e HERNANI, L.C. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. **European Journal of Soil Science**, v.60, p.240-249, 2009.

DINIZ, J. **Conversão térmica de casca de arroz à baixa temperatura: produção de bio-óleo e resíduos sílico-carbonoso adsorvente**. 2005. 156 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

DUBININ, M. M. **Chemistry and physics of carbon**. v.2, p. 51 - 120, 1966.

EDWARDS, A.P.; BREMNER, J.M. Microaggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v.18, p.64-73, 1967.

EL-HENDAWY, A.A.; ALEXANDER, A.J.; ANDREWS, R.J.; FORREST, G. Effects of activation schemes on porous, surface and thermal properties of activated carbons prepared from cotton stalks. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 82, p. 272-278, 2008.

ELLIOTT, D. C. Historical developments in hydroprocessing bio-oils. **Energy and Fuels**, v. 21, p. 1792-1815, 2007.

EL-SHEIKH, A. H.; NEWMAN, A. P.; AL-DAFFAEE, H. K.; PHULL, S.; CRESSWELL, N. Characterization of activated carbon prepared from a single cultivar of Jordanian olive stones by chemical and physicochemical techniques. **J. Anal. Appl. Pyrolysis**, v.71, p. 151-164, 2004.

EMBRAPA -- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária **Sistema de produção para a cultura do coqueiro**. Embrapa Tabuleiros Costeiros: Aracaju. 2002. 63p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária **A cultura do coco**. Embrapa Informação Tecnológica: Brasília. 2006. 101p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 2013. 212p. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ed. Rio de Janeiro, 2013. 353 p.

ESHGHI, S.; MAHMOODABADI, M. R.; ABDI, G. R.; JAMALI, B. Zeolite ameliorates the adverse effect of cadmium contamination on growth and nodulation of soybean plant (*Glycine max* L.). **Journal of Biology & Environmental Science**, v.4, p.43-50, 2010.

FAAIJ, A.; WALTER, A.; BAUEN, A.; BEZZON, G.; ROCHA, J. D.; MOREIRA, J. R.; CRAIG, K. R.; OVEREND, R. P.; BAIN, R. L. Novas tecnologias para os vetores modernos de energia de biomassa. In: ROSILLE-CALLE, F.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H (Eds). **Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira**. Campinas: UNICAMP, 2005. p. 339-411.

FIGUEIREDO, A. L. **Pirólise termoquímica de pós de fibra de coco seco em um reator cilindro rotativo para produção de bio-óleo**. 2011. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Química) - Universidade Federal de Rio Grande do Norte, Natal. 2011.

FIGUEIREDO, J.L.; PEREIRA, M.F.R., The role of surface chemistry in catalysis with carbons. **Catalysis Today**, v. 150, p. 2-7, 2010.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003. 254 p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2007. 421 p.

FILGUEIRA, F.A.R. **ABC DA OLERICULTURA, Guia da pequena horta**. 1 ed. São Paulo: Ceres, 1987. p. 164.

FOGLER, H.S. **Elements of Chemical Reaction Engineering**. 3 ed. Prentice-Hall International: New Jersey, 1998.

FONTES, H.R; RIBEIRO, F.E; FERNANDES, M.F. **Coco produção, aspectos técnicos**. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE. – Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 106p. (Frutas do Brasil, 27).

FOWLES, M. Black carbon sequestration as an alternative to bioenergy. **Biomass Bioenergy**, v. 31, p. 426–432, 2007.

FRIMPONG, K. A.; AMOAKWAH, E.; OSEI, B. A.; ARTHUR, E. Changes in soil chemical properties and lettuce yield response following incorporation of biochar and cow dung to highly weathered acidic soils. **Journal of Organic Agriculture and Environment**, v.4, p. 28-39, 2016.

GARCIA FILHO, E.; NAKATANI, J. K.; PINTO, M. J. A.; NEVES, M. F.; CASERTA, P. G.; KALAKI, R. B.; GERBASI, T. **Mapeamento e qualificação da cadeia produtiva das hortaliças do Brasil**. Brasília: CNA: Brasília, 2017. 80 p.

GERMAN, L.A. Historical contingencies in the coevolution of environment and livelihood: Contributions to the debate on Amazonian Black Earth. **Geoderma**, v. 111, p.307-331, 2003.

GLASER, B. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B**, v. 362, p. 187–196, 2007.



GLASER, B.; BALASHOV, E.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G. e ZECH, W. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. **Org. Geochem.**, v.31, p.669-678, 2000.

GLASER, B.; BIRK, J. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (Terra Preta de Índio). **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 82, p. 39 – 51, 2011.

GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. The “Terra Preta” phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humic tropics. **Naturwissenschaften**, v. 88, p. 37-41, 2001.

GOMES, G. P.; GONÇALVES, L. S. A.; SEKIYA, A.; EUZEBIO, M. P.; ROBAINA, R. R.; MARINHO, C. D. Registro e proteção de olerícolas no Brasil, período de 1998 a 2014. **Horticultura Brasileira**, v. 34, p. 19-26, 2016.

GUGGENBERGER, G; KAISER, K. Mineral surfaces and soil organic matter European **Journal of Soil Science**, v. 54, p.219-236, 2003.

GWENZI, W., CHAUKURA, N., MUKOME, F. N., MACHADO, S., e NYAMASOKA, B. Biochar production and applications in sub-Saharan Africa: Opportunities, constraints, risks and uncertainties. **Journal of Environmental Management**, v. 150, p. 250-261, 2015.

HALE, S.E.; ELMQUIST, M.; BR€ANDLI, R.; HARTNIK, T.; JAKOB, L.; HENRIKSEN, T.; WERNER, D.; CORNELISSEN, G. Activated carbon amendment to sequester PAHs in contaminated soil: alysimeter field trial. **Chemosphere**, v. 87, p. 177-184, 2012.

HAMERLINCK, Y.; MERTENS, D. H. In: VANSANT E.F. (Ed.). **Activated carbon principles in separation technology**. New York: Elsevier, 1994.

HARIZ, A. R. M.; AZLINA, W. A. K. G. W.; FAZLY, M. M.; NORZIANA, Z. Z.; RIDZUAN, M. D. M.; TOSIAH, S.; AIN, A. B. N. Local practices for production of rice husk biochar and coconut shell biochar: production methods, product characteristics, nutriente and feld water holding capacity. **J. Trop. Agric. and Fd. Sc**, v. 43, p. 91 – 101, 2015.

HERATH, H.M.S.K.; CAMPS-ARBESTAIN, M.; HEDLEY, M. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: an Alfisol and an Andisol. **Geoderma**, v. 209–210, p. 188–197, 2013.

HSEU, Z.; JIEN, S.; CHIEN, W.; LIOU, R. Impacts of biochar on physical properties and erosion potential of a mudstone slopeland. **The scientific world journal**, v. 2014, p. 1-10, 2014.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**, Instituto Brasileiro de Geografia, 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#notas-tabela>>. Acesso em: 20 de setembro de 2017.

IBRAHIM, H. M.; AL-WABEL, M. I.; USMAN, A. R. A.; AL-OMRAN, A. Effect of *Conocarpus* biochar application on the hydraulic properties of a sandy loam soil. **Soil Sci.**, v.178, p 165-173, 2013.

JIEN, S. H.; WANG, C.S. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. **Catena**, v. 110, p. 225–233, 2013.

JINDO, K.; MIZUMOTO, H.; SAWADA, Y.; SANCHEZ-MONEDERO, M. A.; SONOKI, T. Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. **Biogeosciences**, v. 11, p. 6613–6621, 2014.

JUNG, K.; KIM, K; JEONG, T.; AHN, K. Influence of pyrolysis temperature on characteristics and phosphate adsorption capability of biochar derived from waste-marine macroalgae (*Undaria pinnatifida* roots). **Bioresource Technology**, v. 200, p. 1024–1028, 2016.

KALDERIS, D.; BETHANIS, S.; PARASKEVA, P.; DIAMADOPOULOS, E. Production of activated carbon from bagasse and rice husk by a single stage chemical activation method at low retention times. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 6809–6816, 2008.

KÄMPF, N.; KERN, D.C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: VIDALTORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P.

e CARDOSO, E.J. (Eds). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. p.277-320.

KERN, D. C.; KAMPF, N. Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com Terra Preta de Arqueológica na região de Oriximiná, Pará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.3, p. 219 – 225, 1989.

LABEGALINI, A. **Obtenção de biochar a partir da pirólise rápida da torta de pinhão manso: uso como adsorvente e suporte**. 2013. 116 f. Dissertação (Mestrado em Química Ambiental) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

LAL, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. **European J. of Soil Science**, v. 60, p. 158-169, 2009.

LÁSZLÓ, K.; PODLOSCIELNY, P.; DABROWSKI, A. Heterogeneity of activated carbons with different surface chemistry in adsorption of phenol from aqueous solutions. **Applied Surface Science**, v.252, p.5752 – 5762, 2005.

LEHMANN, J. A handful of carbon. **Nature**, v. 447, p. 143 -144, 2007.

LEHMANN, J. Bio-energy in the black. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, p. 381–387, 2007.

LEHMANN, J., GAUNT, J., RONDON, M. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems – a review. **Mitigat. Adaptat. Strategies Global Change**, v. 11, p. 403–427, 2006.

LEHMANN, J., RILLIG, M.C., THIES, J., MASIELLO, C.A., HOCKADAY, W.C., CROWLEY, D. Biochar effects on soil biota—a review. **Soil Biology and Biochemistry**, v.43, p. 1812-1836, 2011.

LEHMANN, J.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant Soil**, v. 249, p. 343-357, 2003.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science and technology**. 1 ed. London: Earthscan, 2009.

LEHMANN, J.; SILVA, J.P.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 249, p. 343–357, 2003.

LEI, H.; REN, S.; JULSON, J. The effects of reaction temperature and time and particle size of corn stover on microwave pyrolysis. **Energy e Fuels**, v. 23, p. 3254-3261, 2009.

LEI, O.; ZHANG, R. Effects of biochars derived from different feedstocks and pyrolysis temperatures on soil physical and hydraulic properties. **Journal of Soils and Sediments**, v. 13, p.1561-1572, 2013.

LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; KINYANGI, J.; GROSSMAN, J.; O'NEILL, B.; SKJEMSTAD, J. O.; THIES, J.; LUIZAO, F. J.; PETERSEN, J.; LIMA, S.L.; TAMIOZZO, S.; PALOMINO, E.C.; PETTER, F.A.; MARIMON-JUNIOR, B.H. Interactions of biochar and organic compound for seedlings production of *Magonia pubescens* A. St. Hil. **Revista Árvore**, v.39, p.655-661, 2015.

LIU, X., FENG, P., ZHANG, X. Effect of biochar on soil aggregates in the Loess Plateau: results from incubation. **Int. J. Agric. Biol**, v.14, p. 975–979, 2012.

LOPES, J. C.; RIBEIRO, L. G.; ARAÚJO, M. G.; BERALDO, M. R. B. S. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. **Horticultura Brasileira**, v. 23, p. 143-147, 2005.

MAJOR, J. **Biochar application to a Colombian Savanna Oxisol: Fate and effect on soil fertility, crop production, nutrient leaching and soil hydrology**. 2009. 841 f. Tese (Doutorado em Filosofia) - Cornell University, 2009.

MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S. J.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant Soil**, v. 333, p. 117-128, 2010.

MANGRICH, A. S.; MAIA, C. M. B. F.; NOVOTNY, E. H. Biocarvão - As terras pretas de índios e o sequestro de carbono. **Ciência Hoje**, v.47, p.48-52, 2011.

MARTINS, C. R.; JESUS JÚNIOR, L. A. **Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio internacional: panorama 2014**. 1 ed. Embrapa Tabuleiro Costeiro: Aracaju, 2014. 51p.

MARTINSEN, V.; ALLING, V.; NURIDA, N. L.; MULDER, J.; HALE, S. E.; RITZ, C.; RUTHERFORD, D. W.; HEIKENS, A.; BREEDVELD, G. D.; CORNELISSEN, G. pH effects of the addition of three biochars to acidic Indonesian mineral soils. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.61, p. 821–834, 2015.

MESTRE, J.; PIRES, J.; NOGUEIRA, M. F.; ANIA, C. O. Waste derived activated carbons for removal of ibuprofen from solution: role of surface chemistry and pore structure. **Bioresource Technology**, v.100, p. 1720–1726, 2009.

MOHD DIN A.T., HAMEED B.H. Batch adsorption of phenol onto physiochemical activated coconut shell. **J. hazard. Mater**, v. 161, p. 1522-1529, 2009.

MORAIS, E. D. de. **Produção do carvão ativado a partir do mesocarpo do coco-da-baía (*Cocos nucifera linn*) utilizando H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub>COONa e KOH como ativantes**. 2014. 58f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

NAKAGAWA, J.; KAMITSUJI, M.K.; PIERI, J.C.; VILLAS BÔAS, R.L. Efeitos do bagaço, decomposto por ação de biofertilizante, na cultura da alface. **Científica**, v.21, p.169-177, 1993.

NELISSEN, V.; SAHA, B. K.; RUYSSCHAERT, G.; BOECKX, P. Effect of different biochar and fertilizer types on N<sub>2</sub>O and NO emissions. **Soil Biology e Biochemistry**, v. 70, p. 244-255, 2014.

NEVES JUNIOR, A. F. **Qualidade física de solos com horizontes antrópicos (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central**. 2008. 93f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2008.

NÓBREGA, I. P. C. **Efeitos do biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: sequestro de carbono no solo**. 2011. 38f. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Agrícola) - Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agricultura, Lisboa, 2011.

NOVAK, J. M.; BUSSCHER, W. J.; Laird, D. L.; AHMEDNA, M.; WATTS, D. W.; NIANDOU, M. A. S. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. **Soil Sci**, v. 174, p. 105-112, 2009.

NOVAK, J. M.; LIMA, I.; XING, B.; GASKI N, J.W.; STEINER, C.; DAS, K.C.; SCHOMBERG, H. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. **Annals of Environmental Science**, v.3, p. 195 -206, 2009.

NOVOTNY· E. H.; HAYES· M. H. B.; MADARI, B. E.; BONAGAMBA, T. J.; AZEVEDO, E. R. DE; SOUZA, A. A. DE; SONG, G.; NOGUEIRA, C. M.; MANGRICH, A. S. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the utilization of Charcoal for Soil Amendment. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 20, p. 1-8, 2009.

NOVOTNY, E. H.; MADARI, B. E.; MAIA, C. M. B. DE F.; MANGRICH, A. S. O Potencial do Biocarvão (Carvão Pirogênico) no sequestro de carbono; na Ciclagem de Nutrientes; no Crescimento das Plantas e no Estímulo de Processos Microbiológicos. IN: FERTBIO, 2012, Alagoas. Anais...

NOVOTNY, E. H.; MAIA, C. M. B. F.; CARVALHO, M. T. M.; MADARI, B. E. Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use - a critical review. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.39, p.321-344, 2015.

NUNES, M.U.C; SANTOS, J.R.D; SANTOS, T.C.D. Tecnologia para Biodegradação da Casca de coco seco e de outros Resíduos do Coqueiro. **Circular Técnica 46**, p. 1- 5, 2007.

OHSE, S.; DOURADO-NETO, D.; MANFRON, P. A.; SANTOS, O. S. Qualidade de cultivares de alface produzidos em hidroponia. **Sci. agric.**, v. 58, p.181-185, 2001.

OLIVEIRA, J. B.; VIVACQUA FILHO, A.; MENDES, M. G.; GOMES, P. A. Produção de carvão vegetal – aspectos técnicos. In: PENEDO, W. R. (Ed.). **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte: CETEC, 1982. p. 60-73.

PAN, F.; LI, Y.; CHAPMAN, S. J.; KHAN, S.; YAO, H. Microbial utilization of rice straw and its derived biochar in a paddy soil. **Science of the total environment**, v. 559, p. 15–23, 2016.

PAZ, E. C. S.; PEDROZA, M. M.; OLIVEIRA, L. R. A.; PAZ, R. R. S. Alternativa de exploração sustentável dos resíduos do coco verde para a produção de energia<sup>1</sup>. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.6, p. 318-345, 2017.

PEAKE, L.R., REID, B.J., TANG, X. Quantifying the influence of biochar on the physical and hydrological properties of dissimilar soils. **Geoderma**, v. 235–236, p. 182–190, 2014.

PEREIRA, E.; OLIVEIRA, L. C. A.; VALLONE, A.; SAPAG, K.; PEREIRA, M. Preparação de carvão ativado em baixas temperaturas de carbonização a partir de rejeitos de café: utilização de FeCl<sub>3</sub> como agente ativante. **Quím Nova**, v. 31, p. 1296-1300, 2008.

PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; VALENCIA, E.P.E. Holocene fire and vegetation changes in southeastern Brazil as deduced from fossil charcoal and soil carbon isotopes. **Quaternary International**, v.114, p. 35-43, 2004.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E. Biochar: agronomic and environmental potencial in brazilian savannah soils. **Rev. bras. eng. agríc. Ambiente**, v. 16, p.761 – 768, 2012.

PETTER, FA. **Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agronômicos e ambientais do seu uso em solos de cerrado**. 2010. 130f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

PETTER, F. A.; LIMA, L. B. de; MORALES, M. M.; MARIMON JÚNIOR, B. H.; MORAIS, L. A. **Biocarvão no solo: aspectos agronômicos e ambientais**. In: Simpósio brasileiro de agropecuária sustentável, 8; International conference on sustainable agriculture, 5. Sinop. Ciência, tecnologia e inovação para o desenvolvimento sustentável das novas fronteiras agrícolas: anais. 2016. p. 73-81.

PURAKAYASTHA, T. J.; DAS, K. C.; GASKIN, J.; HARRIS, K.; SMITH, J. L.; KUMARI, S. Effect of pyrolysis temperatures on stability and priming effects of C<sub>3</sub> and

C<sub>4</sub> biochars applied to two different soils. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p.107–115, 2016.

REZENDE, E.I.P.; ANGELO, L.C.; DOS SANTOS, S.S.; MANGRICH, A.S. Biocarvão (biochar) e sequestro de carbono. **Rev Virtual de Quím.**, v.3, p.426-33, 2011.

RITTL, T. F. **Challenging the claims on the potential of biochar to mitigate climate change**. 2015. 145f. Dissertação (Mestre em Produção Ecologia e Conservação de Recursos) - Universidade de Wageningen, Wageningen, 2015.

RODRIGUES I. N.; LOPES M. T. G.; LOPES R.; GAMA A. S.; MILAGRES C. P. **Avaliação de cultivares de alface crespa para a região de Manaus**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 47, 2007. **Resumos...** Porto Seguro: ABH (CD-ROM).

RODRÍGUEZ-REINOSO, F. Controlled Gasification of Carbon and Pore Structure Development. In: LAHAYE, A; EHRBURGER, P. (Eds). **Fundamental issues in control of carbon gasification reactivity**. Netherlands: Kluwer Academic, 1991. p 533–571.

RODRIGUÈZ-REINOSO, F. The role of carbon materials in heterogeneous catalysis, **Carbon**, v. 36, p. 159-175, 1998.

RONDON, M., RAMIREZ, J.A., LEHMANN, J. Charcoal additions reduce net emissions of greenhouse gases to the atmosphere. In: SYMPOSIUM ON GREENHOUSE GASES AND CARBON SEQUESTRATION, USA: Baltimore, 2005, p. 208

SALA, F. C.; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v.30, p.187-194, 2012.

SANTOS, M. A. L.; SANTOS, D. P.; MENEZES, S. M.; LIMA, D. F.; VIEIRA, J. P. S. Produção da cultura da alface (*lactuca sativa* L.) em função das lâminas de irrigação e tipos de adubos. **Ciência Agrícola**, v. 13, p. 33-39, 2015.

SANTOS, S. R.; PEREIRA, G. M. Comportamento da alface tipo americana sob diferentes tensões da água no solo, em ambiente protegido. **Engenharia Agrícola**, v. 24, p. 569- 577, 2004.



SCHETTINO JUNIOR, M. A. **Ativação química do carvão de casca de arroz utilizando NaOH**. 2004. 78f. Dissertação (Mestre em Física) - Universidade Federal do Espírito, Vitória, 2004.

SCHMIDT, M.W.I.; NOACK, A.G. Black carbon in soils and sediments: analysis, distribution, implications, and current challenges. **Global Biochemical Cycles**, v. 14, p. 777-793, 2000.

SCHNEIDER, E. L. **Adsorção de compostos fenólicos sobre carvão ativado**. 2008. 79 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.

SCHULZ, H.; GLASER, B. Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.175, p. 410 – 422, 2012.

SEPLANDE – Secretaria de Estado do Planejamento e do Desenvolvimento Econômico. Oportunidades de Investimento, Alagoas: SEPLANDE, 2012. Disponível em: < <http://investimentos.mdic.gov.br/public/arquivo/arq1316528802.pdf> > Acesso em: 10 out. 2018.

SHENBAGAVALLI, S.; MAHIMAIRAJA, S. I. J. A. B. R. Characterization and effect of biochar on nitrogen and carbon dynamics in soil. **International Journal of Advanced Biological Research**, v. 2, p. 249-255, 2012.

SIEBENEICHLER, E. A.; COSTA, L. M.; FIGUEREDO, N. A.; JAIRO TRONTO, J.; ROCHA, P. A. Influência de temperatura e taxas de aquecimento na resistência mecânica, densidade e rendimento do carvão da madeira de *Eucalyptus cloeziana*. **Ciência da Madeira**, v. 8, p. 82-94, 2017.

SILVA, J. **Estudo da eficiência e aplicabilidade de carvão ativado resultante de pirólise de casca de arroz em barreiras reativas na remoção de contaminantes em solos**. 2009. 202 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SILVA, L. F. V. **Biocarvão da palha do fruto do cafeeiro na remediação do solo e na complementação de substratos**. 2018. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso

(Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2018.

SILVEIRA, M. S. **Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquete em salvador – BA**. 2008. 163f. Dissertação (Mestre em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2008.

SINGH, B., SINGH, B. P.; COWIE, A. L. Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. **Australian J soil res**, v. 48, p. 516-525, 2010.

SMEBYE, A.; ALLING, V.; VOGT, R. D.; GADMAR, T. C.; MULDER, J.; CORNELISSEN, G.; HALE, S. E. Biochar amendment to soil changes dissolved organic matter content and composition. **Chemosphere**, v.142, p. 100-105, 2016.

SMITH, J. L.; COLLINS, H. P.; BAILEY, V. L. The effect of young biochar on soil respiration, **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, p. 2345-2347, 2010.

SNOEYINK, V. L.; WEBER, W. J. The surface chemistry of active carbon; a discussion of structure and surface functional groups. **Environ. Sci. Technol.**, v.1, p. 228–234, 1967.

SOARES, A. G. **Adsorção de gases em carvão ativado de celulignina**. 2001. 154f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. A review of biochar and its use and function in soil. **Advances in Agronomy**, v 105, p. 47–82, 2010.

SONTHEIMER, H., CRITTENDEN, J.C., SUMMERS, R.S., 1988. Activated Carbon for Water Treatment. DVGW-Forschungsstelle, Karlsruhe, p. 722.

SOUZA. L. C. de; LIMA, H. V. de; RODRIGUES, S.; KERN, D. C.; SILVA, A. P.; PICCININ, J. L. Chemical and physical properties of an anthropogenic dark earth soil from Bragança, Para, Eastern Amazon. **ACTA AMAZONICA**, v. 46, p. 337 – 344, 2016.

SUPPADIT1, T.; PHUMKOKRAK, N.; POUNGSUK, P. The effect of using quail litter biochar on soybean (*glycine max* [l.] merr.) production. **Chilean journal of agricultural research**, v. 72, p.244-251, 2012.

TRUPIANO, D.; COCOZZA, C.; BARONTI, S.; AMENDOLA, C.; VACCARI, F. P.; LUSTRATO, G.; LONARDO, S. D.; FANTASMA, F.; TOGNETTI, R.; SCIPPA, G. S. The Effects of Biochar and Its Combination with Compost on Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Growth, Soil Properties, and Soil Microbial Activity and Abundance. **International Journal of Agronomy**, v. 2017, p.1-12, 2017.

UCHIMIYA, M.; CHANG, S.; KLASSON, K. T. Screening biochars for heavy metal retention in soil: role of oxygen functional groups. **J Hazard Mater**, v. 190, p.432–441, 2011a.

UCHIMIYA, M.; WARTELLE, L. H.; KLASSON, K. T.; FORTIER, C. A.; LIMA, I. M. Influence of pyrolysis temperature on biochar property and function as a heavy metal sorbent in soil. **J Agric Food Chem**, v. 59, p. 2501–2510, 2011b.

UPADHYAY, K. P.; GEORGE, D.; SWIFT, R. S.; GALEA, V. The influence of biochar on growth of lettuce and potato. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 13, p. 541-546, 2014.

UZOMA, K. C.; INOUE, M.; ANDRY, H.; FUJIMAKI, H.; ZAHOOR, A.; NISHIHARA, E. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. **Soil use and management**, v. 27, p. 205–212, 2011.

VERHEIJEN, F.; JEFFERY, S.; BASTOS, A. C.; VAN DER VELDE, M.; DIAFAS, I. **Biochar application to soils - A critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions**. Luxembourg: EUR, 2010. 149p.

VIEIRA, R.S.; LIMA, J.T.; MONTEIRO, T.C.; SELVATTI, T.S.; BARAÚNA, E.E.P.; NAPOLI, A. Influência da temperatura no rendimento dos produtos da carbonização de *Eucalyptus microcorys*. **Cerne**, v.19, p.59-64, 2013.

WANG, D.; FONTE, S. J.; PARIKH, S. J.; SIX, J.; SCOW, K. M. Biochar additions can enhance soil structure and the physical stabilization of C in aggregates. **Geoderma**, v. 303, p.110–117, 2017.

WANG, Y.; HU, Y.; ZHAO, X.; WANG, S.; XING, G. Comparisons of Biochar Properties from Wood Material and Crop Residues at Different Temperatures and Residence Times. **Energy e Fuels**, v. 27, p. 5890-5899, 2013.

WERLANG, E. B.; SCHNEIDER, R. C. S; RODRIGUEZ, A. L.; NIEDERSBERG, C. Produção de carvão ativado a partir de resíduos vegetais. **Revista Jovens Pesquisadores**, v. 3, p. 156-167, 2013.

WOLDETSADIK, D.; DRECHSEL, P.; MARSCHNER, B.; ITANNA, F.; GEBREKIDAN, H. Effect of biochar derived from faecal matter on yield and nutrient content of lettuce (*Lactuca sativa*) in two contrasting soils. **Environ Syst Res**, v. 6, p. 1-12, 2017.

WOODS, W. I.; DENEVAN, W. M. Amazonian Dark Earths: The First Century of Reports. In: WOODS, W. I.; TEIXEIRA, W. G.; LEHMANN, J.; STEINER, C.; WINKLERPRINS, A.; REBELLATO, L. (Eds). **Amazonian dark earths: wim sombroek's vision**. Heidelberg: Springer Science, 2009. p 1-14.

YANG, K.; PENG, J.; SRINIVASAKANNAN, C.; ZHANG, L.; XIA, H.; DUAN, X. Preparation of high surface area activated carbon from coconut shells using microwave heating. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 6163–6169, 2010.

YANG, R. T. **Adsorbents: fundamentals and applications**. NEW JERSEY: J. WILEY, 2003. 130p.

YUAN, H.; LU, T.; ZH AO, D.; HUANG, H.; NORIYUKI, K. e CHEN, Y. Influence of temperature on product distribution and biochar properties by municipal sludge pyrolysis. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, p. 1-5, 2013.

ZHAO, X.; WANG, J.; WANG, S.; XING, G. Successive straw biochar application as a strategy to sequester carbon and improve fertility: A pot experiment with two rice/wheat rotations in paddy soil. **Plant Soil**, v. 378, p. 279–294, 2014.

ZHENG, R.; SUN, G.; LI, C.; REID, B. J.; XIE, Z.; ZHANG, B.; WANG., Q. Mitigating cadmium accumulation in greenhouse lettuce production using biochar. **Environ sci pollut res int**, v. 24, p. 6532-6542, 2017.

ZHENG, R.; SUN, G.; LI, C.; REID, B. J.; XIE, Z.; ZHANG, B.; WANG, Q. Mitigating cadmium accumulation in greenhouse lettuce production using biochar. **Environ Sci Pollut Res**, v. 24, p. 6532-6542, 2017.

ZHU, Z.; LI, A.; XIA, M.; WAN, J.; ZHANG, Q. Preparation and characterization of polymer-based spherical activated carbons. **Chinese Journal of Polymer Science**, v. 26, p. 645–651, 2008.

#### **4 PARTE 1: ALTERAÇÕES DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE UM SOLO CULTIVADO COM ALFACE (*Lactuca sativa*), APÓS A APLICAÇÃO DE BIOCHAR E CARVÃO ATIVADO**

##### **RESUMO**

Os solos de textura arenosa apresentam algumas limitações para a produção das plantas, como baixa capacidade de retenção de água e de nutrientes. Para minimizar este problema, existe a possibilidade de utilizar biochar e de carvão ativado como condicionadores do solo. Baseado nisto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar as alterações nos atributos químicos e biológicos de um solo arenoso, cultivado com alface, após a aplicação de biochar e de carvão ativado do endocarpo do coco ao solo. O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, distribuído em esquema fatorial 2 x 6, sendo dois tipos de biocarvões (biochar e carvão ativado) e 6 doses de cada um (0 t ha<sup>-1</sup>, 15 t ha<sup>-1</sup>, 30 t ha<sup>-1</sup>, 45 t ha<sup>-1</sup>, 60 t ha<sup>-1</sup> e 75 t ha<sup>-1</sup>), com 5 repetições de cada tratamento. Aos 71 dias após o transplântio das mudas de alface, foram realizadas coletas de solo para seguintes análises: pH, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, P, K<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup> e COT, H+Al, CBM e C-CO<sub>2</sub>. Com estes dados calculou-se a CTC<sub>ef</sub>, CTC<sub>pH7</sub>, SB, V, *q*Mic e *q*CO<sub>2</sub>. Verificou-se interação significativa para as variáveis K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, P, COT, CBM e *q*Mic, apresentando, todas, crescimento nos seus valores conforme o aumento das doses de biochar e carvão ativado. Os valores de K, CBM e *q*Mic foram maiores no solo com biochar, enquanto os valores de Ca, P e COT foram superiores na presença de carvão ativado. Foi observado também efeito significativo do fator fonte para H+Al, CTC<sub>pH7</sub> e V, sendo que as H+Al e CTC<sub>pH7</sub> foram maiores no tratamento com biochar e a V no solo com carvão ativado. Já o fator dose foi significativo para o pH, Mg, H+Al, CTC<sub>pH7</sub>, SB e V, sendo que o pH, Mg, SB e V seguiram a tendência de aumento das doses do biocarvão; enquanto a H+Al e CTC<sub>pH7</sub> reduziram com aumento das doses. Estes resultados demonstraram que tanto o biochar quanto o carvão ativado foram eficientes como condicionadores de solo, melhorando a fertilidade e aumentando o sequestro de carbono no solo. O carvão ativado teve um efeito maior na fertilidade e no estoque de carbono do solo, sendo este comportamento atribuído a sua maior área superficial específica e, conseqüentemente, sua maior capacidade de reter cátions e ânions.

Palavras-chave: biocarvões, indicadores de fertilidade do solo, sequestro de carbono no solo.

## ABSTRACT

Soils with sandy texture present some limitations for the production of plants, as low retention capacity of water and nutrients. To minimize this problem, there is the possibility of using biochar and activated carbon as soil conditioners. Based on this, the objective of this research was to evaluate the changes in the chemical and biological attributes of a sandy soil, cultivated with lettuce, after the application of biochar and activated carbon from the coconut endocarp to the soil. The experiment was installed in a completely randomized design, distributed in a 2 x 6 factorial scheme, being two types of biochar (biochar and activated charcoal) and 6 doses of each (0 Mg ha<sup>-1</sup>, 15 Mg ha<sup>-1</sup>, 30 Mg ha<sup>-1</sup>, 45 Mg ha<sup>-1</sup>, 60 Mg ha<sup>-1</sup> and 75 Mg ha<sup>-1</sup>), with 5 replicates of each treatment. At 71 days after transplanting of lettuce seedlings, soil samples were collected for the following analyzes: pH, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, P, K<sup>+</sup>, Al<sup>+3</sup> and COT, H + Al, CBM and C-CO<sub>2</sub>. With these data it was calculated CTC<sub>ef</sub>, CTC<sub>pH7</sub>, SB, V, *q*Mic and *q*CO<sub>2</sub>. Significant interaction were observed for the K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, P, COT, CBM and *q*Mic variables, all showing growth in their values as the biochar and activated carbon doses increased. The values of K, CBM and *q*Mic were higher in the soil with biochar, while the values of Ca, P and TOC were higher in the presence of activated carbon. It was also observed a significant effect of the source factor for H + Al, CTC<sub>pH7</sub> and V, and H + Al and CTC<sub>pH7</sub> were higher in the treatment with biochar and V in the soil with activated carbon. The dose factor was significant for the pH, Mg, H + Al, CTC<sub>pH7</sub>, SB, being that pH, Mg, SB and V followed the trend of increasing the doses of biochar; while H + Al and CTC<sub>pH7</sub> decreased with increasing doses. These results demonstrated that both biochar and activated carbon were efficient as soil conditioners, improving fertility and increasing soil carbon sequestration. Activated carbon had a greater effect on soil fertility and carbon stock, being this behavior attributed to its greater specific surface area and, consequently, its greater capacity to retain cations and anions.

Key words: biocarbons, soil fertility indicators, carbon sequestration in the soil.

#### 4.1. INTRODUÇÃO

Os solos de textura arenosa geralmente apresentam uma pequena quantidade de argila e matéria orgânica e, conseqüentemente, uma menor superfície específica, resultando em uma baixa capacidade de reter água e nutrientes, o que limita o crescimento e desenvolvimento das plantas. Além disso, o arranjo de suas partículas favorece o acesso da biomassa microbiana à matéria orgânica, oxidando-a; ocasionando perda de carbono para atmosfera e redução da qualidade do solo. Para melhorar as suas características, recomenda-se incorporar resíduos orgânicos no solo pois, assim, a retenção de nutrientes e de água podem ser potencializadas, já que a matéria orgânica pode representar cerca de 80% da capacidade de troca de cátions de solos arenosos (STEVENSON, 2014; NÓBREGA, 2011; RONQUIM, 2010; PILLON et al., 2002; VERDADE, 1956).

Para manter os níveis de matéria orgânica adequados para a manutenção da qualidade do solo, é necessário a adição periódica de resíduos orgânicos no solo. Porém, se o material utilizado apresentar resistência à oxidação microbiana, a necessidade de aporte anual pode ser reduzida e a melhoria das propriedades do solo e o sequestro de carbono no solo podem ser mantidos por um longo período de tempo. O biocarvão se enquadra nesse perfil de material e é produzido por um processo termoquímico, denominado de pirólise, que consiste no aquecimento da biomassa em altas temperaturas, em um compartimento fechado, na ausência ou em baixa concentração de oxigênio, podendo ser utilizado como condicionador de solo. Os biocarvões podem ser denominados de biochar e de carvão ativado, sendo este submetido a um processo de ativação que tem o objetivo de melhorar as suas propriedades físicas (LEHMANN e JOSEPH, 2015; ZANELLA, 2015).

O biochar e o carvão ativado são materiais carbonáceos que apresentam cerca de 80% de seu carbono na forma aromática, possuindo nutrientes nas suas cinzas que podem ser disponibilizados para a solução do solo pelo processo de mineralização e grupos funcionais nas suas superfícies que interagem com os nutrientes do solo, retendo-os. Além disso, estes biocarvões promovem no solo o aumento da sua capacidade de troca de cátions e da retenção de água, redução da acidez, e melhoria da agregação, estrutura, porosidade e densidade do solo (BEREK, 2014; JIEN e WANG, 2013; LABEGALINI, 2013; ATKINSON et al., 2010; ZANETTI, 2003; SOARES, 2001). Todas estas



modificações influenciam positivamente o crescimento, desenvolvimento e produção das culturas.

Apesar de apresentarem propriedades semelhantes, o carvão ativado, por ser submetido a um processo de ativação para desobstruir os seus poros, pode possuir uma porosidade e área superficial superiores as do biochar (BEREK, 2014; PERREIRA et al., 2008) e, como consequência, a sua atuação no solo pode ser mais efetiva.

Estas mudanças na fertilidade do solo promovidas pelo biochar foram observadas por Tian et al. (2018) após estudaram as reações do solo às aplicações sucessivas de doses de biochar (5, 10 e 20 t ha<sup>-1</sup>) durante três anos (2013, 2014 e 2015) de cultivo de algodão. Os pesquisadores verificaram que o biochar de palha de milho aumentou os níveis do pH do solo ao longo dos anos de 2014 e 2015, em todas as doses, quando comparados ao tratamento controle. Este comportamento do pH pode estar relacionado com o potencial de calagem que este material apresenta (DING et al., 2016)

Outra pesquisa que também verificou a eficiência do biochar em modificar as propriedades químicas do solo foi a desenvolvida por He et al. (2016). Nesse estudo, constatou-se que o acréscimo no pH do solo, após a adição de biochar, foi atribuído ao acúmulo de substâncias alcalinas na superfície deste material. Além disso, a capacidade de troca de cátions do solo aumentou devido, provavelmente, ao processo de oxidação biótica e abiótica dos grupos carboxílicos superficiais do biochar que eleva a sua capacidade de troca e, conseqüentemente, a retenção de nutrientes. E ainda foi verificado acréscimo no carbono orgânico total do solo que, possivelmente, ocorreu por causa dos altos conteúdos de carbono recalcitrante no solo.

Semelhante aos resultados da pesquisa de He et al. (2016), Wang et al. (2014) observou que a aplicação de biochar no solo alterou de forma positiva a sua fertilidade, que observaram com aumento nos teores de Na, K, Ca e Mg do solo depois da aplicação de doses de biochar, sendo que o acréscimo mais significativo foi na taxa de 4%. Tal resultado pode estar relacionado à própria composição química do biocarvão que possuía estes elementos ou a sua capacidade de reter nutrientes na sua estrutura, impedindo que estes sofressem lixiviação.

Já em relação aos efeitos do biochar no carbono do solo, Tenório et al. (2018) verificaram que a presença de biochar promoveu aumento de 27% no carbono orgânico

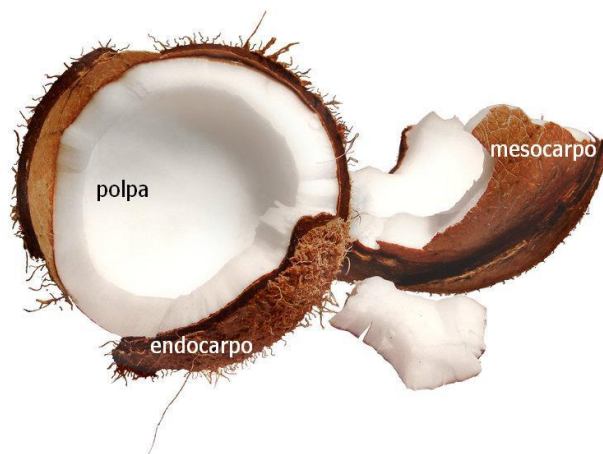
total do solo quando comparou os valores desta variável entre o controle e a dose de 8 t ha<sup>-1</sup>. Enquanto para o carbono da biomassa microbiana, o maior valor foi observado na dose de 32 t ha<sup>-1</sup>. Estes resultados indicaram que o biochar influenciou o estoque de carbono e a população microbiana no solo.

Considerando-se a relevância da utilização de biocarvão para qualidade do solo, esta pesquisa teve o objetivo de avaliar as alterações nos atributos químicos e nos indicadores biológicos de um solo arenoso, cultivado com alface, após a aplicação de biochar e de carvão ativado do endocarpo do coco no solo.

## 4. 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 4. 2. 1. Produção de biochar e análise química do biochar e carvão ativado

O biochar (**Figura 2**) foi produzido por um processo de decomposição térmica (pirólise) do endocarpo do coco (*Cocos nucifera*) (**Figura 1**), em um reator com limitada concentração de oxigênio ou na ausência deste gás, estabelecendo uma taxa de aquecimento de 20°C min<sup>-1</sup> até obtenção da temperatura de 500 °C, a qual foi mantida constante durante 120 minutos. Antes da realização da pirólise, o endocarpo do coco foi moído em um moinho de faca para obtenção de uma menor granulometria. Enquanto o carvão ativado do endocarpo do coco foi comprado da empresa Hidro Solo, localizada em Maceió, AL. A escolha desta biomassa para produção dos biocarvões foi baseada na grande disponibilidade deste resíduo no estado de Alagoas.



**Figura 1.** Endocarpo do fruto de *Cocos nucifera*. L. Fonte: google imagem



**Figura 2.** Biochar antes (A) e após o processo de trituração (B) para obtenção da granulometria igual ou inferior a 0,42 mm. Fonte: autor.

Utilizou-se para fazer a pirólise um forno tubular Jung modelo LT6 2010, com um programador de tempo e temperatura (**Figura 3 B**). O forno alcança uma temperatura máxima de 1000°C, aquecendo o reator cilíndrico que se encontra conectado ao sistema de condensação para coleta do bioóleo. O último condensador (**Figura 3 A**) encontra-se ligado a um compressor/aspirador com vazão volumétrica máxima de 0,024 m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup> e potência de 550 W. Para refrigeração dos condensadores, foi utilizado um banho termostático, mantendo a temperatura de 5 °C. Os gases não condensáveis, resultantes da pirólise, foram liberados para um recipiente contendo água com a finalidade de possíveis gases solúveis em água fossem retidos, evitando, assim, seu lançamento direto para atmosfera. O aparato experimental foi montado no Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos - LASSOP, na Universidade Federal de Alagoas.



**Figura 3.** Forno utilizado para produção de biochar. (A) Sistema de condensação; (B) aparato experimental para realização da pirólise. Fonte: Tenório (2017)

Tanto o biochar quanto o carvão ativado foram triturados e peneirados para obtenção da granulometria igual ou inferior a 0,42 mm. O pH e os teores de nitrogênio, carbono e hidrogênio dos biocarvões foram determinados na Embrapa Tabuleiros Costeiros (**Tabela 1**). Para mensurar o pH, foi adicionado 1 grama de cada biocarvão em 20 ml de água deionizada, agitando cada amostra por 1 hora e 50 minutos, em 100 rpm. Após o período de uma hora foi realizada leitura do pH em um pHmetro (RAJKOVICH et al., 2012). Essa análise foi realizada em triplicata. Já os teores de N, C e H foram obtidos em um analisador elementar CHNS-O. A partir dos valores de C, N e H foram mensuradas as razões atômicas C/N e H/C. Foram também determinados outros elementos presentes nos biocarvões utilizando Espectrometria de fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDX), no Laboratório de Tecnologia de Nanosistemas Carregadores de Substâncias Ativas (TECNANO), localizado na Universidade Federal de Alagoas.

#### 4. 2. 2 Rendimento dos produtos da pirólise

O rendimento dos produtos da pirólise foi calculado a partir do peso da biomassa do endocarpo do coco, da massa de biochar (**Equação 1**) e da quantidade de óleo pirolenhoso (**Equação 2**) produzido. Utilizou-se 24 repetições para determinar o rendimento médio dos produtos.

Rendimento do sólido ( $R_s$ ):

$$R_s = \frac{M_{SF}}{M_i} \times 100 \quad (1)$$

Sendo,

$M_{sf}$  a massa sólida final, obtida após a pirólise;

$M_i$  é a massa sólida inicial.

Rendimento do líquido ( $R_l$ ):

$$R_l = \frac{M_{LF}}{M_i} \times 100 \quad (2)$$

Sendo,

$M_{LF}$  a massa líquida obtida pela condensação de gases após a pirólise;

$M_i$  é a massa sólida inicial

Rendimento gasoso ( $R_g$ ):

$$R_g = 100 - (R_s + R_l) \quad (3)$$

#### 4. 2. 3 Coleta e caracterização química e física do solo antes da incorporação de biochar e carvão ativado ao solo

Para o preenchimento dos vasos, utilizou-se um solo que foi coletado na profundidade de 0 – 20 cm, em uma área de cultivo de cana-de-açúcar, localizada na zona rural de Boca da Mata, AL. Retirando-se uma amostra do solo para análises físicas (**Tabela 1**) e químicas (**Tabela 2**), as quais foram realizadas pela metodologia da EMBRAPA (2009).

**Tabela 1.** Atributos físicos de um solo de textura areia franca na profundidade de 10 – 20 cm, coletado em região de zona rural no município de Boca da Mata -AL, antes da aplicação dos tratamentos. Fonte: Autor

Areia	Silte	Argila	DS	DP	CC	PMP	PT
-----g kg <sup>-1</sup> -----			----- Mg m <sup>-3</sup> -----		----- kg kg <sup>-1</sup> -----		m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>
870	50	80	1,50	2,65	0,142	0,036	0,434

\*DS= densidade do solo; DP=densidade da partícula; CC= capacidade de campo; PMP=ponto de murcha permanente; PT= porosidade total

**Tabela 2.** Atributos químicos de um solo de textura areia franca na profundidade de 10 – 20 cm, coletado em região de zona rural no município de Boca da Mata - AL, antes da aplicação dos tratamentos. Fonte: Autor

pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC <sub>ef</sub>	CTC <sub>pH7</sub>	V	COT
1:2,5	mg dm <sup>-3</sup>	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					-----		(%)	(g kg <sup>-1</sup> )		
5,30	40	0,12	0,11	1,54	0,34	4,1	0,09	2,11	6,24	6,33	33,3	18,8

#### 4. 2. 4 Instalação do experimento em casa de vegetação

O experimento foi desenvolvido em casas de vegetação, na Universidade Federal de Alagoas – Centro de Ciências Agrárias, Campus Delza Gitai e na Embrapa Tabuleiros Costeiros – Unidade de execução de pesquisa, localizadas em Rio Largo, AL (Latitude 9° 29' 45'' S, Longitude 35° 49' 54'' O e 165 m de altitude). Pela classificação de Koppen, a área de estudo enquadra-se no tipo climático As', é tropical litorâneo úmido, com sol de setembro até maio, da primavera até o verão, com temperatura variando em torno de 19°C e 32°C.

O solo utilizado no experimento foi seco ao ar, peneirado em peneira de malha de 4 mm, pesado até obtenção de 15 kg. Os vasos foram preenchidos com a mistura de solo com cada tratamento correspondente ao biochar e ao carvão ativado. O solo com os biocarvões permaneceu incubado durante 245 dias, mantendo-se a umidade na capacidade de campo. Após este período, foi feito o transplante de mudas de alface com 28 dias de idade, no dia 22 de fevereiro de 2017, plantando uma muda por vaso, realizando adubação mineral de base com NPK 30-90-60 kg ha<sup>-1</sup> em todos os tratamentos, segundo o Boletim de Recomendação de Corretivos e Fertilizantes para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008). As mudas de alface da cultivar 'Elba' foram adquiridas de um produtor rural, localizado no município de Arapiraca, AL.

Após 71 dias do plantio das mudas de alface, as amostras de solo foram coletadas, secas ao ar e passadas em peneira de 2,0 mm de malha, retirando-se raízes e resíduos visíveis de plantas, para posterior análise química e biológica. Parte das amostras foram utilizadas para realizar as seguintes análises: pH em água, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, K, P, Al<sup>+3</sup> e H+Al, conforme EMBRAPA (2009). Com o resultado calculou-se a capacidade de troca catiônica a pH7 (CTC<sub>pH7</sub>), a capacidade de troca catiônica efetiva (CTC<sub>ef</sub>), a soma de bases (SB) e saturação por bases (V). E outras amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas sob refrigeração a 4 °C até o momento de serem analisadas com relação ao conteúdo em carbono orgânico total (COT), carbono da biomassa microbiana (CBM) e respiração basal do solo (RBS).

Foi determinado o pH em água por potenciometria (pHmetro) e a acidez potencial foi extraída com solução de acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  com pH 7,1-7,2 e titulada com NaOH  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ .

O K e o P foram extraídos com a solução de Mehlich -1 (HCl  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ ). O fósforo foi quantificado por espectrofotometria e o potássio por fotometria de chama.

A extração de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> foi realizada com a solução extratora de KCl 1N. Para a determinação do Ca<sup>2+</sup> foi adicionado 3 mL da solução de KOH 10% e uma pitada do indicador Murexida, titulando-se com a solução de EDTA  $0,0125 \text{ Mol L}^{-1}$ . Para a determinação de Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> foram adicionados 4 mL da solução coquetel de hidróxido de amônio e cloreto de amônio. Depois foram adicionadas 5 gotas do indicador negro de eriocromo, titulando-se com solução de EDTA  $0,0125 \text{ Mol L}^{-1}$  e a determinação de Mg<sup>2+</sup> foi feita a partir da diferença entre a determinação Ca<sup>2+</sup> e de Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>. E por fim, para o Al foram adicionadas 5 gotas do indicador Azul de Bromotimol e titulado com a solução padrão de NaOH  $0,025 \text{ N}$ .

Para a determinação do carbono orgânico total (COT) utilizou-se o método Walkley-Black que consiste na oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio, na presença de ácido sulfúrico concentrado, por meio do aquecimento da amostra de solo com esta solução (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> a  $0,2 \text{ mol L}^{-1}$  + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado) em placa elétrica até fervura branda por 5 min, deixando-se esfriar. Em seguida foi realizada a titulação com sulfato ferroso amoniacal [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ ] até a passagem da cor violeta para verde, quando o excesso de dicromato é totalmente consumido pela reação, como descrito por Mendonça e Matos (2005).

O carbono da biomassa microbiana foi determinado pelo processo de irradiação-extração mediante metodologia descrita por Mendonça e Matos (2005). Na quantificação do carbono da biomassa microbiana utilizou-se permanganato de potássio como agente oxidante e leitura das amostras em espectrofotômetro, conforme Bartlett e Ross (1988).

Para a determinação da respiração basal (RB), utilizou-se 30 g de TFSA (terra fina seca ao ar) a 70% da capacidade de campo que foi mantida em frasco hermeticamente fechado por 72 horas, sendo o CO<sub>2</sub> capturado por uma solução de NaOH  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ . A titulação foi realizada com HCl  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  (MENDONÇA e MATOS, 2005).

Com os resultados obtidos foram calculados o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e o quociente microbiano ( $qMic$ ). O quociente metabólico foi determinado pela razão C-CO<sub>2</sub> liberado/biomassa microbiana (ANDERSON e DOMSCH, 1993) e o quociente microbiano, determinado pela expressão (CBM/COT) /10 (SPARLING, 1992).

#### 4. 2. 5 Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi disposto em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 6, sendo dois tipos de biocarvões (biochar e carvão ativado) e 6 doses de cada um (0, t ha<sup>-1</sup>, 15 t ha<sup>-1</sup>, 30 t ha<sup>-1</sup>, 45 t ha<sup>-1</sup>, 60 t ha<sup>-1</sup> e 75 t ha<sup>-1</sup>), com 5 repetições.

As variáveis foram submetidas à análise de variância por meio do teste F, utilizando-se o programa estatístico ASSISTAT (SILVA e AZEVEDO, 2009). Quando a interação ou apenas o efeito isolado dose foi significativa pelo teste F, foram realizadas regressões, escolhendo-se o modelo de regressão conforme a significância dos coeficientes de regresso e o valor do coeficiente de determinação (R<sub>2</sub>). E quando o fator isolado biocarvão foi significativo, as médias foram comparadas pelo teste Tukey, ao nível de 1% e 5% de probabilidade.

### 4. 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 4. 3. 1. Rendimento dos produtos pirolisados: biochar, óleo pirolenhoso e gás de síntese

O rendimento dos produtos da pirólise depende das condições da pirólise e da biomassa utilizada. Nesta pesquisa foram utilizados 16 kg e 500 g de casca do endocarpo do coco para produzir aproximadamente 6 kg de biochar, apresentando um rendimento de 31, 3% para o biochar; 50, 50% para o óleo pirolenhoso e 18, 30 % para o gás de síntese.

De acordo com uma pesquisa desenvolvida por Oliveira (2017), que estudou o rendimento do biochar de serragem de *Pinus* produzido em quatro temperaturas (300°C, 400°C, 500°C e 600°C), o rendimento do biochar depende da temperatura utilizada e, quanto maior a temperatura, menor a produção do biochar. Estes pesquisadores verificaram que os rendimentos do biochar em 300°C, 400°C, 500°C e 600°C foram, respectivamente, 50,14%, 30,74%, 23,12% e 19,49%.



Outro estudo que apresentou a influência da temperatura no rendimento dos produtos de pirólise foi o de Masek et al. (2013) que observaram incremento na produção de óleo e gás e redução na produção de biochar, independente da biomassa utilizada, com o aumento de temperatura, de 350°C, 450°C e 550°C. Segundo estes pesquisadores as altas temperaturas promovem uma maior decomposição dos materiais que compõem a biomassa, por isso que a quantidade de biochar produzido reduz em ambiente mais quente. Masek et al. (2013) também verificou que o teor de carbono no biochar aumentou com o acréscimo no valor da temperatura de pirólise, sendo que parte do carbono presente neste material estava na forma lábil e outra parte na forma recalcitrante. A maior quantidade de carbono estável (recalcitrante) na temperatura mais elevada pode ser favorável para sequestro de carbono no solo. Embora a fração lábil também seja relevante para o solo, já que ela pode ser metabolizada pelos micro-organismos do solo, afetando a sua atividade nos primeiros meses em que o biochar foi adicionado ao solo.

#### 4. 3. 2 pH, composição elementar, composição química e razões atômicas de biochar e carvão ativado do endocarpo do coco

O pH, a composição elementar, as razões atômicas C/N e H/C, macro e micronutrientes do biochar e do carvão ativado estão apresentados na Tabela 3. Segundo Mohan et al. (2018) as propriedades do biochar dependem das condições de pirólise e da matéria – prima utilizada para produzi-lo. Da mesma forma, as características do carvão ativado, sendo que também dependerá do processo de ativação.

**Tabela 3.** Propriedades químicas de biochar e carvão ativado do endocarpo de *cocos nucifera* L. Fonte: Autor

Propriedades	Biochar	Carvão ativado
pH <sup>c</sup>	8,38	7,97
C <sup>a</sup>	38,833	51,036
N <sup>a</sup>	0,125	0,156
H <sup>a</sup>	2,597	1,430
Relação H/C	0,066	0,028
Relação C/N	310,664	327,154
Ca <sup>a</sup>	2, 654	8, 096
K <sup>a</sup>	17, 733	13, 451
P <sup>a</sup>	1, 327	3, 090
S <sup>a</sup>	0, 636	0, 880
Mn <sup>a</sup>	0, 486	0, 588
Zn <sup>a</sup>	0, 322	0, 290
Fe <sup>a</sup>	74, 015	32, 273
Cu <sup>a</sup>	0, 734	1, 252

a- Porcentagem em massa; b- base seca; c- pH em água

O valor de pH do biochar e carvão ativado foram de 8,38 e 7,97, respectivamente, isto é, eles apresentaram pH alcalino (**Tabela 3**). Os principais elementos que podem ser responsáveis por este pH alcalino são os carbonatos formados durante a pirólise da biomassa. Quando estes biocarvões são adicionados no solo, os carbonatos e os ânions orgânicos podem reagir com os componentes químicos do solo promovendo o aumento do seu pH; sendo que os ânions orgânicos neutralizam mais rápido a acidez do solo, uma vez que eles têm uma reação rápida com o H<sup>+</sup>, enquanto os carbonatos têm uma reação mais lenta, embora sua ação em solo ácido possa durar mais tempo. O acréscimo no valor do pH do solo é importante pois influencia a solubilidade e disponibilidade de nutrientes às plantas, a população e a atividade microbiana, a quantidade de cargas elétricas negativas presentes na matéria orgânica e nos argilominerais e óxi-hidróxido de alumínio e de magnésio (TIECHER, 2015; YUAN et al., 2011b; BRITO, 2010; SILVA e MENDONÇA, 2007; RAIJ, 1969;).

Outros pesquisadores também encontraram pH alcalino nos biochars estudados. Cornz (2015), avaliando o pH de biochars de palha de cana-de-açúcar, casca de arroz e

serragem produzidos em diversas temperaturas (350°C, 450°C, 550°C e 650°C), observaram que todos os biochars apresentaram pH alcalino, enquanto o pH da biomassa era ácido. Abenavoli et al. (2016) também verificaram pH alcalino nos biochars analisados, com pH de 9,9 para biochar de avelã e com pH de 8,4 para biochar de oliva. E Jindo et al. (2014) estudando as características físicas e químicas de biochars de resíduo de macieira e carvalho e de casca e palha de arroz, produzidos em temperatura de 400°C até 800°C, perceberam que todos eles possuíam um pH alcalino quando produzidos em temperaturas igual e superior a 500°C.

A razão molar H/C indica o grau de aromaticidade dos biocarvões. Como exposto na Tabela 3, esta relação foi baixa por causa das perdas de H e acúmulo de C durante a pirólise. Este pequeno valor indica uma aromaticidade dos biocarvões mais elevada e, conseqüentemente, uma maior estabilidade deste material no solo. Já a relação C/N dos biocarvões foi muito alta, podendo ocasionar a imobilização de nitrogênio pelos microorganismos e, conseqüentemente, o suprimento insuficiente de nitrogênio para as plantas. Para amenizar esta situação, recomenda-se realizar o plantio aproximadamente 30 dias após a incorporação do material no solo, evitando assim que a imobilização do nitrogênio ocorra no período de maior demanda deste elemento pela planta, sendo também indicado a aplicação de uma maior quantidade de adubo nitrogenado na semeadura da cultura. Além disso, esta alta razão implica na decomposição mais lenta do material orgânico, podendo o mesmo permanecer no solo por um período de tempo maior (SHACKLEY et al., 2016; PEDROSA et al., 2014; PICCOLLA et al., 2013; ROSSI et al., 2013; ZWIETEN et al., 2010; ERNANI et al., 2005). Como estes biocarvões possuem alta relação H/C e C/N, a sua recalcitrância é elevada, atuando na melhoria das propriedades do solo por muito mais tempo e do meio ambiente, por meio do sequestro de carbono no solo.

A baixa relação H/C observada nesta pesquisa corrobora com as constatadas no trabalho desenvolvido por Figueredo et al. (2017) que analisando as propriedades químicas de biochars produzidos a partir de cana-de-açúcar, eucalipto e lama de esgoto, em temperaturas de 350 °C e 500 °C, verificaram baixa razão molar de H/C em todos os materiais estudados. Também foi encontrado baixa razão molar de H/C, menor do que 1, nos biochars de esterco de galinha, serragem de eucalipto, casca de café, bagaço de cana-de-açúcar e casca de pinheiro, produzidos em temperatura de 350 °C, 450 °C e 750 °C, por Domingues et al. (2017).

A análise dos biocarvões mostrou que eles possuem macro e micronutrientes (**Tabela 3**) que podem ser disponibilizados para solução do solo e, conseqüentemente, absorvidos pelas plantas. Segundo Nóbrega (2011), parte destes elementos podem estar em compostos lábeis ou estáveis. Os lábeis são degradados mais rapidamente e seus nutrientes liberados para os micro-organismos (SPOKAS et al., 2012) e para o solo, enquanto que os estáveis apresentam uma degradação mais lenta.

A presença de macronutrientes essenciais às plantas em biochars também foi observado por Cornz (2015), para os elementos P, K, Ca, Mg e S, e por Labegalini (2013) para Ca, Mg, P e K.

#### 4. 3. 3 Análise de variância dos componentes da fertilidade do solo

De acordo com o teste F (**Tabela 4**), foi possível verificar que pelo menos um dos tratamentos foi diferente dos demais, ao nível de 1% e 5 % de significância, com relação aos teores de nutrientes no solo e aos indicadores de fertilidade do solo. Aceitando a hipótese nulidade apenas para os teores de alumínio e capacidade de troca catiônica efetiva do solo.

Avaliando-se a análise de variância (**Tabela 4**), observa-se que a interação entre dose e fonte de biocarvão foi significativa apenas para os teores de potássio (K), cálcio (Ca) e fósforo (P) no solo, mostrando que o efeito dos biocarvões nestas variáveis depende da dose utilizada no solo. Já para o fator fonte (biochar e carvão ativado) constata-se variação significativa para os valores de acidez potencial (H+Al), capacidade de troca catiônica a pH7 (CTC<sub>pH7</sub>) e saturação por base (V). E para o fator dose, observa-se diferença estatística para os valores de pH, Mg, H+Al, CTC<sub>pH7</sub>, SB e V do solo.

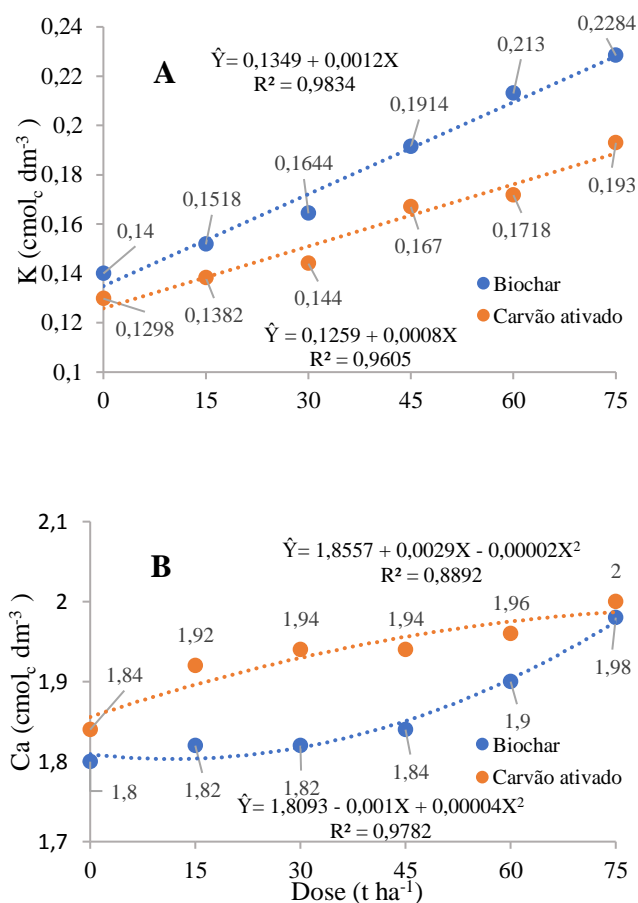
**Tabela 4.** Resumo da análise de variância para as variáveis de solo: pH, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio trocável (Al), acidez potencial (H+Al), fósforo (P), soma de base (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (CTC<sub>ef</sub>), capacidade de troca catiônica a pH7 (CTC<sub>pH7</sub>) e saturação por base (V%) sob diferentes fontes e doses de biocarvão. Fonte: Autor

FV	GL	Quadro de análise de variância										
		Quadrados Médios										
		pH (H <sub>2</sub> O)	K	Ca	Mg	Al	H + Al	P	SB	CTC <sub>ef</sub>	CTC <sub>pH7</sub>	V
		(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )					(mg dm <sup>-3</sup> )	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		(%)		
<b>Bloco</b>	4	0,0180 <sup>ns</sup>	0,0002 <sup>ns</sup>	0,0300 <sup>ns</sup>	0,0193 <sup>ns</sup>	0,0005 <sup>ns</sup>	0,2087 <sup>ns</sup>	15,6083 <sup>ns</sup>	0,0391 <sup>ns</sup>	0,0328 <sup>ns</sup>	0,1931 <sup>ns</sup>	15,6538 <sup>ns</sup>
<b>Fontes</b>	1	0,0450 <sup>ns</sup>	0,0083 <sup>**</sup>	1,9440 <sup>**</sup>	0,0282 <sup>ns</sup>	0,0003 <sup>ns</sup>	0,8401 <sup>**</sup>	187,2666 <sup>**</sup>	0,0123 <sup>ns</sup>	0,0018 <sup>ns</sup>	0,6827 <sup>**</sup>	31,8282 <sup>**</sup>
<b>Doses</b>	4	0,0943 <sup>-</sup>	0,0009 <sup>-</sup>	0,5740 <sup>-</sup>	0,0742 <sup>-</sup>	0,0012 <sup>ns</sup>	1,1694 <sup>-</sup>	5,1466 <sup>-</sup>	0,1968 <sup>-</sup>	0,1991 <sup>-</sup>	0,7294 <sup>-</sup>	118,1686 <sup>-</sup>
<b>Reg. Linear</b>	1	0,2500 <sup>**</sup>	0,0021 <sup>**</sup>	0,2414 <sup>**</sup>	0,0432 <sup>*</sup>	0,0043 <sup>ns</sup>	5,5804 <sup>**</sup>	9,6057 <sup>ns</sup>	0,6554 <sup>**</sup>	0,0524 <sup>ns</sup>	3,1799 <sup>**</sup>	548,6116 <sup>**</sup>
<b>Reg. Quadrática</b>	1	0,0110 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	0,5867 <sup>**</sup>	0,2333 <sup>**</sup>	0,0009 <sup>ns</sup>	0,1214 <sup>ns</sup>	5,3440 <sup>ns</sup>	0,2008 <sup>**</sup>	0,2163 <sup>ns</sup>	0,0066 <sup>ns</sup>	34,7700
<b>F X D</b>		0,0235 <sup>ns</sup>	0,0039 <sup>**</sup>	0,7104 <sup>**</sup>	0,0045 <sup>ns</sup>	0,0003 <sup>ns</sup>	0,1197 <sup>ns</sup>	25,4666 <sup>**</sup>	0,0088 <sup>ns</sup>	0,0064 <sup>ns</sup>	0,0919 <sup>ns</sup>	4,5606 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	44											
<b>CV (%)</b>		3,90	10,44	7,82	12,37	3,89	8,10	5,64	3,90	3,36	3,90	4,51

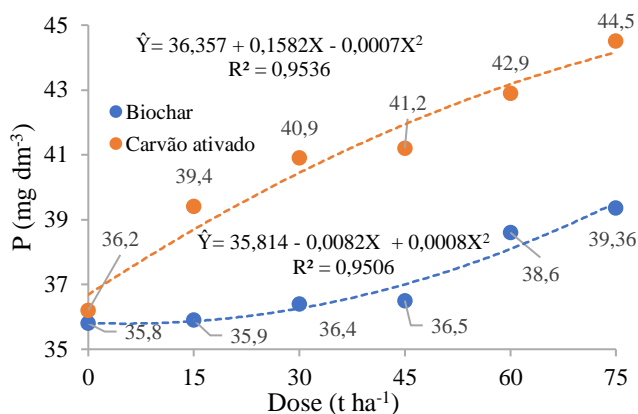
\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0.01); \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade (p<0.05); <sup>ns</sup>Não significativo pelo teste F.

#### 4. 3. 4 Teores de potássio (K), cálcio (Ca) e fósforo disponível (P) na interação biocarvão e dose, após 245 dias de incubação.

A aplicação de biochar e carvão ativado no solo promoveu mudanças nos teores de potássio, cálcio e fósforo, ocasionando interação significativa entre as doses e os biocarvões (biochar e carvão ativado) (**Figuras 4 e 5**). A equação linear foi a que representou de melhor forma o aumento do teor de K no solo e a equação polinomial, os teores de P e Ca.



**Figura 4.** Variação dos teores de potássio (K) (A) e cálcio (Ca) (B) em função das doses de biochar e carvão ativado aplicadas em solo arenoso. Fonte: Autor



**Figura 5.** Variação do teor de fósforo (P) em função das doses de biochar e carvão ativado aplicadas em solo arenoso. Fonte: Autor

Os acréscimos nos valores destes elementos no solo podem estar relacionados a composição química do biochar e do carvão ativado, logo o maior teor de K no biochar em relação ao carvão ativado resultou na maior concentração deste nutriente nos solos tratados com biochar. Da mesma forma, verificou-se que o P e Ca (3,090 e 8,096 %, respectivamente) no carvão ativado eram superiores ao do biochar (1,327 e 2,654 %, nesta ordem), refletindo na maior concentração destes elementos no solo com carvão ativado (**Tabela 1**).

O teor de K<sup>+</sup> no solo com biochar e carvão ativado, em todas as doses, se manteve ou alcançou os níveis de fertilidade do solo classificados como médio (0,1048 a 0,1795 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e bom (0,1820 a 0,3076 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>); enquanto a concentração de Ca<sup>2+</sup> no solo permaneceu apenas na faixa de fertilidade considerada média (1,21 a 2,40 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) para o crescimento e desenvolvimento das culturas, sendo que estes valores podem variar para mais ou para menos dependendo da planta cultivada (RIBEIRO et al., 1999). Estes resultados indicam que os dois biocarvões podem ser utilizados com objetivo de aumentar a disponibilidade de K e de Ca para as plantas, principalmente nos solos de textura mais arenosa; pois, segundo Oliveira e Villas Boas (2008) e Werle et al. (2008) estes solos promovem a perda K e de outros elementos pela lixiviação, devido sua baixa capacidade de reter nutrientes na área ocupada pelo sistema radicular.

O aumento de K<sup>+</sup> e Ca<sup>2+</sup> após a atuação do biochar e de carvão ativado no solo deve estar relacionada à porosidade destes materiais, a qual colabora, conforme Major (2009), para retenção de nutrientes por meio das forças capilares, como acontece nos microporos do solo. Em solos arenosos, o biochar pode atuar de forma semelhante à

argila, retendo uma considerável quantidade de água no solo, mesmo quando o potencial matricial deste solo é elevado. Este acréscimo na retenção da solução do solo pode contribuir com a redução da lixiviação de nutrientes, especialmente em solos arenosos e, conseqüentemente, aumentar a disponibilidade dos elementos essenciais às plantas, por exemplo, o potássio e o cálcio.

Manter os níveis de  $K^+$  no solo adequados às culturas é importante para o seu crescimento, desenvolvimento e produção, já que este nutriente está envolvido principalmente no processo de abertura e fechamento dos estômatos, podendo influenciar a fotossíntese e a demanda de água pela planta, refletindo na produção final do vegetal. Enquanto o  $Ca^{2+}$  é fundamental para o crescimento do sistema radicular, devido a sua atuação na divisão e alongamento celular. Além disso, é responsável por manter a estrutura e o funcionamento da membrana celular, podendo ocasionar maior firmeza aos frutos, por exemplo, aos do tomateiro, resultando em um maior tempo de prateleira (VILAS BOAS, 2014; FAQUIN, 2005; LOPES, 1998).

O incremento nos teores de  $K^+$  e  $Ca^{2+}$  no solo após aplicação de biochar também foi observado por Mohan et al. (2018) que verificaram no solo manejado com biochar maior concentração de  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  e de CTC em comparação ao solo sem biochar. Glaser et al. (2002) também constataram que o carvão vegetal apresenta Ca, Mg e K na sua cinza, sendo estes elementos disponibilizados para solução do solo, por meio da mineralização, resultando no acréscimo destes nutrientes no solo que são fundamentais às culturas.

Em relação ao P, a adição de doses de biochar e carvão ativado no solo promoveu acréscimo no teor deste nutriente, mantendo o solo com uma boa fertilidade, de acordo com a classificação sugerida por Ribeiro (1999). Este aumento pode ter ocorrido devido a liberação de fósforo solúvel associado ao biochar, o qual pode ter sido formado durante a pirólise, por meio da quebra das ligações do fósforo orgânico (DELUCA et al., 2009), como também pelo incremento no pH do solo (**Figura 4**). Segundo Dume et al. (2016), Atkinson et al. (2010) e DeLuca et al. (2009) a aplicação de biochar no solo pode melhorar o pH do solo, tornando-o menos ácido e, conseqüentemente, com uma menor disponibilidade de  $Al^{+3}$  na rizosfera, evitando a precipitação de fósforo com este íon e acrescentando a formação da fração lábil/disponível de fósforo no solo.



Outro fator que pode ter contribuído para o aumento do teor de P no solo em função das doses de biochar e carvão ativado foi a capacidade de troca aniônica destes materiais. Segundo Lawrinenko (2014) o biochar pode apresentar uma significativa capacidade de reter ânions (CTA), logo pode ser utilizado na agricultura para aumentar a CTA do solo, promovendo redução nas perdas de nitrato e fosfato por lixiviação. Como consequência, ocorre diminuição da contaminação das águas superficiais e subterrâneas e da quantidade de fertilizante utilizado no solo. Ainda conforme este autor, a CTA do biochar é dependente da biomassa, das condições de pirólise e também do seu pH. O aumento na CTA do biochar com a redução do pH é atribuído a diminuição dos íons hidróxidos; e a persistência da alta CTA em biochars com alto pH indica o surgimento de cargas positivas independentes do pH.

A CTA do biocarvão também pode ser influenciada por sua área superficial, pois de acordo Lawrinenko (2014) um biochar com maior área superficial apresenta uma melhor exposição das cargas positivas. Devido a isto, o carvão ativado pode ter exibido uma maior quantidade de cargas positivas na sua superfície, resultando em uma maior adsorção de P disponível no solo, como observado na figura 5.

A importância do aumento no teor de P no solo após a ação do biochar e carvão ativado está relacionada a necessidade deste elemento para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Este nutriente está envolvido no processo de transferência de energia durante a fotossíntese e respiração e é componente estrutural dos ácidos nucleicos, coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídios (GRANT et al., 2001). Sendo assim, a maior disponibilidade de P pode influenciar positivamente a produção das culturas.

#### 4. 3. 5 Valores de acidez potencial ( $H+Al$ ) e dos indicadores de fertilidade de solos tratados com biochar e com carvão ativado, após 245 dias de incubação

Observou-se pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ) que os valores de  $H+Al$  e  $CTC_{pH7}$  foram superiores nos solos tratados com biochar. Enquanto a variável V foi maior nos solos manejados com carvão ativado (**Tabela 5**).

**Tabela 5.** Valores médios da H + Al, da CTC<sub>pH7</sub> e da V de solos tratados com dois tipos de biocarvões, biochar e carvão ativado. Fonte: Autor

Carvões	H + Al	CTC <sub>pH7</sub>	V
	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----		%
<b>Biochar</b>	3,710a	6,672 a	45,070 b
<b>CA*</b>	3,473b	6,459 b	46,567 a

\*Carvão ativado = CA. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si. Médias seguidas de letra distinta nas colunas diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A acidez potencial (H + Al) representa o íon H<sup>+</sup> covalente e os íons de H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup> trocáveis, caracterizando o poder tampão de acidez do solo em virtude da alteração da concentração H<sup>+</sup> na fase líquida, isto é, o pH (SOUSA et al., 2007; LOPES, 1998). Isto significa que o solo pode ser mais resistente em alterar a sua acidez por causa da presença do H e Al na forma trocável nas superfícies dos coloides do solo. Já a CTC<sub>pH7</sub> refere-se aos cátions básicos (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>) e cátions ácidos (Al<sup>3+</sup> e H<sup>+</sup>) do solo (LOPES et al., 1998). Sendo assim, os maiores valores de H+Al e CTC<sub>pH7</sub> nos solos tratados com biochar indicam que este biocarvão apresentou um menor potencial em reduzir a acidez do solo, provavelmente, devido as suas propriedades físicas diferenciarem das encontradas no carvão ativado, com menor área superficial específica e menor porosidade. Isto faz com que a área de contato do biochar com o solo seja inferior ao do carvão ativado, resultando, possivelmente, em uma menor retenção de H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup> nas suas superfícies e, conseqüentemente, maior acidez potencial e CTC<sub>pH7</sub>.

As mudanças nos valores de acidez do solo tratado com biochar também foram estudadas por outros pesquisadores, sendo que alguns encontraram redução de 20% nesta variável (PETTER et al., 2012), outro aumento no seu valor (TENÓRIO, 2017) e ainda foi observado nenhuma modificação na acidez do solo (SILVA, 2017). Estes resultados distintos indicam que as alterações que o biocarvão promove na acidez potencial do solo depende das propriedades (químicas e físicas) do biocarvão, do tempo de ação deste material no solo e do tipo de solo tratado.

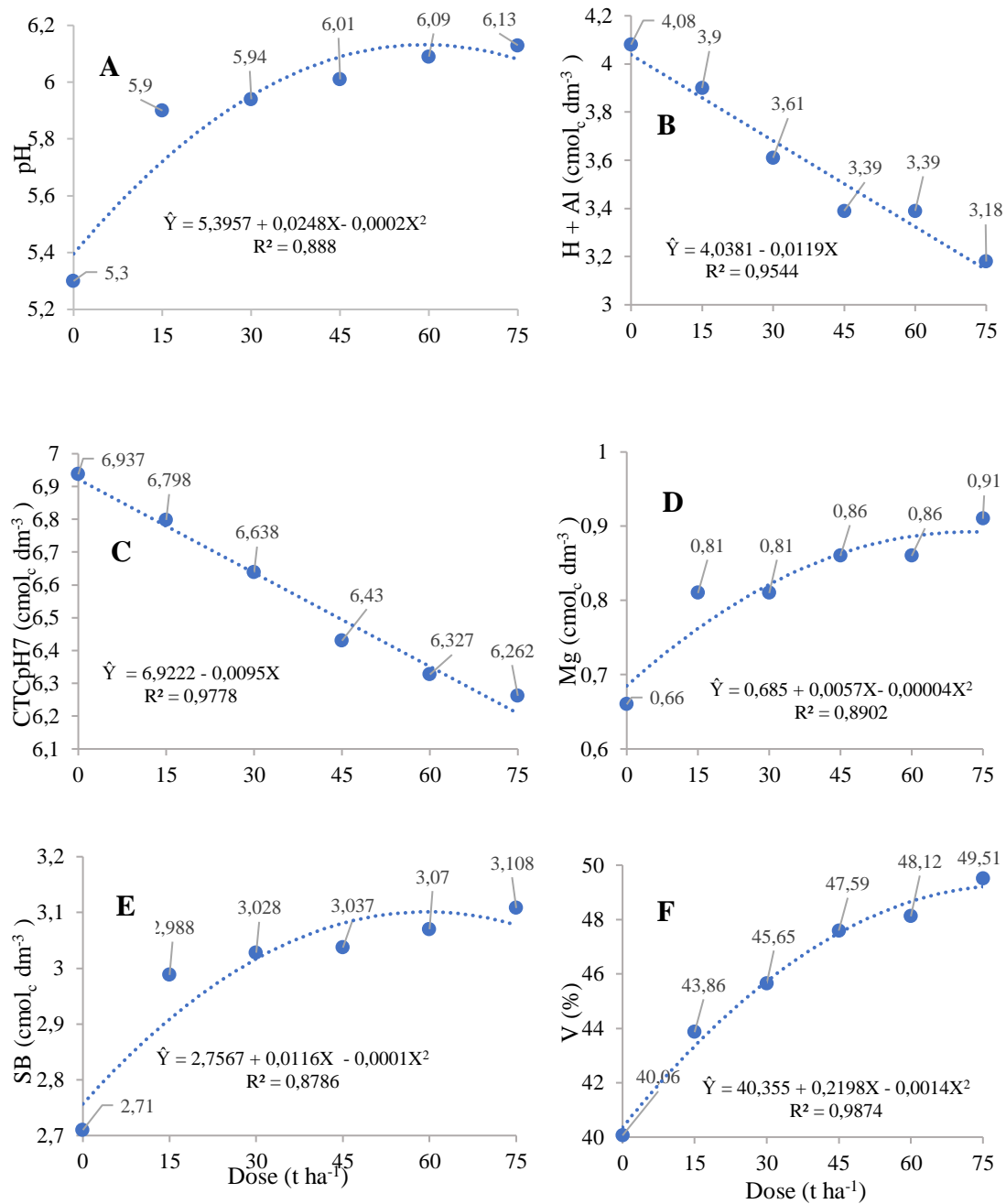
Em relação a saturação por base, o carvão ativado foi o responsável por promover maior valor nesta variável. A saturação por base reflete a quantidade de cátions básicos

que está retida no complexo de troca do solo em comparação com os cátions ácidos (LOPES, 1998) e ela é utilizada como parâmetro para classificar a fertilidade do solo em fértil e pouco fértil. Sendo assim, a maior V (%) encontrada no solo com carvão ativado indica uma melhor fertilidade do solo em relação ao solo com biochar, apesar do valor desta variável nos dois tratamentos estarem no índice de baixa fertilidade (RONQUIM, 2010).

De acordo com IAC (2014) a saturação por base ideal para as culturas de alface, coentro, espinafre, rúcula e agrião d'água é de 80% e para almeirão e chicória, 70%. Para estas culturas, a elevação da saturação por base promovida pelo biochar e carvão ativado não atingiu o valor recomendado. Provavelmente, seria necessário realizar calagem para que este valor fosse alcançado ou permitir um tempo maior de ação dos biocarvões no solo. Apesar dos biocarvões não terem promovido o aumento da saturação por base até estes valores indicados para estas culturas, eles aumentaram esta saturação em relação ao solo antes do tratamento (**Tabela 2**), corroborando com o estudo de Cornelissen et al. (2013) no qual foi observado aumento no pH, na CTC, saturação por base de solos tratados com biochar. Segundo Glaser et al. (2002), o solo tratado com biochar pode apresentar um aumento de 10 vezes na saturação por base quando comparado ao controle.

4. 3. 6 Valores de pH, acidez potencial (H+Al), magnésio (Mg) e dos indicadores de fertilidade de solos em função das doses de biocarvões, após 245 dias de incubação.

A adição de biocarvão no solo interferiu positivamente nas variáveis pH, H + Al, CTC<sub>pH7</sub>, Mg, SB e V, verificando que as doses utilizadas interferiram nos seus valores (**Figura 6**).



**Figura 6.** Variação dos valores de pH (A), H+Al (B), CTC<sub>pH7</sub> (C), Mg (D), SB (E) e V (F) no solo em função das doses de biocarvão. Fonte: Autor

Os resultados obtidos para os valores de pH, H + Al, CTC<sub>pH7</sub>, Mg, SB e V do solo após adição de doses de biocarvão demonstram o potencial deste material em melhorar a fertilidade do solo, incrementando os valores destas variáveis com o aumento das taxas aplicadas. O padrão dos valores do pH do solo indicou que a aplicação de biocarvão no solo pode favorecer a redução da acidez de solos ácidos, devido ao potencial de calagem que o biochar apresenta. Este potencial está mais relacionado a presença de espécies

químicas alcalinizantes que neutralizam a acidez do solo do que com o pH do material. Tais espécies são os carbonatos de potássio e cálcio que compõem o biochar. A quantidade destes componentes depende da biomassa utilizada e das condições de pirólise empregadas para produção do biocarvão. Por causa da sua ação no solo, o biochar pode substituir parcialmente a aplicação de calcário nos cultivos agrícolas brasileiros (DOMINGUES et al., 2017; BEREK, 2014; SINGH et al., 2010).

O valor de pH do solo também pode aumentar após a adição de biochar no solo por causa da reação dos grupos funcionais carboxílicos da superfície deste material com os prótons do solo, resultando na redução da concentração de  $H^+$  e  $Al^{+3}$  no meio e, conseqüentemente, no incremento do seu pH. E esta variável também pode ter sido afetada pela liberação de metais alcalinos terrosos presentes nas cinzas do biocarvão que ocasionou um aumento nos cátions básicos do solo e, por conseguinte, ocorreu acréscimo no seu pH (STEINER et al., 2007; TANG e YU, 1999; STEENARI et al., 1999; LAWRINENKO, 2014). Este incremento pode ter influenciado a redução da acidez potencial ( $H+Al$ ) e da capacidade de troca de cátions a pH7 (CTCpH7) no solo tratado com biocarvão, pois conforme Nicolodi et al. (2008) o aumento na  $H + Al$  ocorreu com a redução do pH do solo, ou seja, nos maiores valores de pH a acidez potencial foi menor.

Segundo Rezende (2013) e Atkinson et al. (2010) a modificação do valor do pH do solo após a atuação do biochar pode interferir na disponibilidade de nutrientes para as culturas, como Ca, Mg, N e P. Sendo assim, o aumento do pH do solo pode ter acarretado a maior disponibilidade de Mg para as plantas e a maior V no solo.

Em um estudo desenvolvido por Jien e Wang (2013) também foi verificado aumento progressivo no valor de pH do solo após a adição de doses de biochar, demonstrando que o potencial de calagem deste material orgânico é maior com o incremento das doses utilizadas. Esta mudança no valor do pH do solo após adição de biochar foi igualmente observado por Danish et al. (2015) que relacionaram este resultando com a presença de metais alcalinos e de OH no biochar. Silva et al. (2017), Wang et al. (2015), Jien e Wang (2013) também observaram este acréscimo após adição de biochar no solo.

Em relação ao comportamento do Mg, ele aumentou conforme as taxas de biocarvão. Esta resposta pode estar relacionada com o pH do solo, como citado anteriormente.

Dume et al. (2016) observaram que a adição de doses de biochar no solo não aumentou significativamente o pH do solo, contradizendo o resultado desta pesquisa. A diferença entre os resultados pode estar relacionada com a quantidade de biochar aplicada no solo, tendo como referência a dose de 15 t ha<sup>-1</sup>. Essa dose foi a maior utilizada por Dume et al. (2016) e a menor desta pesquisa, o que, conseqüentemente, afetou o resultado dos dois estudos. No entanto, segundo os autores, apesar do não efeito do biochar no pH do solo, verificou-se que o maior valor de pH encontrado foi na dose de 15 t ha<sup>-1</sup> e o menor no controle. Outro fator que pode ter influenciado os dois resultados foi o tempo de contato do material orgânico com o solo que foi de 90 dias no trabalho de Dume et al. (2016) e 245 dias neste estudo.

#### 4. 3. 7 Análise de variância do carbono orgânico total e dos indicadores biológicos do solo

A tabela 6 apresenta os resultados estatísticos referentes ao carbono orgânico total e aos indicadores biológicos de solo cultivado com alface. Analisando o quadro de análise de variância foi verificado que pelo menos um dos tratamentos das variáveis carbono orgânico total (COT), carbono da biomassa microbiana (CBM) e quociente microbiano ( $q_{Mic}$ ) foi diferente dos demais, ao nível de 5% de significância. Aceitando a hipótese de nulidade apenas para a respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>) e o quociente metabólico ( $q_{CO_2}$ ).

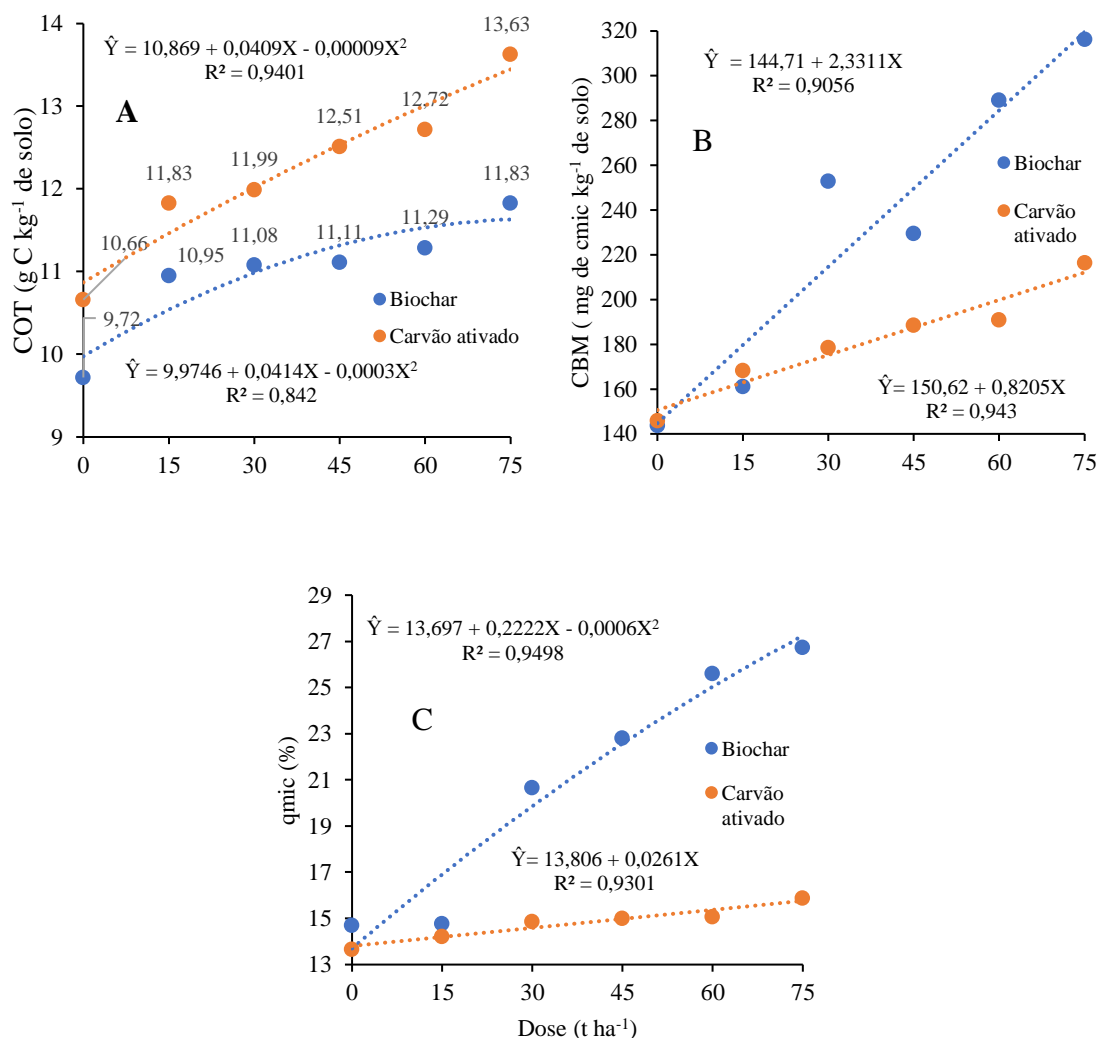
**Tabela 6.** Resumo da análise de variância para as variáveis de solo: carbono orgânico total (COT), respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (*q*CO<sub>2</sub>) e quociente microbiano (*q*Mic). Fonte: Autor

Quadro de análise de variância						
FV	GL	Quadrados médios				
		COT	C-CO <sub>2</sub>	CBM	<i>q</i> CO <sub>2</sub>	<i>q</i> Mic
		g C kg <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub> . g <sup>-1</sup>	mg de C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> Cmic. h <sup>-1</sup>	mg de cmic kg <sup>-1</sup>	mg de C-	%
<b>Blocos</b>	4	1.5217 <sup>ns</sup>	0.2320 <sup>ns</sup>	4383.6248 <sup>ns</sup>	0.0005 <sup>ns</sup>	45.3511 <sup>ns</sup>
<b>Fontes</b>	1	22.5338 <sup>**</sup>	0.0627 <sup>ns</sup>	64484.8166 <sup>**</sup>	0.0004 <sup>ns</sup>	839.9368 <sup>**</sup>
<b>Doses</b>	5	1.4137 <sup>ns</sup>	1.3535 <sup>--</sup>	13444.4008 <sup>--</sup>	0.0002 <sup>--</sup>	103.7223 <sup>--</sup>
<b>Reg. Linear</b>	1	0.2137 <sup>ns</sup>	0.0009 <sup>ns</sup>	259.0770 <sup>**</sup>	0.0000 <sup>ns</sup>	0.0002 <sup>ns</sup>
<b>Reg. Quadrática</b>	1	2.4373 <sup>ns</sup>	0.9927 <sup>ns</sup>	23630.7378 <sup>**</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>	193.3355 <sup>ns</sup>
<b>F X D</b>	4	29.9973 <sup>**</sup>	0.4621 <sup>ns</sup>	20121.3796 <sup>**</sup>	0.0002 <sup>ns</sup>	157.3146 <sup>**</sup>
<b>Resíduo</b>	44	1.2494	0.136119	5509.4939	0.0004	52.4774
<b>CV (%)</b>		9,63	12,40	13,00	14,03	11,00

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0.01); \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade (p<0.05); <sup>ns</sup>Não significativo pelo teste F.

4. 3. 8 Interação do carbono orgânico total (COT), carbono da biomassa microbiana (CBM) e quociente microbiano (*q*Mic) em solos tratados com doses de biochar e carvão ativado, após 245 dias de incubação.

A figura 7 representa a regressão do COT, CBM e *q*Mic em solo tratado com doses de biochar e carvão ativado, após 245 dias de incubação.



**Figura 7.** Variação dos valores do carbono orgânico total (COT) (A), carbono da biomassa microbiana (CBM) (B) e quociente microbiano ( $qMic$ ) (C), em função das doses de biochar e carvão ativado. Fonte: Autor

Verifica-se que o COT tanto do solo com biochar quanto com carvão ativado apresentou aumento nos seus valores em função das doses aplicadas. Este incremento pode estar relacionado a alta quantidade de carbono encontrada em cada biocarvão (**Tabela 1**), como observado no estudo desenvolvido por Shenbagavalli e Mahimairaja (2014) que demonstrou crescimento no valor de COT do solo depois do tratamento com biochar, sugerindo, segundo os autores, que este acréscimo estava relacionado ao grande teor de carbono no biochar. Além disso, o biochar pode favorecer a formação de componentes orgânicos com alta estabilidade química e biológica, resultando na melhoria da estabilidade do carbono e no aumento de seu estoque no solo e, como consequência, promove o sequestro de carbono no solo (TIAN et al., 2016; LI et al., 2015). Este aumento no teor de COT também foi importante em virtude do solo tratado ser classificado como



de textura arenosa, pois este tipo de solo apresenta uma característica física que facilita o acesso dos micro-organismos à matéria orgânica, resultando em maiores perdas de carbono para atmosfera. Sendo assim, mesmo com esta propriedade, o teor de carbono no solo cresceu na presença de biocarvão, por causa dos três tipos de proteção ao carbono (física, química e bioquímica) que, provavelmente, o biochar e carvão ativado promovem.

Este aumento no teor de carbono no solo após o tratamento com biochar e carvão ativado também foi observado por Bera et al. (2016) ao estudarem as mudanças nas propriedades bioquímicas de solo cultivado com milho durante três anos, e tratado com biochar, fertilizante ou esterco. Eles, verificaram que a presença de biochar no solo promoveu os maiores valores de COT. Este maior valor também foi observado na pesquisa desenvolvida por Wu et al. (2014). Segundo Mohan et al. (2018), uma grande parte do carbono do biochar não se decompõe, resultando no sequestro de carbono no solo por um longo período de tempo.

Também foi observado que o carvão ativado no solo apresentou maiores teores de COT em relação ao biochar, em todas as doses aplicadas no solo. Esta diferença pode ser relacionada ao maior teor de CO no carvão ativado e também a sua maior aromaticidade, confirmada na menor relação H/C deste biocarvão (**Tabela 1**). Esta maior aromaticidade pode ter promovido uma menor decomposição do carvão ativado pelos micro-organismos do solo e, conseqüentemente, uma proteção bioquímica ao carbono resultando em um maior teor de carbono orgânico no solo; pois segundo Cunha et al. (2007) quanto mais baixa a razão H/C, mais alta a resistência das estruturas aromáticas a oxidação.

Tanto o carbono da biomassa microbiana (CBM) quanto o quociente microbiano ( $q_{Mic}$ ) aumentaram conforme o acréscimo das doses de biochar e carvão ativado. A biomassa microbiana representa a fração viva da matéria orgânica, sendo responsável pelos processos de decomposição e mineralização da matéria orgânica do solo, obtendo dela nutrientes e carbono para a formação e desenvolvimento de suas células. Por ser o componente orgânico mais sensível a alterações no ambiente, a biomassa microbiana responde rapidamente a qualquer modificação que ocorra no solo e no clima e também a qualidade e quantidade de resíduo orgânico depositado no solo. Já o quociente microbiano representa a quantidade de carbono orgânico do solo imobilizado na biomassa microbiana (SOUZA et al., 2010; CARDOSO et al., 2009; GAMA – RODRIGUES e GAMA-RODRIGUES, 2008).

O acréscimo observado no valor do CBM pode estar relacionado a maior disponibilidade de carbono no solo com o aumento das doses dos biocarvões (**Figura 7**). Este incremento, possivelmente, estimulou tanto a incorporação de carbono no tecido microbiano quanto o crescimento da população de micro-organismos, como observado por Zang et al. (2014) após a adição de biochar e resíduo de palha de trigo no solo. Estes pesquisadores verificaram que a presença destes materiais orgânicos no solo estimulou o aumento do CBM em relação ao tratamento controle, indicando que o biochar pode ter acelerado o crescimento microbiano devido fornecimento de um habitat favorável aos micro-organismos. Outros pesquisadores que também verificaram aumento no carbono da biomassa microbiana nas maiores taxas de biochar foram Xu et al. (2016), Shenbagavalli e Mahimairaja (2014).

Na comparação entre os biocarvões, o solo com biochar apresentou valores de CBM e  $q_{Mic}$  superiores aos encontrados no solo com carvão ativado. Este resultado pode indicar a formação de um ambiente no solo mais favorável ao desenvolvimento dos micro-organismos e também uma maior eficiência microbiana em utilizar o carbono presente no biochar, incorporando-o ao tecido microbiano (SILVA et al., 2010; MALUCHE-BARETTA et al., 2007).

#### **4. 4 CONCLUSÕES**

O endocarpo do coco demonstrou ser um ótimo material para produzir biochar, pois o biochar dele produzido apresentou características desejáveis para um condicionador do solo. Além disso, a pirólise desta biomassa pode minimizar os problemas ambientais relacionados com ao descarte de resíduo de forma inapropriada no meio ambiente, uma vez que o endocarpo do coco é produzido em grande quantidade no estado de Alagoas, não apresentando um destino final adequado que possa suportar toda a produção deste refugo neste estado.

A caracterização química do biochar e do carvão ativado comprovou que estes materiais poderiam influenciar as propriedades químicas e microbiológicas do solo, pois apresentavam pH alcalino, alta resistência à oxidação, alto teor de carbono e nutrientes essenciais às plantas. Em geral, estas características dos biocarvões modificaram o solo,

com aumento no pH, no estoque de carbono no solo e na disponibilidade de nutrientes às plantas.

Em relação ao estoque de carbono no solo, o biochar e o carvão ativado apresentaram a capacidade de sequestrar carbono no solo, provavelmente, devido as proteções física, química e bioquímica do carbono orgânico promovidas por estes biocarvões.

Como o biochar e o carvão ativado melhoraram a fertilidade do solo e apresentaram resistência à oxidação, estes dois materiais podem, ao longo do tempo, aumentar a qualidade do solo e, assim, reduzir a necessidade de utilização de adubos sintéticos. Entre os dois biocarvões, o carvão ativado atuou de forma mais rápida na fertilidade do solo, como maior valor da saturação por base. Isto indicou que as pequenas diferenças encontradas nestes materiais podem ter feito que eles atuassem de forma diferente em algumas propriedades do solo, pois o carvão ativado apresenta uma área superficial superior ao do biochar, proporcionando-lhe uma maior área de contato com os elementos do solo e, conseqüentemente, sendo mais efetivo em aumentar a fertilidade do solo.

## REFERÊNCIAS

ABENAVOLI, L. M.; LONGO, L.; .PROTO, A. R.; GHIGNOLI, A.; ZIMBALATTI, G.; RUSSO, D.; COLANTONI, A. Characterization of Biochar Obtained from Olive and Hazelnut Prunings and Comparison with the Standards of European Biochar Certificate. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 223, p. 698-705, 2016.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient ( $q_{CO_2}$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environment conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p.393-395, 1993.

ATKINSON, C. J.; FITZGERALD, J. D.; HIPPS, N. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. **Plant Soil**, v. 337, p.1–18, 2010.

BARTLETT, R.J. e ROSS, D.S. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 52, p.191-1192, 1988.

BERA, T.; COLLINS, H. P.; ALVA, A. K.; PURAKAYASTHA, T. J.; PATRA, A. K. Biochar and manure effluent effects on soil biochemical properties under corn production. **Applied soil ecology**, v. 107, p. 360–367, 2016.

BEREK, A. K. Exploring the potential roles of biochars on land degradation mitigation. **Journal of degraded and mining lands management**, v.3, p. 149-158, 2014.

BRITO, M. T. L. A. **Avaliação espacial de atributos químicos do solo no semiárido**. 2010. 40f. Monografia (Graduação em Engenheiro Florestal) - Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2010.

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

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. M. S.; CUR, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesq. agropec. bras.**, v.44, p.631-637, 2009.

CARVALHO M. T. M.; MADARI, B. E.; BASTIAANS, L.; OORT, P. A. J. V.; HEINEMANN, A. B.; SILVA, M. A. S.; MAIA, A. H. N.; MEINKE, H. Biochar improves fertility of a clay soil in the Brazilian Savannah: short term effects and impact on rice yield. **Journal of Agriculture and rural development in the Tropics and Subtropics**, v. 114, p. 101–107, 2013.

CHENG, C. H.; LEHMANN, J.; ENGELHARD, M. H. Natural oxidation of black carbon in soils: changes in molecular form and surface charge along a climosequence. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 72, p. 1598-1610, 2008.

CHENG, C. H.; LEHMANN, J.; THIES, J. E.; BURTON, S. D.; ENGELHARD, M. H. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. **Organic Geochemistry**, v. 37, p. 1477-1488, 2006.

CONZ, R. F. **Caracterização de matérias-primas e biochars para aplicação na agricultura**. 2015. 132f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2015.

CORNELISSEN, G.; MARTINSEN, V.; SHITUMBANUMA, V.; ALLING, V.; BREEDVELD, G. D.; RUTHERFORD, D. W.; SPARREVIK, M.; HALE, S. E.; OBIA, A.; MULDER, J. Biochar Effect on Maize Yield and Soil Characteristics in Five Conservation Farming Sites in Zambia. **Agronomy**, v. 3, p. 256-274, 2013.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; CANELLAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. O.; TROMPOWSKY, P. M.; SANTOS, G. A. Características de ácidos húmicos de solos com horizonte a antrópico da amazônia (Terra Preta). **Acta Amazonica**, v.1, p. 91 – 98, 2007.

DANISHI, S.; YOUNIS, U.; NASREEN, S.; AKHTAR, N.; EHSANULLAH, M.; IQBAL, M. T. Biochar consequences on cations and anions of sandy soil. **J. Bio. e Env. Sci**, v. 6, p. 121-131, 2015.

DELUCA, T. H.; MACKENZIE, M. D.; GUNDALE, M. J. Biochar effects on soil nutrient transformations. In: Lehmann J, Joseph S (Eds). **Biochar for environmental management: science and technology**. London: Earthscan, 2009. p. 251–270.

DING, Y.; LIU, Y.; LIU, S.; LI, Z.; TAN, X.; HUANG, X.; ZENG, G.; ZHOU, L.; ZHENG, B. Biochar to improve soil fertility. A review. **Agron. Sustain. Dev.**, v. 36, p. 1-18, 2016.

DOKHT, H. F.; NAEINI, S. A. M.; DORDIPOUR, E.; JONG, L. W. D.; HEZARJARIBI, E. Effects of sewage sludge and its biochar on soybean yield in fine-textured loess soil. **Environmental Health Engineering and Management Journal**, v. 4, p.81–91., 2017.

DOMINGUES, R. R.; TRUGILHO, P. F.; SILVA C. A.; MELO, I. C. N. A; MELO L. C. A.; MAGRIOTIS, Z. M.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A. Properties of biochar derived from wood and high nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits. **Plos one**, v. 12, p. 1- 19, 2017.

DUME, B., MOSISSA, T., NEBIYU, A. Effect of biochar on soil properties and lead (Pb) availability in a military camp in South West Ethiopia. **African Journal of Environmental Science and Technology**, v.10, p. 77–85, 2016.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Brasília: Embrapa. 2 ed, p. 627, 2009.

ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. A forma de aplicação da uréia e dos resíduos vegetais afeta a disponibilidade de nitrogênio. **Ciência Rural**, v. 35, p.360-365, 2005.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2005. 186f. Especialização (Especialista em solos e meio ambiente) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

FIGUEREDO, N. A.; COSTA, L. M.; MELO, L. C. A.; SIEBENEICHLERD, E. A.; TRONTO, J. Characterization of biochars from different sources and evaluation of release of nutrients and contaminants<sup>1</sup>. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, p. 395-403, 2017.

FRIMPONG, K. A.; AMOAKWAH, E.; OSEI, B. A.; ARTHUR, E. Changes in Soil Chemical Properties and Lettuce Yield Response Following Incorporation of Biochar and Cow Dung to Highly Weathered Acidic Soils. **Journal of Organic Agriculture and Environment**, v.4, p. 28-39, 2016.

GAMA, M. A. P.; PROCHNOW, L. I.; GAMA, J. R. N. F. Estimativa da acidez potencial pelo método SMP em solos ocorrentes no nordeste Paraense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p.1093-1097, 2002.

GLASER, B.; LEHMANN, J. ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: A Review. **Biol Fertil Soils**, v. 35, p. 219-230, 2002.

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações agronômicas**, v. 95, p. 1- 5, 2001.

GWENZI, W.; CHAUKURA, N.; MUKOME, F. N.; MACHADO, S.; NYAMASOKA, B. Biochar production and applications in sub-Saharan Africa: Opportunities, constraints, risks and uncertainties. **Journal of Environmental Management**, v. 150, p. 250-261, 2015.

HE, L.; ZHONG, Z.; YANG, H. Effects on soil quality of biochar and straw amendment in conjunction with chemical fertilizers. **Journal of Integrative Agriculture**, v.15, p. 2-10, 2016.

HOSSAIN M. K.; STREZOV V.; CHAN K. Y.; ZIOLKOWSKI A.; NELSON P. F. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. **Journal of Environment Management**, v. 92, p. 223–228, 2011.

IAC. Instituto agrônomo de Campinas. Calagem e adubação da alface, almeirão, agrião d'água, chicória, coentro, espinafre e rúcula Disponível em: <[http://www.iac.sp.gov.br/imagem\\_informacoestecnologicas/97.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/97.pdf)>. Acesso em: 05 de maio de 2018.

JIEN, S. H.; WANG, C. S. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. **Catena**, v. 110, p.225–233, 2013.

JINDO, K.; MIZUMOTO, H.; SAWADA, Y.; SANCHEZ-MONEDERO, M. A.; SONOKI, T. Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. **Biogeosciences**, v.11, p. 6613–6621, 2014.

LABEGALINI, A. **Obtenção de biochar a partir da pirólise rápida da torta de pinhão manso: uso como adsorvente e suporte**. 2013. 116 f. Dissertação (Mestrado em Química Ambiental) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

LAIRD, D.; FLEMING, P.; WANG, B.; HORTON, R.; KARLEN, D. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. **Geoderma**, v.158, p. 436–442, 2010.

LAWRINENKO, M. **Anion exchange capacity of biochar**. 2014. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Iowa State University, Ames, 2014.

LEHMANN J, JOSEPH S. **Biochar for environmental management - science and technology**. 2 ed. Earthscan; Routledge, 2015. 944p.

LI, H.; YUTONG, W.; TIANPEI, W.; HONGRUI, M. Effect of biochar on organic matter conservation and metabolic quotient of soil. **Environmental Progress e Sustainable Energy**, v.34, p. 1467 – 1472, 2015.

LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; KINYANGI, J.; GROSSMAN, J.; O'NEILL, B.; SKJEMSTAD, J.O.; THIES, J.; LUIZAO, F.J.; PETERSEN, J.; NEVES, E.G. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, p. 1719-1730, 2006.

LIU, S., MENG, J., JIANG, L., YANG, X., LAN, Y., CHENG, X., CHEN, W. Rice husk biochar impacts soil phosphorous availability, phosphatase activities and bacterial community characteristics in three different soil types. **Applied Soil Ecology**, v. 116, p. 12-22, 2017.

LOPES, A. S. **Manual Internacional de fertilidade do solo**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998, 177p.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. **Interpretação de análise de solo: conceitos e aplicações**. 3.ed. São Paulo: ANDA, 2004. 51p.

MAJOR, J. **Biochar application to a Colombian Savanna Oxisol: Fate and effect on soil fertility, crop production, nutrient leaching and soil hydrology**. 2009. 841 f. (Doctoral dissertation) - Cornell University, 2009.

MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S. J.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant and Soil**, v. 333, p. 117-128, 2010.

MAJOR, J.; STEINER, C.; DOWNIE, A.; LEHMANN, J. Biochar effects on nutrient leaching. IN: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science and technology**. 1.ed. Londres: Earthscan, 2009. p.271-287.

MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; KLAUBERG-FILHO, O.; AMARANTE, C. V. T.; RIBEIRO, G. M.; ALMEIDA, D. Atributos microbianos e químicos do solo em sistemas



de produção convencional e orgânico de maçãs no estado de Santa Catarina. **R. Bras. Ci. Solo**, v.31, p.655-665, 2007

MASEK, O.; BROWNSORT, P.; CROSS, A.; SOHI, S. Influence of production conditions on the yield and environmental stability of biochar. **Fuel**, v. 3, p. 151–155, 2013.

MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. 2 ed. Viçosa,: UFV, 2005. 107p.

MEURER, E. J. **Fundamentos de Química do Solo**. 2 ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. 290p.

MIRANDA, N. O.; PIMENTA, A. S.; SILVA, G. G. C.; OLIVEIRA, E. M. M.; CARVALHO, M. A. B. Biochar as soil conditioner in the succession of upland rice and cowpea fertilized with nitrogen. **Revista Caatinga**, v. 30, p. 313 – 323, 2017.

MOHAN, D.; ABHISHEK, K.; SARSWAT, A.; PATEL, M.; SINGHA, P.; PITTMAN JR, C. U. Biochar production and applications in soil fertility and carbon sequestration – a sustainable solution to crop-residue burning in India. **RSC ADVANCES**, v. 8, p. 508–520, 2018.

NIGUSSIE, A.; KISSI, E.; MISGANAW, M.; AMBAW, G. Effect of Biochar Application on Soil Properties and Nutrient Uptake of Lettuces (*Lactuca sativa*) Grown in Chromium Polluted Soils. **J. Agric. e Environ. Sci.**, v. 12, p. 369-376, 2012.

NÓBREGA, I. P. C. **Efeitos do Biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: - Sequestro de carbono no solo**. 2011. 38f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa 2011.

NOVOTNY, E. H.; MAIA, C. M. B. F.; CARVALHO, M. T. M.; MADARI, B. E. Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use – a critical review. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 39, p.321-344, 2015.

OLIVEIRA, D. M. C. **Preparação, caracterização e avaliação da incorporação de biochar ao solo para germinação de sementes de pinus elliottii**. 2017. 88 f. Dissertação

(Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Ciência e Tecnologia. 2017.

OLIVEIRA, M. V. A. M.; VILLAS BOAS, R. L. Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 95-103, 2008.

PEDROSA, A. W.; FAVARIN, J. L.; VASCONCELOS, A. L. S.; CARVALHO, B. V.; OLIVEIRA, F. B.; NEVES, G. B. Resíduo de brachiaria fertilizada com nitrogênio na adubação do cafeeiro. **Coffee Science**, v. 9, p. 366-373, 2014.

PEREIRA, E.; OLIVEIRA, L. C. A.; VALLONE, A.; SAPAG, K. Preparação de carvão ativado em baixas temperaturas de carbonização a partir de rejeitos de café: utilização de  $\text{FeCl}_3$  como agente ativante. **Química Nova**, v. 31, p. 1296-1300, 2008.

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

PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; SILVA, M. A. S.; CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO, M. T. M.; MARIMON JÚNIOR, B. H.; PACHECO, L. P. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. **Pesq. agropec. bras**, v.47, p.699-706, 2012.

PICCOLLA, C. D. **Características químicas de biocarvões produzidos a partir do bagaço de cana-de-açúcar e a disponibilidade de fósforo no solo**. 2013. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência) - Universidade de São Paulo - Escola superior de agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba. 2013.

PILLON, C. N.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. **Dinâmica da matéria orgânica no ambiente**. 1 ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002. 41p.

RAIJ, B. V. A Capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos<sup>1</sup>. **Bragantia**, v. 28, p. 85 – 112, 1969.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343p.

RAJKOVICH, S.; ENDERS, A.; HANLEY, K.; HYLAND, C.; ZIMMERMAN, A.R.; LEHMANN, J. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 48, p. 271-284, 2012.

REZENDE, E. I. P. de. **Preparação e caracterização química e espectroscópica de “biochar” por pirólise de biomassa em baixa temperatura**. 2013. 149 f. Tese (Doutora em Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. 1 ed. Viçosa: SBCS, 1999. 360 p.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de Fertilidade do Solo e Manejo Adequado para as Regiões Tropicais**. 1 ed.. Campinas: Embrapa, 2010. 26p.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de braquiária, sorgo e soja em áreas de plantio direto no cerrado goiano. **Ciências Agrárias**, v. 34, p. 1523-1534, 2013.

SHACKLEY, S.; RUYSSCHAERT, G.; ZWART, K.; GLASER, B. **Biochar in european soils and agriculture: science and practice**. 1ed. New York: Routledge. 2016. 324 p.

SHENBAGAVALLI, S; MAHIMAIRAJA, S. Characterization and effect of biochar on nitrogen and carbon dynamics in soil. **International Journal of Advanced Biological Research**, v. 2, p. 249-255, 2012.

SILVA, G. F.; SANTOS, D.; SILVA, A. P.; SOUZA, J. M. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste paraibano. **Revista Caatinga**, v. 28, p. 25 – 35, 2015.

SILVA, I. C. B.; BASÍLIO, J. J. N.; FERNANDES, L. A.; COLEN, F.; SAMPAIO, R. A.; FRAZÃO, L. A. Biochar from different residues on soil properties and common bean production. **Sci. Agric.** v.74, p.378-382, 2017.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. 1 ed. Viçosa: SBCS, 2007. p.275-374.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N.; ALOVISI, A. M. A. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das Vertentes – MG. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 34, p.1585-1592, 2010.

SILVA, V. da. **Variáveis de acidez em função da mineralogia do solo**. 2006. 79f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SILVA, W M. **Aplicação do biochar de resíduos de café em Neossolo Regolítico: efeitos nas características químicas e biológicas e na produção de milho e feijão**. 2016. 57 f. Dissertação (Mestrado em Produção Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Garanhuns, Garanhuns 2016.

SINGH, B.; SINGH, B. P.; COWIE, A. L. Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. **Soil Research**, v. 48, p. 516-525, 2010.

SOARES, A G. **Adsorção de gases em carvão ativado de celulignina**. 2001. 136 f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física “Gleb Wataghin”, Campinas, 2001.

SOUSA, A. A. T. C. **Biochar de lodo de esgoto: efeitos no solo e na planta no cultivo de rabanete**. 2015. 63 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SOUSA, A. A. T. C.; FIGUEIREDO, C. C. Sewage sludge biochar: effects on soil fertility and growth of radish. **Biological Agriculture e Horticulture**, p. 1- 12, 2015.

SOUSA, D. M.G. S.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. 1 ed. Viçosa: SBCS, 2007. p. 205-274.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo<sup>1</sup>. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 34, p.79-88, 2010.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v. 30, p. 195-207, 1992.

SPOKAS, K. A., CANTRELL, K. B., NOVAK, J. M., ARCHER, D. W., IPPOLITO, J. A., COLLINS, H. P., LENTZ, R. D. Biochar: a synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. **Journal of environmental quality**, v. 41, p. 973-989, 2012.

STEENARI, B. M.; KARLSSON, L. G.; LINDQVIST, O. Evaluation of the leaching characteristics of wood ash and the influence of ash agglomeration. **Biomass and Bioenergy**, v. 16, p. 119-136, 1999.

STEINER, C.; TEIXEIRA, W. G., LEHMANN, J., NEHLS, T., DE MACEDO, J. L.V., BLUM, W. E. H.; ZECH, W. 'Long term effects of manure, charcoal, and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil'. **Plant and Soil**, v. 291, p. 275–290, 2007.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: Genesis, composition and reactions**. 2 ed. New York: 1994. 512p..

TANG, C.; YU, Q. Impact of chemical composition of legume residues and initial soil pH on pH change of a soil after residue incorporation. **Plant and Soil**, v. 215, p. 29–38, 1999.

TENÓRIO, F. A. **Cultivo de feijão comum sob aplicação de biocarvão do endocarpo do Ouricuri (*Syagrus coronata*. (Mart. Becc): atributos químicos e biológicos do solo**. 60 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, 2017.

TENÓRIO, F. A.; ALBUQUERQUE, A. W.; SANTOS, T. M. C.; SOLETTI, J. S.; SILVA, F. M. B.; PADILHA, K. M. Cultivation of common bean with the application of

biochar of ouricuri (*Syagrus coronata* (Mart) Becc.) endocarp. **Afr. J. Agric. Res.**, v. 13, p. 1443-1452, 2018.

TIAN, J.; WANG, J.; DIPPOLD, M.; GAO, Y.; BLAGODATSKAYA, E.; KUZYAKOV, Y. Biochar affects soil organic matter cycling and microbial functions but does not alter microbial community structure in a paddy soil, **Science of the total environment**, v. 556, p. 89–97, 2016.

TIECHER, T. A química antes da química do solo. 1 ed. RS: URI, 2015. 92 p.

VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K.; DOWNIE, A.; RUST, J.; JOSEPH, S.; COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. **Plant and soil**, v. 327, p. 235-246, 2010.

VERDADE, F. da C. Influência da matéria orgânica na capacidade d e troca de cátions do solo. **Bragantia**, v. 15, p. 35- 42, 1956.

VILAS BOAS, A. A. C. **Qualidade pós-colheita de frutos de tomateiro em função de fontes de cálcio**. 2014, 94f. Dissertação (Mestre em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

WANG, L.; BUTTERLY, C. R.; WANG, Y.; HERATH, H. M. S. K.; XI, Y. G.; XIAO, X. J. Effect of crop residue biochar on soil acidity amelioration in strongly acidic tea garden soils. **Soil use and management**, v. 30, p. 1-10, 2015.

WANG, W.; ZENG, C.; SARDANS, J.; ZENG, D.; WANG, C.; BARTRONS, M.; PEÑUELAS, J. Industrial and agricultural wastes decreased greenhouse - gas emissions and increased rice grain yield in a subtropical paddy field. **Expl Agric**, v. p. 1 – 18, 2017.

WANG, Y.; YIN, R.; LIU, R. Characterization of biochar from fast pyrolysis and its effect on chemical properties of the tea garden soil. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 110,p. 375–381, 2014.

WERLE, R.; RODRIGO ARROYO GARCIA. R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.32, p.2297-2305, 2008.

WU, Y.; XU, G.; SHAO, H. B. Furfural and its biochar improve the general properties of a saline soil. **Solid Earth**, v. 5, p. 665–671, 2014.

XU, N.; TAN, G.; WANG, H.; GAI, X. Effect of biochar additions to soil on nitrogen leaching, microbial biomass and bacterial community structure. **European journal of soil biology**, v. 74, p. 1-8, 2016.

YUAN, J. H.; XU, R. K.; ZHANG, H. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. **Bioresource Technol**, v. 102, p. 3488–3497, 2011b.

YUAN, J.; XU, R. K.; WANG, N.; LI, J. Y. Amendment of acid soils with crop residues and biochars. **Pedosphere**, v. 21, p.302–308, 2011a.

ZANELLA, O. **Produção de carvão ativado a partir do engaço da uva e estudo da regeneração eletroquímica do mesmo em um reator desenvolvido em escala laboratorial**. 2015. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

ZANETTI, M.; CAZETTA, J. O.; MATTOS JUNIOR, D. de; CARVALHO, S. A. de. Uso de subprodutos de carvão vegetal na formação do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' em ambiente protegido. **Rev. Bras. Frutic**, v.25, p.508-512, 2003.

ZHANG, Q.; DIJKSTRA, F. A.; LIU, X.; WANG, Y.; HUANG, J.; LU, N. Effects of biochar on soil microbial biomass after four years of consecutive application in the North China plain. **Plos one**, v. 9, p. 1- 8, 2014.

ZWIETEN, V.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K. Y.; DOWNIE, A.; RUST, J.; JOSEPH, S.; COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility L. **Plant Soil**, v. 327, p. 235–246, 2010.

## 5. PARTE 2: DESENVOLVIMENTO AGRONÔMICO ALFACE SUBMETIDO A DOSES DE BIOCHAR E DE CARVÃO ATIVADO DO ENDOCARPO DO COCO (*Cocos nucifera* L.)

### RESUMO

A aplicação de biochar e carvão ativado no solo podem melhorar suas propriedades, resultando em um maior crescimento, desenvolvimento e produção das plantas cultivadas. Dentre estes vegetais, a cultura da alface é uma das hortaliças mais importantes para o setor hortícola no Brasil, podendo ser beneficiada pelo uso desses biocarvões no solo. Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a influência de biochar e carvão ativado no desenvolvimento de plantas de alface (*Lactuca sativa*) cultivada em solo de textura franca. O experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado, distribuído em esquema fatorial 2 x 6, sendo dois tipos de biocarvões (biochar e carvão ativado) e 6 doses de cada biocarvão (0 t ha<sup>-1</sup>, 15 t ha<sup>-1</sup>, 30 t ha<sup>-1</sup>, 45 t ha<sup>-1</sup>, 60 t ha<sup>-1</sup> e 75 t ha<sup>-1</sup>), com 5 repetições. Aos 71 dias após o transplante das mudas de alface, foram avaliados a altura (ATL), número de folhas (NF), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) e os teores foliares de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e fósforo (P). Apenas os teores foliares de K e P apresentaram interação significativa, sendo os maiores valores de P encontrados nas plantas tratadas com carvão ativado e o maior teor de K naquelas cultivadas com biochar. Na comparação entre o biochar e carvão ativado, observou-se que o carvão ativado proporcionou uma produção de folhas e massa fresca da parte aérea mais acentuada. Em relação às doses, verificou-se que o aumento das doses de biocarvão resultou no incremento da ALT, do NF e da MFPA. Tanto o biochar quanto o carvão ativado foram eficientes em aumentar a produção de alface, sendo ambos indicados para melhorar as propriedades do solo e a produtividade das plantas.

Palavras – chave: Biocarvão, *Lactuca sativa*, crescimento, qualidade.



## ABSTRACT

The application of biochar and activated charcoal in the soil can improve the its properties, resulting in greater growth, development and production of the cultivated plants. Among these vegetables, lettuce crop is one of the most important vegetables for the horticultural sector in Brazil, being able to be benefited by the use of these biocarbons in the soil. Thus, the objective of this research was to evaluate the influence of biochar and activated charcoal on the development of lettuce plants (*Lactuca sativa*) cultivated in sandy textured soil. The experimental design was completely randomized, distributed in a 2 x 6 factorial scheme, with two types of bicarbons (biochar and activated carbon) and 6 doses of each one (0 Mg ha<sup>-1</sup>, 15 Mg ha<sup>-1</sup>, 30 Mg ha<sup>-1</sup>, 45 Mg ha<sup>-1</sup>, 60 Mg ha<sup>-1</sup> e 75 Mg ha<sup>-1</sup>), with 5 replicates. At 71 days after transplanting the lettuce seedlings, were evaluated the height (H), number of leaves (NL), fresh weight of the aerial part matter (FWA), fresh weight of roots (FWR), dry weight of the aerial part matter (DWA), dry weight of roots (DWR) and leaf contents of calcium (Ca), magnesium (Mg), potassium (K) and phosphorus (P). Only the leaf contents of K and P showed significant interaction, with the highest values of P found in the plants treated with activated carbon and the highest K content in those cultivated with biochar. In the comparison between biochar and activated charcoal, it was observed that the activated carbon provided a leaf production and fresh mass of the aerial part more accentuated. In relation to the doses, it was verified that the increase in the doses of biocarbon resulted in an increase in H, NL and FWA. As well as biochar and activated carbon were efficient in increasing lettuce production, both of which were indicated to improve soil properties and plant productivity.

Key words: biocarbons, *Lactuca sativa*, growth, quality.

## 5. 1. INTRODUÇÃO

A cultura da alface apresenta grande importância nutricional devido aos altos teores de vitaminas e sais minerais, sendo uma das folhosas mais consumidas por causa do seu sabor agradável e da sua disponibilidade durante o ano todo. É uma hortaliça cultivada tradicionalmente por pequenos produtores, destacando-se como aquela de maior volume de comercialização no Brasil, logo tem grande relevância econômica e social para o país, chegando a produzir mais de 1,5 milhões de toneladas por ano (CAVASINI, 2017; PERREIRA, 2017; EXAME, 2016; NUNES, 2016; SANTI et al, 2010; CAETANO et al., 2001).

De acordo com Hortifruti Brasil (2018) a produção de alface foi de 576.338 toneladas, sendo o Nordeste responsável por cerca de 9,7% desta produção. Para o estado de Alagoas, a cultura tem aumentado a sua relevância em virtude do número crescente de áreas cultivadas com este vegetal e pela geração de emprego. Por causa disto, busca-se o desenvolvimento de novas técnicas e novos produtos para potencializar a produção dessa hortaliça, recomendando-se que tais práticas causem o menor impacto possível ao meio ambiente. Como o solo faz parte desse ambiente e influencia os outros componentes, como água, flora e fauna, o seu manejo pode afetá-los positiva ou negativamente. Assim, a utilização de materiais que melhoram as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo torna-se uma alternativa mais sustentável no cultivo de plantas (SANTOS et al., 2015; MOREIRA et al., 2014; TERRA et al., 2014; ALCÂNTARA e MADEIRA, 2008; IBGE, 2006).

O biochar e o carvão ativado são insumos que podem favorecer as propriedades do solo. Eles apresentam ampla área superficial específica, extensa densidade de cargas negativas e grande volume de poros. Em razão destas características, estes produtos podem ser usados como condicionadores do solo, melhorando a sua estrutura e a sua capacidade de troca catiônica e de retenção de água, reduzindo a absorção de metais pesados pelas plantas e tornando o solo menos ácido. Além disso, os biocarvões, em curto prazo, podem disponibilizar os nutrientes presentes nas suas cinzas para as culturas, otimizando sua produção, e em longo prazo, diminuir a quantidade de fertilizantes aplicados nos solos. Outro fator relevante é a estrutura predominantemente aromática que eles possuem, resultando na sua lenta oxidação, conseqüentemente, ocasionando o sequestro de carbono no solo, e assim, diminuindo os problemas relacionados com a

emissão de dióxido de carbono para atmosfera (AKÇA e NAMLI, 2015; GRAY et al., 2014; FANGMEIER e HOEHNE, 2012; JEFFERY et al., 2010; VAN ZWIETEN et al., 2010; CHAN e XU, 2009; PARSONS et al., 2009; CHAN et al., 2008; LIANG et al., 2006; DABROWSKI, 2005; DAY et al., 2005; PARK e JUNG, 2002; HU et al., 2001).

As mudanças nas propriedades físicas e químicas do solo promovidas pelos biocarvões podem afetar o crescimento e a nutrição das plantas, mesmo em um curto espaço de tempo entre a aplicação de biocarvão no solo e o plantio da cultura, como foi verificado por Street et al. (2014). Diversos pesquisadores relatam que o uso de biochar e carvão ativado influenciaram de forma positiva o crescimento e desenvolvimento das plantas (SANTOS et al., 2014; GUSON et al., 2012; SUPPADIT et al., 2012; UZOMA et al., 2011; ZHENG et al., 2017; SHULZ et al., 2013; COSTA et al., 2006). Por outro lado, outros autores argumentam que a presença de biochar no solo não promove efeitos na cultura ou até resulta na redução do seu crescimento (LIMA et al., 2016; TAMMEORG et al., 2014; FREE et al., 2010).

Dentre estas pesquisas, existem aquelas relacionadas ao aumento na produção de hortaliças. Trupiano et al. (2017) verificaram que a aplicação de biochar no solo promoveu uma maior produção de massa seca e número de folhas de plantas de alface, devido à melhoria que ocorreu na fertilidade do solo. Esta mudança positiva para esta cultura também foi observada por Gunes et al. (2014) que após a adição de biochar de esterco aviário no solo, constatou que o peso seco das plantas aumentou, apresentando como hipótese a melhoria no balanço nutricional entre o nitrogênio e o fósforo foliar. E OH et al. (2012) concluíram que o biochar incrementa a qualidade do solo e o rendimento das plantas, como a alface. A resposta positiva na germinação e no crescimento das plântulas desta folhosa, depois da ação do biocarvão, pode estar relacionada com a redução ou eliminação de substâncias tóxicas da matéria-prima durante o processo de pirólise, já que eles compararam as respostas das plantas na presença de biomassa pirolisada (biochar) e não pirolisada.

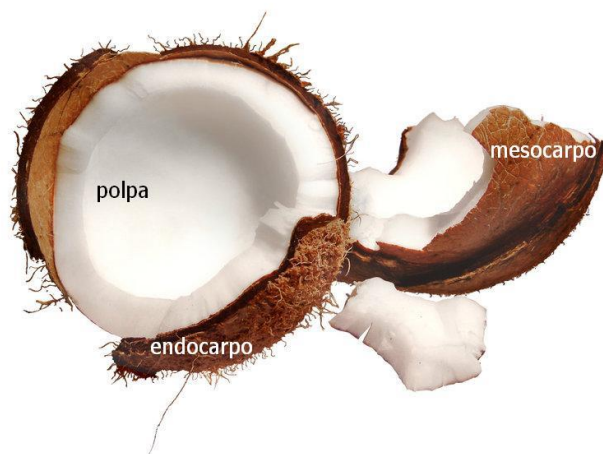
Já em relação ao carvão ativado, Guson et al. (2012) observaram que a presença deste carvão no meio de cultura proporcionou maior comprimento da raiz e da folha e maior peso da massa fresca de mudas de orquídea em relação à ausência deste material.

Diante do exposto, a pesquisa teve como objetivo avaliar a influência de biochar e carvão ativado no desenvolvimento da planta de alface cultivada em solo de textura franca.

## 5. 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 5 .2. 1. Produção de biochar e análise química do biochar e carvão ativado

O biochar (**Figura 2**) foi produzido por um processo de decomposição térmica (pirólise) do endocarpo do coco (*Cocos nucifera*) (**Figura 1**), em um reator com limitada concentração de oxigênio ou na ausência deste gás, estabelecendo uma taxa de aquecimento de 20°C mim<sup>-1</sup> até obtenção da temperatura de 500 °C, a qual foi mantida constante durante 120 minutos. Antes da realização da pirólise, o endocarpo do coco foi moído em um moinho de faca para obtenção de uma menor granulometria. Enquanto o carvão ativado do endocarpo do coco foi comprado da empresa Hidro Solo, localizada em Maceió, AL. A escolha desta biomassa para produção dos biocarvões foi baseada na grande disponibilidade deste resíduo no estado de Alagoas.



**Figura 1.** Endocarpo do fruto de *Cocos nucifera*. L. Fonte: google imagem



**Figura 2.** Biochar antes (A) e após o processo de trituração (B) para obtenção da granulometria igual ou inferior a 0,42 mm. Fonte: autor.

Utilizou-se para fazer a pirólise um forno tubular Jung modelo LT6 2010, com um programador de tempo e temperatura (**Figura 3 B**). O forno alcança uma temperatura máxima de 1000°C, aquecendo o reator cilíndrico que se encontra conectado ao sistema de condensação para coleta do bioóleo. O último condensador (**Figura 3 A**) encontra-se ligado a um compressor/aspirador com vazão volumétrica máxima de 0,024 m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup> e potência de 550 W. Para refrigeração dos condensadores, foi utilizado um banho termostático, mantendo a temperatura de 5 °C. Os gases não condensáveis, resultantes da pirólise, foram liberados para um recipiente contendo água com a finalidade de possíveis gases solúveis em água fossem retidos, evitando, assim, seu lançamento direto para atmosfera. O aparato experimental foi montado no Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos - LASSOP, na Universidade Federal de Alagoas.



**Figura 3.** Forno utilizado para produção de biochar. (A) Sistema de condensação; (B) aparato experimental para realização da pirólise. Fonte: autor

Tanto o biochar quanto o carvão ativado foram triturados e peneirados para obtenção da granulometria igual ou inferior a 0,42 mm. O pH e os teores de nitrogênio, carbono e hidrogênio dos biocarvões foram determinados na Embrapa Tabuleiros Costeiros (**Tabela 1**). Para mensurar o pH, foi adicionado 1 grama de cada biocarvão em 20 ml de água deionizada, agitando cada amostra por 1 hora e 50 minutos, em 100 rpm. Após o período de uma hora, foi realizada leitura do pH em um pHmetro (RAJKOVICH et al., 2012). Essa análise foi realizada em triplicata. Já os teores de N, C e H foram obtidos em um analisador elementar CHNS-O. A partir dos valores de C, N e H foram mensuradas as razões atômicas C/N e H/C (**Tabela 1**). Foram também determinados outros elementos presentes nos biocarvões (**Tabela 1**) utilizando Espectrometria de fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDX), no Laboratório de Tecnologia de Nanosistemas Carregadores de Substâncias Ativas (TECNANO), localizado na Universidade Federal de Alagoas.

**Tabela 1.** Propriedades químicas de biochar e carvão ativado de endocarpo de *cocos nucifera* L.<sup>b</sup> Fonte: Autor

Propriedades	Biochar	Carvão ativado
pH <sup>c</sup>	8, 38	7, 97
C <sup>a</sup>	38, 833	51, 036
N <sup>a</sup>	0, 125	0, 156
H <sup>a</sup>	2, 597	1, 430
Ca <sup>a</sup>	2, 654	8, 096
K <sup>a</sup>	17, 733	13, 451
P <sup>a</sup>	1, 327	3, 090
S <sup>a</sup>	0, 636	0, 880
Mn <sup>a</sup>	0, 486	0, 588
Zn <sup>a</sup>	0, 322	0, 290
Fe <sup>a</sup>	74, 015	32, 273
Si <sup>a</sup>	2, 092	38, 142
Cu <sup>a</sup>	0, 734	1, 252
Relação C/N	310,664	327,1538

a-Porcentagem em massa; b- base seca; c- pH em água

### 5. 2. 2. Coleta e caracterização química e física do solo antes da incorporação de biochar e carvão ativado

Para o preenchimento dos vasos, utilizou-se um solo que foi coletado na profundidade de 0 – 20 cm, em uma área de cultivo de cana-de-açúcar, localizada na zona rural de Boca da Mata, AL. Retirando-se uma amostra do solo para análises físicas (**Tabela 2**) e químicas (**Tabela 3**), as quais foram realizadas pela metodologia da EMBRAPA (2009).

**Tabela 2.** Atributos físicos de um solo de textura areia franca na profundidade de 10 – 20 cm, coletado em região de zona rural no município de Boca da Mata - AL, antes da aplicação dos tratamentos. Fonte: Autor

Areia	Silte	Argila	DS	DP	CC	PMP	PT
-----g kg <sup>-1</sup> -----			----- kg m <sup>-3</sup> -----		----- kg kg <sup>-1</sup> -----		m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>
870	50	80	1,50	2,65	0,142	0,036	0,434

\*DS = densidade do solo; DP = densidade da partícula; CC = capacidade de campo; PMP = ponto de murcha permanente; PT = porosidade total.

**Tabela 3** Atributos químicos de um solo de textura areia franca na profundidade de 10 – 20 cm, coletado em região de zona rural no município de Boca da Mata - AL, antes da aplicação dos tratamentos. Fonte: Autor

pH	P	K	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup>	H+A	CTC <sub>pH7</sub>	CTC <sub>ef</sub>	V	COT
(H <sub>2</sub> O) (1:2,5)	mg dm <sup>-3</sup>	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						(%)	g kg <sup>-1</sup>		
5,30	40	0,12	1,54	0,34	0,11	4,13	0,09	6,24	2,2	34	18,8

### 5. 2. 3. Instalação do experimento em casa de vegetação

O experimento foi desenvolvido em casas de vegetação, na Universidade Federal de Alagoas – Centro de Ciências Agrárias, Campus Delza Gitaí e na Embrapa Tabuleiros Costeiros – Unidade de execução de pesquisa, localizadas em Rio Largo, Al (Latitude 9° 29' 45'' S, Longitude 35° 49' 54'' O e 165 m de altitude). Pela classificação de Koppen, a área de estudo enquadra-se no tipo climático As', é tropical litorâneo úmido, com sol

de setembro até maio, da primavera até o verão, com temperatura variando em torno de 19°C e 32°C.

O solo utilizado no experimento foi seco ao ar, peneirado em peneira de malha de 4 mm, pesado até obtenção de 15 kg. Os vasos foram preenchidos com a mistura de solo com cada tratamento correspondente ao biochar e ao carvão ativado. O solo com os biocarvões permaneceu incubado durante 245 dias, mantendo-se a umidade na capacidade de campo. Após este período, foi feito o transplante de mudas de alface com 28 dias de idade, no dia 22 de fevereiro de 2017, plantando uma muda por vaso, realizando adubação mineral de base com NPK 30-90-60 kg ha<sup>-1</sup> em todos os tratamentos, segundo o Boletim de Recomendação de Corretivos e Fertilizantes para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008). As mudas de alface da cultivar ‘Elba’ foram adquiridas de um produtor rural, localizado no município de Arapiraca, AL.

As plantas foram colhidas 71 dias depois do plantio, cortando o caule rente ao solo e separando a parte aérea do sistema radicular. Foram mensurados os seguintes parâmetros de crescimento das plantas: altura de plantas (com auxílio de uma régua graduada, considerando-se a distância do nível do solo até o topo da planta), número de folhas por planta (contagem de folhas maiores que três centímetros de comprimento, partindo-se das folhas basais até a última folha aberta), matéria fresca da parte aérea e das raízes. Após, as plantas foram secas em estufa a 70°C, até atingir o peso constante, para obtenção da matéria seca da parte aérea e das raízes. A análise foliar foi realizada em 44 plantas de alface de acordo com a metodologia da Embrapa (2009), determinando-se os teores de P, K, Ca e Mg.

#### 5. 2. 4. Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi disposto em delineamento em bloco casualizado em esquema fatorial 2 x 6, sendo os fatores compostos por duas fontes de biocarvão e seis doses cada, com cinco repetições. Os biocarvões utilizados foram o biochar e o carvão ativado, nas seguintes doses: 0 t ha<sup>-1</sup>, 15 t ha<sup>-1</sup>, 30 t ha<sup>-1</sup>, 45 t ha<sup>-1</sup>, 60 t ha<sup>-1</sup> e 75 t ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 7,5 g kg<sup>-1</sup>, 15 g kg<sup>-1</sup>, 22,5 g kg<sup>-1</sup>, 30 g kg<sup>-1</sup> e 37,5 g kg<sup>-1</sup> de solo.



As variáveis foram submetidas à análise de variância por meio do teste F, utilizando-se o programa estatístico ASSISTAT (SILVA e AZEVEDO, 2009). Quando a interação ou apenas o efeito isolado dose foi significativa pelo teste F, foram realizadas regressões, escolhendo-se o modelo de regressão conforme a significância dos coeficientes de regressão e o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ). E quando o fator isolado biocarvão foi significativo, as médias foram comparadas pelo teste Tukey, ao nível de 1% e 5 % de probabilidade.

### 5. 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 5. 3.1. Análise de variância das variáveis de crescimento de plantas de alface e dos teores foliares de cálcio, magnésio, potássio e fósforo

Com base no teste F (**Tabela 4. e 5**), observou-se que no mínimo um dos tratamentos diferenciou-se entre eles em relação à altura da planta (ALT), número de folhas (NF), massa fresca da parte aérea (MFPA) e os teores de fósforo (P) e potássio (K). Aceitando a hipótese de nulidade para massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca (MFR) e seca da raiz (MSR) e os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foliar.

Considerando os resultados descritos na análise de variância, verifica-se que não houve interação significativa para as variáveis de crescimento (ALT, NF, MFPA, MSPA, MFR e MSR). Como as respostas dos fatores são independentes, foi necessário avaliá-los separadamente. Nesta avaliação, observou-se que o NF e a MFPA foram influenciados ( $p \leq 0,05$ ) pelos fatores isolados dose e fonte de biocarvão (**Tabela 4**), enquanto a ALT foi apenas significativa no fator dose. No que se refere aos teores foliares de potássio (K), fósforo (P), foram constatadas interações significativas para os valores destes elementos (**Tabela 5**).

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância para os valores de altura da planta (ALT), número de folhas (NF), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) de plantas de alface ‘Elba’. Fonte: Autor

Quadro de análise de variância							
Quadrados médios							
FV	GL	ALT	NF	MFPA	MSPA	MFR	MSR
		(cm)		----- (g planta <sup>-1</sup> ) -----			
<b>Blocos</b>	4	7.582 <sup>ns</sup>	2.833 <sup>ns</sup>	30256.081 <sup>ns</sup>	4.733 <sup>ns</sup>	2.100 <sup>ns</sup>	1.352 <sup>ns</sup>
<b>Fontes</b>	1	9.882 <sup>ns</sup>	22.204 <sup>**</sup>	84900.816 <sup>**</sup>	0.000 <sup>ns</sup>	2.375 <sup>ns</sup>	4.704 <sup>ns</sup>
<b>Doses</b>	5	10.620 <sup>-</sup>	33.364 <sup>-</sup>	148647.478 <sup>-</sup>	1.5466 <sup>-</sup>	7.708 <sup>-</sup>	2.314 <sup>ns</sup>
<b>Reg. Linear</b>	1	41.212 <sup>**</sup>	133.363 <sup>**</sup>	673841.283 <sup>**</sup>	1.8514 <sup>ns</sup>	33.437 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>
<b>Reg. Quadrática</b>	1	0.000 <sup>**</sup>	31.800 <sup>**</sup>	18887.955 <sup>ns</sup>	0.076 <sup>ns</sup>	1.417 <sup>ns</sup>	4.876 <sup>ns</sup>
<b>F X D</b>	5	2.564 <sup>ns</sup>	1.672 <sup>ns</sup>	19818.7054 <sup>ns</sup>	1.280 <sup>ns</sup>	1.129 <sup>ns</sup>	0.480 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	44						
<b>CV (%)</b>		12,00	9,83	10,00	5,78	10,00	6.65

\*\* Significativo a 1% de probabilidade (p < 0,01); \* Significativo a 5% de probabilidade (p < 0,05) <sup>ns</sup> Não significativo (p < 0,05) pelo teste F.

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância para os teores foliares de potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) de plantas de alface ‘‘Elba’’ cultivada sob diferentes fontes e doses de biocarvões.

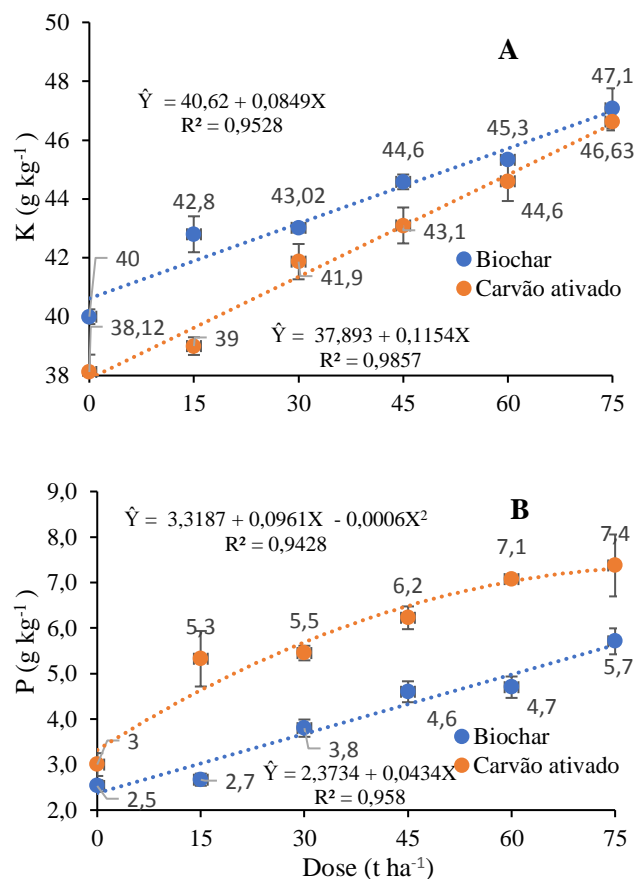
Fonte: Autor

Quadro de análise de variância					
FV	GL	Quadrados médios			
		P	K	Ca	Mg
----- g planta <sup>-1</sup> -----					
<b>Blocos</b>	3	0,44953 <sup>ns</sup>	7.76023 <sup>ns</sup>	0.42172 <sup>ns</sup>	0.04913 <sup>ns</sup>
<b>Fontes</b>	1	39,80025 <sup>**</sup>	0.04692 <sup>ns</sup>	1.77662 <sup>ns</sup>	0.25600 <sup>ns</sup>
<b>Doses</b>	4	6,14999 <sup>-</sup>	36.03315 <sup>-</sup>	2.01341 <sup>-</sup>	0.52382 <sup>-</sup>
<b>Reg. Linear</b>	1	16,55290 <sup>**</sup>	94.93903 <sup>**</sup>	3.26836 <sup>ns</sup>	2.02885 <sup>ns</sup>
<b>Reg. Quadrática</b>	1	5,75582 <sup>**</sup>	36.76597 <sup>**</sup>	0.00947 <sup>ns</sup>	0.00321 <sup>ns</sup>
<b>F X D</b>	4	2,43049 <sup>**</sup>	13.74860 <sup>*</sup>	2.27956 <sup>ns</sup>	0.04699 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	30	0,41191	3.60648	1.19880	0.11150
<b>CV (%)</b>		12,73	4,39	14,24	10,04

\*\* Significativo a 1% de probabilidade (p < 0,01); \* Significativo a 5% de probabilidade (p < 0,05)<sup>ns</sup> Não significativo (p < 0,05) pelo teste F.

### 5. 3. 2. Teores de fósforo e potássio em plantas de alface em função de doses e fontes de biocarvão no solo

Os teores foliares de fósforo e potássio em plantas de alface tratadas com biochar e carvão ativado estão representados na figura 4. Verifica-se que a magnitude das mudanças nestas variáveis seguiu a tendência de aumento das doses de biocarvão, isto é, o acréscimo nas taxas de biocarvão aplicadas no solo promoveram incremento polinomial nestes elementos na cultura. Os menores valores de P foliares foram observados na dose de 15 t ha<sup>-1</sup>, com 2,7 g kg<sup>-1</sup> e 5,3 g kg<sup>-1</sup> e os maiores na taxa de 75 t ha<sup>-1</sup>, com 5,7 g kg<sup>-1</sup> e 7,4 g kg<sup>-1</sup>, para biochar e carvão ativado, respectivamente. Em relação ao K, os valores mostraram a mesma tendência dos de P, com menores teores na dose de 15 t ha<sup>-1</sup>, 42, 80 g kg<sup>-1</sup> e 39 g kg<sup>-1</sup> e maiores na taxa de 75 t ha<sup>-1</sup>, 46, 63 g kg<sup>-1</sup> e 47, 1 g kg<sup>-1</sup> nas plantas cultivadas em solo com biochar e carvão ativado, nesta ordem.



**Figura 4.** Teores de potássio (K) (A) e fósforo (P) (B) foliar em alface ‘Elba’ submetida a doses de biochar e carvão ativado, após 71 dias do transplântio.

Fonte: Autor

De forma geral, o aumento das doses de biochar e carvão ativado promoveu incremento na absorção de P e K pelas plantas, corroborando com os resultados obtidos por Nigussie et al. (2012) que verificaram acréscimo da absorção de P e K pelas plantas de alface após a adição de biochar no solo. Estes autores relacionaram este resultado à alta concentração de P no biochar e no solo e também ao alto teor de K nas cinzas. Outros pesquisadores que também verificaram a influência do biochar na absorção de nutrientes pelas plantas foi Street et al. (2014). Eles compararam o crescimento e desenvolvimento de porta-enxerto de maçã cultivado em solo com e sem biochar e verificam que os porta-enxertos no tratamento controle apresentaram sintomas de deficiência de alguns nutrientes, prejudicando o desenvolvimento das plantas. Enquanto as plantas na presença de biochar mostraram maior concentração de Ca, K e P nas folhas, devido a maior disponibilidade destes elementos no solo; a qual pode estar relacionado à liberação lenta de nutrientes presentes no biocarvão ou a redução no processo de lixiviação, conforme os autores.

Em um estudo realizado por Chan et al. (2007) para analisar os efeitos de biochar na cultura do rabanete, foi constatado que a presença de biocarvão no solo, nas doses de 50 e 100 t ha<sup>-1</sup>, aumentou os teores foliar de P, K e Ca desta planta. Este acréscimo foi relacionado à alta concentração de P e K no biochar. De acordo com Woldetsadik et al. (2017) o biochar tem o potencial de fornecer nutrientes para as plantas, principalmente P e K, o que ocasiona melhor rendimento e concentração desses nutrientes em alface.

O potássio é o macronutriente mais absorvido pelas plantas de alface, atuando no fechamento e na abertura estomática, afetando o processo de fotossíntese e a eficiência do uso de água pelas plantas. Esse elemento também regula a ação das enzimas, melhora a translocação de carboidratos produzidos nas folhas para os demais órgãos, aumentando a qualidade do produto comercializado (BOARETTO, 2009; SANCHEZ, 2007; MALAVOLTA, 2006; MALAVOLTA et al., 1997). Devido à relevância deste elemento para a cultura da alface e dos resultados obtidos, a aplicação tanto de biochar quanto de carvão ativado no solo é recomendada por causa da eficiência destes biocarvões em aumentar a absorção de potássio pelas plantas, visto que esta absorção seguiu a tendência de incremento das doses. Este resultado provavelmente foi relacionado a mineralização das cinzas destes materiais que resulta na liberação de potássio para solução do solo e também a alta capacidade de reter cátions no solo, reduzindo assim as perdas por lixiviação, e, como consequência, acrescentando o teor deste nutriente no solo.

Dos dois biocarvões (biochar e carvão ativado) utilizados, o biochar promoveu maior absorção de K pelas plantas em todas as doses, embora nas últimas, taxas de 60 e 75 t ha<sup>-1</sup>, os valores entre os biocarvões tenham sido bem semelhantes. Esta maior absorção de K deve estar relacionada ao teor de K no solo com biochar ter sido superior ao encontrado no solo com carvão ativado. E a diferença entre o teor de K nos solos com biochar e carvão ativado teve relação com a maior concentração deste nutriente nas cinzas do biochar (**Tabela 6**). Apesar disto, foram observados que todas as concentrações de K nas folhas de alface apresentaram valores considerados inadequados para esta cultura, segundo a recomendação de Raji et al. (1996) que é de 50 – 80 g kg<sup>-1</sup>, embora não tenha sido observado sintomas de deficiência deste elemento nas plantas, como manchas amareladas claras nas margens das folhas velhas ou encarquilhamento das folhas jovens (SILVA et al., 2011). Ainda assim, a utilização de biochar é indicada já que os níveis de K nas plantas tratadas aumentaram após a aplicação deste.

Corroborando com este estudo, Zheng et al. (2017) estudando os efeitos de dois métodos de aplicação de biochar de casca de arroz no solo (toda área ou na área em volta do crescimento da raiz) na redução da acumulação de cádmio nas folhas de alface e na produtividade dessa cultura, observaram que a aplicação de biochar aumentou o rendimento das plantas de alface, apresentando como principais fatores que contribuíram para esse resultado o acréscimo nos teores de K e P no solo e da capacidade de retenção de água do solo e da redução da densidade do solo. Em relação ao método de aplicação, os pesquisadores sugerem que a adição de biocarvão em volta do crescimento da raiz é mais recomendada em virtude desse material imobilizar o cádmio no solo e, como consequência, reduzir a acumulação desse cátion nas partes comestíveis da cultura, além de proporcionar uma redução no custo da produção e aplicação de biochar.

Em relação ao fósforo, verificou-se que o aumento das doses de biochar e carvão ativado promoveu incremento na concentração de P foliar. Este acréscimo foi relevante devido à importância deste elemento para as plantas, já que ele participa da síntese de ATP, influenciando os processos de armazenamento e transferência de energia bem como a fotossíntese e a de respiração das plantas. Além disso, o P é componente estrutural do ácido nucléico, coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídios e também favorece o desenvolvimento do sistema radicular que potencializa a absorção de água e nutrientes pelas culturas. Por causa da sua importância para as culturas, a maior disponibilidade de fósforo no solo resulta em um melhor crescimento, desenvolvimento e produção vegetal (FAQUIN, 2005; RAIJ, 1991; GRANT et al., 2001).

O carvão ativado favoreceu a maior absorção de P pelas plantas em todas as doses, e os valores das concentrações deste elemento apresentaram níveis adequados para a cultura de alface, que de acordo com Raij (1996) é de 4 – 7 g kg<sup>-1</sup>. Esta maior absorção de P pelas plantas tratadas com carvão ativado está, provavelmente, relacionada com a maior concentração deste elemento nos solos com este biocarvão. Possivelmente, o maior teor deste elemento nestes solos foi devido a maior concentração de P no carvão ativado em relação ao biochar (**Tabela 1**) e também pode ser por causa da sua capacidade de reter ânions na sua superfície ser superior ao do biochar.

Este resultado corrobora com a pesquisa desenvolvida por Gumes et al. (2014) que verificaram aumento na absorção de P de plantas de alface tratadas com biochar e biochar enriquecido com fósforo em relação ao controle, e com a de Amin e Eissa (2017)

que observaram aumento na concentração de P nos frutos e na parte aérea de plantas de abobrinha tratadas com biochar de milho em comparação ao controle, nas doses de 12, 6 g pote<sup>-1</sup> para os frutos e de 6,3, 12, 6 e 25,5 g pote<sup>-1</sup> para parte aérea. Além destes, Coutinho et al. (2008) também observaram que conteúdo de P nas folhas de alface com o aumento em função do incremento na quantidade de P no solo.

Em um estudo realizado por Mau e Utami (2014), que avaliava os efeitos de biochar e fungos micorrízicos na disponibilidade de fósforo para plantas de milho, observou-se que a absorção de P pela cultura do milho foi maior na presença de biochar e dos fungos em relação ao controle e que houve um aumento de 3,6% de consumo de P no tratamento sem biochar + micorriza para 62,7% na presença de biochar + micorriza. Esta resposta sugere, segundo os autores, que a combinação de biochar + micorriza melhora a disponibilidade de fósforo no solo e a sua absorção pelas plantas de milho, potencializando o rendimento da cultura.

Em relação às plantas tratadas com biochar, apenas a partir de 45 t ha<sup>-1</sup> foi observado níveis de P ideal nas plantas. Isto indica que foram necessárias maiores doses de biochar para que a planta absorvesse P na quantidade adequada, devido, certamente, a sua menor capacidade de reter ânions e a menor concentração deste elemento encontrada no biochar (**Tabela 1**) que resultaram na menor disponibilidade deste elemento no solo.

### 5. 3. 3. Comparação de biochar com o carvão ativado nos parâmetros de crescimento de plantas de alface “Elba”

Verificaram-se, por meio do teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade, efeitos nos indicadores de crescimento da cultura de alface, como número de folhas e massa fresca da parte aérea, cultivada em solo com biochar e com carvão ativado (**Tabela 6**).

**Tabela 6.** Valores médios do número de folhas (NF) e matéria fresca da parte aérea (MFPA) da cultura da alface crespa cultivada sob diferentes tipos de biocarvões, biochar e carvão ativado. Fonte: Autor

<b>Biocarvões</b>	<b>NF</b>	<b>MFPA (g planta<sup>-1</sup>)</b>
<b>Biochar</b>	10 b	552, 69 b
<b>CA*</b>	12 a	627, 92 a

\*Carvão ativado = CA. Médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferem significativamente entre si, a 5 % de probabilidade, pelo Teste Tukey.

Os valores de NF e MFPA das plantas de alface tratadas com carvão ativado foram superiores ( $p \leq 0,05$ ) as cultivadas na presença de biochar. No solo com carvão ativado, o NF e a MFPA foram de 12 folhas e 627, 92 g, respectivamente. Enquanto estas variáveis nas plantas que se desenvolveram com biochar foram as seguintes, nesta ordem, 10 folhas e 552, 69 g. Isso significa que o NF e a MFPA da alface no solo com carvão ativado foi aproximadamente 20% e 13% maior, respectivamente, do que com biochar.

De acordo com as normas de classificação do programa brasileiro para modernização da horticultura, as plantas de alface tratadas com biochar enquadram-se na classe 55 ( $\geq 550 < 600$  g) e as cultivadas com carvão ativado, na classe 60 ( $\geq 601 < 650$ ). Segundo Ferreira et al. (2009) esta diferença na classe pode afetar o preço de comercialização, já que a alface é vendida por unidade ('pé ou cabeça'). Sendo assim, as alfaces produzidas com carvão ativado podem ser comercializadas a preços maiores.

A diferença entre a produção de alface na presença de biochar e de carvão ativado pode estar relacionado às pequenas diferenças existentes nas propriedades destes biocarvões, apesar deles serem constituídos basicamente de carbono e apresentarem estrutura química e física semelhantes. O carvão ativado por possuir uma área superficial e porosidade superiores ao biochar, por causa do processo de ativação, a área de contato entre este biocarvão e o solo pode ser maior, favorecendo modificações superiores na sua fertilidade que refletiram na resposta da planta. De acordo com Peng et al. (2011) o melhor desenvolvimento de plantas na presença de biocarvão está relacionado com as mudanças no solo, como maior capacidade de troca catiônica e maior pH. Como na presente pesquisa, o carvão ativado proporcionou maiores modificações no solo, o crescimento, desenvolvimento e produção da alface foram mais acentuados neste tratamento do que com biochar.

No que se refere ao carvão ativado, a pesquisa de Costa et al. (2006) sobre os impactos da interação de carvão ativado e diferentes níveis de citocinina na produção *in vitro* de mudas de bananeira testifica os resultados deste trabalho. Os pesquisadores verificaram que independente da concentração de citocinina no meio, a presença de carvão ativado reduziu a oxidação das brotações da bananeira, resultando na maior formação de raízes e, conseqüentemente, na maior absorção de nutrientes pelas plantas quando comparadas àquelas na ausência de biocarvão. A oxidação dos tecidos lesionados, que é ocasionada pela liberação de compostos fenólicos precursores da síntese de lignina



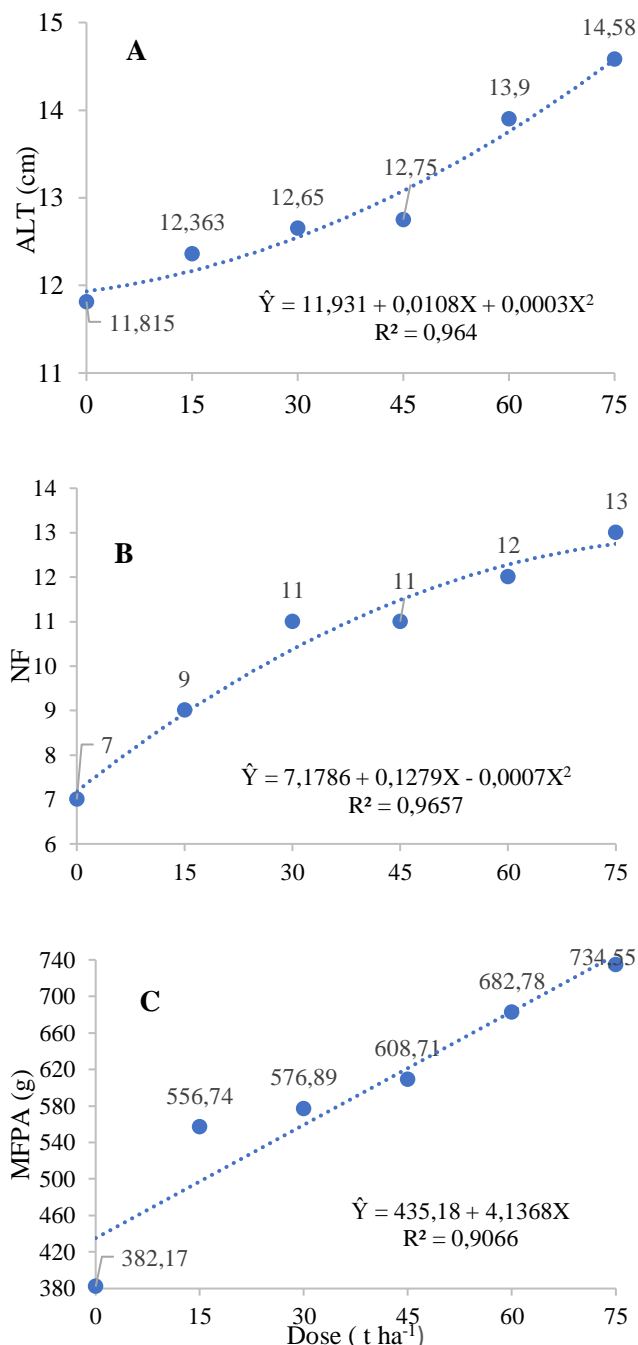
no meio in vitro, causa a obstrução dos tecidos, afetando a absorção dos componentes do meio. Então o carvão ativado adsorve esses compostos (MULLER et al. 2007; VAN WINKLE et al., 2003), melhorando o desenvolvimento dos brotos.

O potencial de uso de biochar no solo também foi estudado por Woldetsadik et al. (2017), os quais observaram a reação de plantas de alface ao biochar e ao adubo nitrogenado. Os pesquisadores verificaram que a biomassa fresca e seca da cultura foram superiores no tratamento de biochar, com ou sem nitrogênio, em comparação com o controle e a adução nitrogenada sozinha. Este resultado, conforme os autores, pode ser atribuído parcialmente aos nutrientes presentes na matéria-prima original do biochar e aos nutrientes do solo.

Santos et al. (2014) também verificaram que a adição de carvão ativado em um solo contaminado com chumbo acrescentou em 24% a matéria seca da parte aérea e em 37% a matéria seca da raiz de plantas de milho, comparando a maior dose com a testemunha. Yamato et al. (2006) da mesma forma observaram um aumento significativo no rendimento de plantas de milho e amendoim na presença de casca carbonizada de resíduo de madeira; esse acréscimo foi atribuído à melhoria no pH e na capacidade de troca catiônica do solo.

#### 5. 3. 4. Altura da planta (ALT), número de folhas (NF) e massa fresca da parte aérea (MFPA) em função de doses de biocarvão

A produção da alface foi afetada pela adição de quantidades diferentes de biocarvão no solo, observando que a ALT, o NF e a MFPA das plantas aumentou conforme o acréscimo das doses (**Figura 4**), sendo que as curvas polinomiais de segundo grau foram as que melhor representaram o comportamento destas variáveis. Encontrando-se os menores valores na dose de 15 t ha<sup>-1</sup>, com 12,36 cm de ALT, 9 folhas e 556,74 g de MFPA; e os maiores na dose de 75 t ha<sup>-1</sup>, com 14,58 cm, 13 folhas e estas médias foram 734,55 g de MFPA.



**Figura 5.** Variação da altura da planta (ALT) (A), número de folhas (NF) (B) e massa fresca da parte aérea (MFPA) (C) das plantas de alface em função das doses de biocarvão. Fonte: Autor

O resultado de crescimento da parte comercializável da alface ‘Elba’ acompanhado do aumento das doses de biocarvão no solo pode estar relacionado às mudanças na fertilidade do solo, como acréscimo nos valores de pH, K, P, Ca, Mg, SB e V e redução da acidez potencial. Estas modificações tornaram o solo mais fértil e, como consequência, uma maior quantidade de nutrientes foram disponibilizados às plantas, favorecendo o crescimento e desenvolvimento da cultura. Isto aconteceu porque o biocarvão possui uma

grande área superficial específica, uma grande quantidade de poros e grupos funcionais na sua superfície que o torna capaz de reagir com os constituintes do solo, contribuindo para o aumento na capacidade de troca catiônica e na saturação de base do solo, para a retenção de água e agregação das partículas do solo e, conseqüentemente, favorece uma maior disponibilidade e absorção de nutrientes para as plantas, potencializando o crescimento e rendimento das culturas (AHMED et al., 2017; PETTER 2010, NOVOTNY et al., 2009, MOHAN e PITTMAN, 2006; GLASER et al. 2002, PARK e JUNG, 2002).

Corroborando com estas pesquisas, diversos estudos também comprovaram a eficiência do uso de biocarvão para as mudanças nas propriedades do solo, as quais acarretaram no maior desenvolvimento da cultura. Agbna et al. (2017) avaliando os efeitos de biochar no desempenho do tomateiro, observaram que a adição de duas doses de biochar no solo promoveram maior desenvolvimento das plantas de tomate, caracterizado pela maior altura, maior diâmetro do caule, maior massa úmida e seca da planta. Eles verificaram que esses parâmetros de desenvolvimento da cultura aumentaram à medida que as doses de biochar foram incrementadas, sendo a dose de 4% de biochar mais promissora do que a de 2%. Segundo os autores, esses resultados podem estar relacionados às melhorias no solo após adição do biochar, como maior teor de água e de matéria orgânica no solo. Similarmente Pan et al. (2017) concluiu que a mistura de biochar com o líquido gerado durante a pirólise, por meio da condensação dos gases, favoreceu o crescimento de plantas de pepino devido à melhoria na disponibilidade de nutrientes às plantas.

Outro autor que também estudou os efeitos de biochar no rendimento das culturas foi Tenório (2017) o qual observou que o rendimento do feijoeiro aumentou conforme o acréscimo nas doses, verificando maior número e peso de vagens e peso de grãos por planta e o peso matéria seca da parte aérea na dose mais elevada. Da mesma forma Timilsina et al. (2017) verificaram que o incremento da aplicação de biochar promoveu aumento na produção de biomassa e no rendimento da cultura de rabanete, pois o biochar favoreceu a disponibilidade de nutrientes no solo e, conseqüentemente, a absorção destes pelas plantas. Estes pesquisadores concluíram que o uso de biocarvão pode tornar o uso do solo mais sustentável por meio do sequestro de carbono e melhoria no solo.

Além destes pesquisadores, Sousa (2015) também observou melhoria na produção da cultura ao avaliar o desempenho agrônômico de rabanete na presença de biochar de lodo de esgoto, constatando que as doses de 20 a 60 t ha<sup>-1</sup> desse material proporcionaram efeito significativo no número de folhas, comprimento de folhas, altura e massa seca da parte aérea das plantas de rabanete; indicando que o biocarvão, mesmo em pequeno período no solo, tem o potencial de fornecer nutrientes às culturas de ciclo curto, afetando positivamente a sua produtividade e demonstrando que o seu uso no cultivo de hortaliças é viável. De acordo com Chan et al. (2007) esses efeitos positivos do biochar para os vegetais podem estar relacionados ao aumento do pH e da capacidade de troca de cátions do solo e também às melhorias nas propriedades físicas do solo que ele promove.

#### 5. 4. CONCLUSÕES

A aplicação de biochar e carvão ativado no solo promoveu mudanças na fertilidade do solo que refletiram no crescimento, desenvolvimento e produção das plantas de alface. Indicando que estes materiais podem ser utilizados para melhorar o desempenho agrônômico das plantas.

As plantas tratadas com carvão ativado apresentaram uma maior produção de massa fresca devido o solo apresentar uma quantidade mais significativa de cátions disponíveis e, principalmente, pela maior absorção de água pelas plantas.

Como tanto o biochar quanto o carvão ativado influenciaram positivamente a produção da cultura da alface, recomendando-se que a escolha do tipo de biocarvão a ser utilizado deva ser baseada na disponibilidade do produto na região, no preço de aquisição ou até no custo de sua produção na propriedade agrícola.

#### REFERÊNCIAS

AGBNA, G. H. D.; ALI, A. B.; BASHIR, A. K.; ELTOUM, F.; HASSAN, M. M. Influence of biochar amendment on soil water characteristics and crop growth enhancement under salinity stress. **International Journal of Engineering Works**, v. 4, p. 49-53, 2017.

AHMED, F.; ISLAM, M. S.; IQBAL, M. T. Biochar amendment improves soil fertility and productivity of mulberry plant. **Eurasian J Soil Sci**, v., 6, p. 226 – 237, 2017.

AKÇA, M. O.; NAMLI, A. Effects of poultry litter biochar on soil enzyme activities and tomato, pepper and lettuce plants growth. **Eurasian J Soil Sci**, v. 4, p. 161 – 168, 2015.

ALCÂNTARA, F. A.; MADEIRA, N. R. Manejo do solo no sistema de produção orgânico de hortaliças. **Circular Técnica**, v. 64, p. 1 – 12, 2008.

AMELOOT, N.; GRABER, E. R.; VERHEIJEN, F. G. A.; DE NEVE, S. Interactions between biochar stability and soil organisms: review and research needs. **European Journal of Soil Science**, v. 64, p. 379-390, 2013.

AMIN, A. E. A.; EISSA, M. A. Biochar effects on nitrogen and phosphorus use efficiencies of zucchini plants grown in a calcareous sandy soil. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 17, p. 912-921, 2017.

ANTI, A.; CARVALHO, M. C.; CAMPOS, O. R.; SILVA, A. F.; ALMEIDA, J. L.; MONTEIRO S. Ação de material orgânico sobre a produção e características comerciais de cultivares de alface. **Horticultura Brasileira**, v.28, p. 87-90, 2010.

CAETANO, L. C. S.; FERREIRA, J. M.; ARAUJO, M. L. de. ; SILVA, V. V.; LEAL, M. A. de A.; ANDRADE, W. E. de B.; COELHO, R. G.; CUNHA, H. C. da.; SARMENTO, W. da R. M.; CUNHA, H.; STORCH, M.; COSTA, R. A. da; SILVA, J. A. da C. **A cultura da alface: perspectivas, tecnologias e viabilidade**. Niterói: PESAGRO- RIO, 2001. 23 p.

CAVASINI, R. **Caracterização topográfica da epiderme de hortaliças folhosas e mistura gasosa de ozônio na qualidade de alface**. 2017. 133 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

CHAN, K. Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A.; JOSEPH, S. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. **Australian Journal of Soil Research**, v. 45, p. 629–634, 2007.

CHAN, K. Y.; XU., Z. Biochar: nutrient properties and their enhancement In: Lehmann, J. and S. Joseph (Eds.). 1 ed. **Biochar for environmental management: Science and technology**. London: Earthscan, 2009. p. 67–84.

CHAN, K.; VAN ZWEITEN, L.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A.; JOSEPH, S. Using poultry litter biochars as soil amendments. **Australian Journal of Soil Research**, v. 46, p. 437 – 444, 2008.

CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. 2003. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

COSTA, F. H. S.; PEREIRA, J. E. S.; PEREIRA, M. A. A.; OLIVEIRA, J. P. Efeito da interação entre carvão ativado e *n*6-benzilaminopurina na propagação *in vitro* de bananeira, cv. grand naine (aaa)<sup>1</sup>. **Rev. Bras. Frutic**, v. 28, p. 280-283, 2006.

COUTINHO, E. L. M.; CARVALHO, F. P. de; FRANCO, H. C. J.; ORIOLI JÚNIOR, V.; COUTINHO NETO, A. M.; UETA, F. Z. Adubação fosfatada em cultivares de alface cultivada em solos deficientes. **Nucleus**, v.5, p. 279 – 288, 2008.

DABROWSKI, A., PODKOSCIELNY, P., HUBICKI, Z., BARCZAK, M. Adsorption of phenolic compounds by activated carbon e a critical review. **Chemosphere**, v. 58, p. 1049 – 1070, 2005.

DAY, D.; EVANS, R.J.; LEE, J.W.; REICOSKY, D. Economical CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, and NO<sub>x</sub> capture from fossil-fuel utilization with combined renewable hydrogen production and large-scale carbon sequestration. **Energy**, v. 30, p. 2558–2579, 2005.

EL-HENDAWI, A. A.; ALEXANDER, A. J.; ANDREWS, R. J.; FORREST, G. Effects of activation schemes on porous, surface and thermal properties of activated carbons prepared from cotton stalks. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 82, p. 272-278, 2008.

EXAME. Mercado de alface continuamente no Brasil. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/negocios/dino/mercado-de-alface-cresce-continuamente-no-brasil-shtml/>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2018.

FANGMEIER, M.; HOEHNE, L. Avaliação de carvão ativado e de sílica como adsorventes para amostras com corantes e com sódio. **Revista destaques acadêmicos**, v. 4, p. 41-49, 2012.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. 2005. 186f. Especialização (Especialista em solos e meio ambiente) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2005.

FERREIRA, R. L. F.; ARAÚJO NETO, S. E.; SILVA, S. S.; ABUD, E. A.; REZENDE, M. I. F. L.; KUSDRA, J. F. Combinações entre cultivares, ambiente, preparo e cobertura do solo em características agronômicas de alface. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 383-388, 2009.

FILGUEIRA, F.A.R. **ABC DA OLERICULTURA, Guia da pequena horta**. 1 ed. São Paulo: Ceres, 1987. p. 48-80.

FREE, H. F.; MCGILL, C. R.; ROWARTH, J. S.; HEDLEY, M. J. The effect of biochars on maize (*Zea mays*) germination. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 53, p. 1-4, 2010.

GLASER, B., LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: A Review. **Biol fertil soils**, v. 35, p. 219-230, 2002.

GRABER, E. R.; HAREL, Y. M.; KOLTON, M.; CYTRYN, E.; SILBER, A.; DAVID, D. R.; TSECHANSKY, L.; BORENSHTEIN, M.; ELAD, Y. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. **Plant Soil**, v. 337, p. 481–496, 2010.

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações agronômicas**, n. 95, p. 1-16, 2001.

GRAY, M.; JOHNSON, M. G.; DRAGILA, M. I.; KLEBER M. Water uptake in biochars: The roles of porosity and hydrophobicity. **Biomass Bioenergy**. v.61, p.196-205, 2014.

GUNES, A.; INAL, A.; TASKIN, M. B.; SAHIN, O.; KAYA, E. C.; ATAKOL, A. Effect of phosphorus enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in alkaline soil. **Soil use and management**, v.30, p. 182–188, 2014.

GUSON, R. R.; MORAES, C. P.; RONCONI, C. C. Influência de diferentes concentrações de carvão ativado no crescimento e enraizamento *in vitro* de *cattleya pumila* hook. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.5, p. 551-563, 2012.

HORTIBRASIL. Instituto Brasileiro de Qualidade em Horticultura. Normas de classificação do Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura. Disponível em: <<http://www.hortibrasil.org.br/2016-06-02-10-49-06.html>>. Acesso em: 31 maio de 2018.

HU, Z.; SRINIVASAN, M.P.; NI, Y. Novel activation process for preparing highly microporous and mesoporous activated carbons. **Carbon**, v. 39, p. 877–886, 2001.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário de 2006. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1706#resultado>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2018.

JEFFERY, L. S.; COLIINS, H. P.; BAILEY, V. L. The effect of young biochar on soil respiration. **Soil Biology e Biochemistry**, v. 42, p. 2345-2347, 2010.

KUNZ, A.; ZAMORA, P. P.; MORAES. S. G.; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, v. 25. p. 78-82. 2002.

LEHMANN J, JOSEPH S. **Biochar for environmental management - science and technology**. 2 ed. Earthscan; Routledge, 2015. 944p.

LIANG, B., LEHMANN, J., SOLOMON,D., KINYANGI, J., GROSSMAN, J., O'NEILL, B., SKJEMSTAD, J.O., THIES, J., LUIZAO, F. J., PETERSEN, J.; NEVES, E. G. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. **Soil Science Society America Journal**, v. 70, p.1719–1730, 2006.

LIMA, S. L.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; TAMIOZZO, S.; PETTER, F. A.; MARIMON, B. S.; ABREU, M. F. Biochar adicionado em Latossolo Vermelho beneficia o desenvolvimento de mudas de beterraba?. **Comunicata Scientiae**, v. 7, p. 97-103, 2016.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251 p.



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

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

MANTOVANI, J. R.; OLIVEIRA, I. A. C.; MARQUES, D. J.; SILVA, A. B.; LANDGRAF, P. R. C. Teores de fósforo no solo e produção de alface crespa em função de adubação fosfatada. **Ciências Agrárias**, v. 35, p. 2369-2380, 2014.

MAU, A.E.; UTAMI, S.R. Effects of biochar amendment and arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on availability of soil phosphorus and growth of maize. **Journal of degraded and mining lands management**, v.1, p. 69-74, 2014.

MOHAN, D.; PITTMAN, C. U. J. Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri- and hexavalent chromium from water. **Journal of Hazardous Materials**, v.137, p. 762 – 811, 2006.

MOREIRA, M.; SANTOS, C.; LUCAS, A.; BIANCHINI, F.; SOUZA, I.; VIÉGAS, P. Lettuce production according to different sources of organic matter and soil cover. **Agricultural Science**, v. 5, p. 99-105, 2014.

MÜLLER, T. S.; DEWES, D.; KARSTEN, J.; SCHUELTER, A. R.; STEFANELLO, S. Crescimento *in vitro* e aclimatação de plântulas de *Miltonia flavences*. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, p. 252-254, 2007.

NIGUSSIE, A.; KISSI, E.; MISGANAW, M.; AMBAW, G. Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils. **J. Agric. e Environ. Sci.**, v. 12, p. 369-376, 2012.

NOVOTNY, E. H.; HAYES, M. H. B.; MADARI, B. E.; BONAGAMBA, T. J.; AZEVEDO, E. R. DE; SOUZA, A. A. DE; SONG, G.; NOGUEIRA, C. M.; MANGRICH, A. S. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the utilization of Charcoal for Soil Amendment. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 20, p. 1-8, 2009.

NUNES, B. T. **Resposta de alface romana sob diferentes formulações de fertilizantes organominerais**. 2016. 46 f. Dissertação (Mestre em Olericultura) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Morrinhos. 2016.

OH, T. K.; SHINOGLI, Y.; CHIKUSHI, J.; LEE, Y.H.; CHOI, B. Effect of Aqueous Extract of Biochar on Germination and Seedling Growth of Lettuce (*Lactuca sativa* L.). **J. Fac. Agr.**, v.57, p.55–60, 2012.

PAN, X.; ZHANG, Y.; WANG, X.; LIU, G. Effect of adding biochar with wood vinegar on the growth of cucumber. **International conference on energy materials and environment engineering**, v. 61, 2017.

PARK, S. J.; JUNG, W. Y. Preparation and structural characterization of activated carbons based on polymeric resin. **Journal of Colloid and Interface Science**, v.250, p.196–200, 2002.

PARSONS A. J.; ROWARTH, J. S.; NEWMAN, P. Managing pastures for animals and soil carbon. **Proceedings of the New Zealand Grassland Association**, v. 71, p. 71- 84, 2009.

PENG, X.; YE, L. L.; WANG, C. H.; SHOU, H.; SUN, B. Temperature and duration dependent rice straw-derived biochar: characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China. **Soil and tillage research**, v. 112, p.159–166, 2011.

PEREIRA, M. C. **Qualidade fisiológica de sementes e estudos de adaptabilidade e estabilidade da tolerância ao calor em genótipos de alface produzidos em diferentes ambientes e épocas**. 2017. 110 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

PETTER, F.A. **Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agrônômicos e ambientais do seu uso em solos de cerrado**. 2010. 130 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2010.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas. 1 ed.** São Paulo: UNESP, 2008. 417 p.

RAIJ, B. Van et al. Interpretação de resultados de análise de solo. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A; FURLANI, A.M.C (Eds.). **Recomendação de**

**adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: Fundação IAC, 1996. p.8-13.

RAJKOVICH, S.; ENDERS, A.; HANLEY, K.; HYLAND, C.; ZIMMERMAN, A.R.; LEHMANN, J. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 48, p. 271-284, 2012.

RAMOS, M. S. **Obtenção de carvões ativados a partir de resíduos industriais e agrícolas.** 2014. 137f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2014.

SANCHEZ, S. V. **Avaliação de cultivares de alface crespa produzidas em hidroponia tipo NFT em dois ambientes protegidos em Ribeirão Preto (SP).** 2007. 63 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

SANTOS, M. A. L.; SANTOS, D. P.; MENEZES, S. M.; LIMA, D. F.; VIEIRA, J. P. S. Produção da cultura da alface (*Lactuca Sativa* L.) em função das lâminas de irrigação e tipos de adubos. **Ciência Agrícola**, v. 13, p. 33-39, 2015.

SANTOS, N. M.; ACCIOLY, A. M. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; SANTOS, J. A. G.; SILVA, I R. Ácidos húmicos e carvão vegetal ativado como amenizantes em solo contaminado por chumbo<sup>1</sup>. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 38, p.345-351, 2014.

SANTOS, S. R.; PEREIRA, G. M. Comportamento da alface tipo americana sob diferentes tensões da água no solo, em ambiente protegido. **Engenharia Agrícola**, v. 24, p. 569- 577, 2004.

SCHULZ, H.; DUNST, G.; GLASER, B. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. **Agron. Sustain. Dev**, v.33, p. 817–827, 2013.

SILVA, A. S. N. **Doses de fósforo e de potássio na produção da alface.** 2013. 50 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

SILVA, C. S. W. **Avaliação ambiental decorrente do uso agrícola de resíduos do sistema de limpeza de gases de uma siderurgia a carvão vegetal**. 2007. 98f. Dissertação (Mestrado de Ciências) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

SILVA, M. L. P.; RODRIGUES, M. A.; BIANCO, M. S.; CECÍLIO FILHO, A. B.; GAION, L. A. Caracterização de sintomas visuais de deficiências de macronutrientes em alface. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 714- 721, 2011.

SOUSA, A. A. T. C. **Biochar de lodo de esgoto: efeitos no solo e na planta no cultivo de rabanete**. 2015. 63 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

STREET, T. A.; DOYLE, R. B.; CLOSE, D. C. Biochar media addition impacts apple rootstock growth and nutrition. **Hortscience**, v. 49, p. 1188–1193, 2014.

SUJAN, P.; LANYA, I.; SUBADIYASA, N. N.; SUARNA, W. The effect of dose biochar and organic matters on soil characteristic and corn plants growth on the land degraded by garment liquid waste. **Journal of Biology, Agriculture and Healthcare**. v.4, p. 77 – 88, 2014.

SUPPADIT, T.; PHUMKOKRAK, N.; POUNGSUK, P. The effect of using quail litter biochar on soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) production. **Chilean journal of agricultural research**, v. 72, p. 244-251, 2012.

TAMMEORG, P.; SIMOJOKI, A.; MAKELA, P.; STODDARD, F. L.; ALAKUKKU, L.; HELENIUS, J. Short-term effects of biochar on soil properties and wheat yield formation with meat bone meal inorganic fertilizer on a boreal loamy sand. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 191, p. 108-116, 2014.

TAN, X., LIU, Y., ZENG, G., WANG, X., HU, X., GU, Y., YANG, Z. Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. **Chemosphere**, v. 125, p. 70–85, 2015.

TENÓRIO, F. A. **Cultivo de feijão comum sob aplicação de biocarvão do endocarpo do Ouricuri (*Syagrus coronata*. (Mart. Becc): atributos químicos e biológicos do solo**. 60 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, 2017.

TERRA, M. A.; LEONEL, F. F.; SILVA, C. G.; FONSECA, A. M. Cinza vegetal na germinação e no desenvolvimento da alface. **Agrogeoambiental**, v. 6, p. 11- 17, 2014.

TIMILSINA, S.; KHANAL, B. R.; SHAH, S.C.; SHRIVASTAV, C. P.; KHANAL, A. Effects of biochar applicaton on soil properties and production of radish (*Raphanus Sativus* l.) on loamy sand soil. **Journal of Agriculture and Forestry University**, v.1, p. 103- 111, 2017.

TRUPIANO, D.; COCOZZA, C.; \_BARONTI, S.; AMENDOLA, C.; \_VACCARI,F. P.; LUSTRATO, G.; LONARDO, S. D.; FANTASMA, F.; TOGNETTI, R.; SCIPPA, G. S. The Effects of biochar and its combination with compost on lettuce (*lactuca sativa* l.) growth, soil properties, and soil microbial activity and abundance. **International Journal of Agronomy**, v. 2017, p. 1 – 12, 2017.

UZOMA, K. C.; INOUE, M.; ANDRY, H.; FUJIMAKI, H.; ZAHOOR, A.; NISHIHARA, E. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. **Soil use and management**, v. 27, p. 205–212, 2011.

VAN WINKLE, S.; JOHNSON, S.; PULLMAN, G.S. The impact of gelrite and activated carbon on the elemental composition of plant tissue culture media. **Plant Cell Report**, v.21, p.1175-1182, 2003.

VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K.Y.; DOWNIE, A.; RUST, J.; JOSEPH, S., COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. **Plant and Soil**, v. 327, p. 235 e 246, 2010.

WOLDETSADIK, D.; DRECHSEL, P.; MARSCHNER, B.; ITANNA, F.; GEBREKIDAN, H. Effect of biochar derived from faecal matter on yield and nutrient content of lettuce (*Lactuca sativa*) in two contrasting soils. **Environ Syst Res**, v. 6, p. 1- 12, 2017.

YAMATO, M.; OKIMORI, Y.; WIBOWO, I. F.; ANSHORI, S.; OGAWA, M. Effects of the application of charred bark of *Acacia magumon* the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 52, p. 489-495, 2006.

ZHENG, R.; SUN, G.; LI, C.; REID, B. J.; XIE, Z.; ZHANG, B.; WANG., Q. Mitigating cadmium accumulation in greenhouse lettuce production using biochar. **Environ Sci Pollut Res Int**, v. 24, p. 6532-6542, 2017.