



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



FELIPE ALEXANDRE TENÓRIO

Cultivo de feijão comum sob aplicação de biocarvão do endocarpo do Ouricuri (*Syagrus coronata* (Mart.) Becc): atributos químicos e biológicos do solo

Rio Largo - AL

2017

FELIPE ALEXANDRE TENÓRIO

Cultivo de feijão comum sob aplicação de biocarvão do endocarpo do Ouricuri (*Syagrus coronata* (Mart.) Becc): atributos químicos e biológicos do solo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.  
Área de concentração: **Produção Vegetal**.  
**Orientador:** Prof. Dr. Abel Washington de Albuquerque

Rio Largo - AL  
2017

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

T295c Tenório, Felipe Alexandre  
Cultivo de feijão comum sob aplicação de biocarvão do endocarpo do Ouricuri (*Syagrus coronata* (Mart.) Becc): atributos químicos e biológicos do solo / Felipe Alexandre Tenório – 2017.  
60 f.; il.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2017.  
Orientação: Prof. Dr. Abel Washington de Albuquerque

Inclui bibliografia

1. Biochar 2. Carbono orgânico 3. Qualidade do solo I. Título

CDU: 631.8

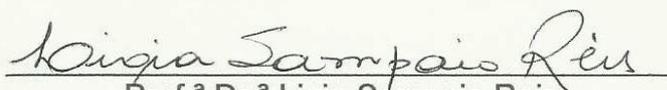
TERMO DE APROVAÇÃO

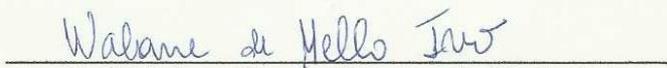
FELIPE ALEXANDRE TENÓRIO  
(Matrícula 15130128)

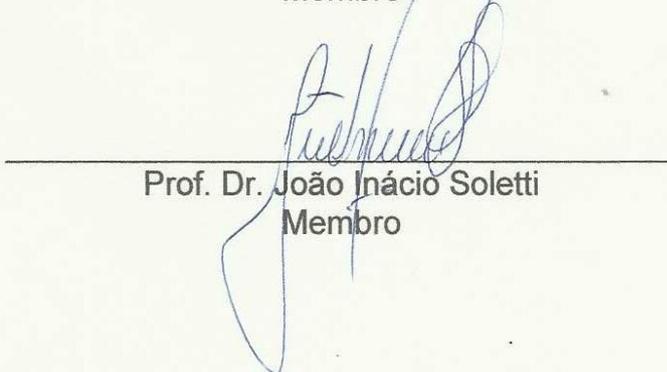
**“Cultivo de feijão comum sob aplicação de biocarvão do endocarpo do ouricuri  
(*Syagrus coronata* (Mart) Becc): atributos químicos e biológicos do solo”**

Dissertação apresentada e avaliada pela banca examinadora em vinte e oito de abril de 2017, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre 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 Ligia Sampaio Reis  
Membro

  
Dr.ª Walane Maria Pereira de Mello Ivo  
Membro

  
Prof. Dr. João Inácio Soletti  
Membro

Rio Largo - AL  
Abril/2017

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais *Tito* e *Geni*, por quem mais tenho buscado forças para nunca desistir da luta.  
Aos *meus irmãos*. E a minha tia *Ditinha*, por toda a confiança e amor a mim depositado, **dedico**.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a *Deus* pela dádiva da vida. Por toda a coragem que Ele tem me proporcionado.

Ao meu orientador *Prof. Abel Washington*, pelos ensinamentos nessa pesquisa.

Agradeço a *Prof.<sup>a</sup> Tania Marta*, pela paciência em nos acolher e ajudar durante a pesquisa, com as análises biológicas de solo no Laboratório de Microbiologia, CECA/UFAL.

À *Prof.<sup>a</sup> Lígia Sampaio Reis* pelas avaliações e contribuição nas discussões do estudo.

Ao *Prof. João Soletti* e sua equipe pela contribuição na produção de biocarvão no Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos – LASSOP, CETEC/UFAL.

Ao *Prof. Gilson Moura*, pela contribuição nas análises de fertilidade do solo no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas, CECA/UFAL.

À Embrapa Tabuleiros Costeiros, em nome da *Dr.<sup>a</sup> Wallane Ivo*, pelo apoio e contribuição durante todo o desenvolvimento da pesquisa.

Ao *Prof. Mauro Wagner* pelas dúvidas nos tiradas durante a execução do projeto.

Ao *Prof. Paulo Vanderlei* pelas sugestões estatísticas no planejamento do projeto.

Aos amigos *Ferdnando Brito, e Leandro Casado* que contribuíram com a coleta de dados e desenvolvimento da pesquisa. E por todos esses longos anos de amizade.

E à *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes)* pela concessão da bolsa e auxílio financeiro para execução deste projeto.

Ao *Centro de Ciências Agrárias*, da Universidade Federal de Alagoas, pela oportunidade.

*“A satisfação reside no esforço, não no resultado obtido.  
O esforço total é a plena vitória.”*

*Mahatma Gandhi*

## RESUMO

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.** 2017. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2017.

O biocarvão tem atraído a atenção da comunidade científica, por causa das suas promissoras aplicabilidades em contribuir melhorando a elevação dos aspectos químicos do solo como pH, CTC, cátions trocáveis, e físicos como agregação das partículas do solo. Essas alterações no solo podem influenciar diretamente a microbiota, e os níveis de fertilidade do solo, sobre o crescimento e produtividade de culturas de interesse agrícola. A cultura do feijoeiro apresenta uma importância econômica e social significativa no Brasil. O objetivo do estudo é determinar os atributos químicos e biológicos de um argissolo cultivado com feijão, e submetido a aplicação de biocarvão de ouricuri. O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x4, com 4 repetições. Os fatores foram obtidos pela combinação de quatro faixas granulométricas: G1 (0,42 mm), G2 (0,84 mm), G3 (1,19 mm), G4 (1,68 mm), e quatro doses de biocarvão (8, 16, 24 e 32 Mg ha<sup>-1</sup>). Na ocasião, foi adicionado um tratamento controle sem biocarvão. Foram avaliados: diâmetro do caule (DC); número de folhas (NF); peso seco aéreo (PSA); peso seco de raiz (PSR); número de vagens por planta (NVP); peso de vagens por planta (PVP); número de grãos por planta (NGP); número de grãos/vagem (NGV); relação da massa de 100 grãos (r100); b) caracterização química e indicadores biológicos do solo Carbono da Biomassa Microbiana (Cmic), a respiração microbiana do solo (RMS) e carbono orgânico total (COT). O biocarvão de ouricuri adicionado ao solo à curto prazo, promoveu melhorias em alguns dos principais indicadores químicos de qualidade do solo. A dose de 32 Mg ha<sup>-1</sup> biocarvão de ouricuri influenciou positivamente o desenvolvimento vegetativo das plantas. Os resultados desse estudo demonstram que existe relação direta entre o tamanho de partículas e a quantidade aplicada de biocarvão no solo. O que influenciou efeito direto sobre o estoque de carbono do solo e da população microbiana. Estudos mais detalhados à longo prazo, devem verificar o desenvolvimento da população microbiana do solo e seus efeitos nas plantas.

**Palavras-chave:** Biochar. Propriedades biológicas do solo. Carbono orgânico. Qualidade do solo. Produtividade.

## ABSTRACT

TENÓRIO, F. A. **Cultivation of common bean under application of biocarbon of the endocarp of Ouricuri (*Syagrus coronata* (Mart.) Becc): chemical and biological soil attributes**. 2017. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2017.

Biocarbon has attracted the attention of the scientific community because of its promising applicability in contributing to improving the soil chemical aspects such as pH, CEC, exchangeable cations, and physical as soil particles aggregation. These changes in soil can directly influence the microbiota, and soil fertility levels, on the growth and productivity of crops of agricultural interest. Bean culture has significant economic and social importance in Brazil. The objective of the study is to determine the chemical and biological attributes of a bean cultivated argisol and submitted to the application of ouricuri biochar. The experiment was installed in a completely randomized design, in a 4x4 factorial scheme, with 4 replicates. The factors were obtained by the combination of four grain sizes: G1 (0.42 mm), G2 (0.84 mm), G3 (1.19 mm), G4 (1.68 mm) and four doses of biocarbon, 16, 24 and 32 Mg ha<sup>-1</sup>). At the time, a control treatment without biocarbon was added. The following parameters were evaluated: stem diameter (SD); Number of leaves (NL); Aerial dry weight (ADW); Root dry weight (RDW); Number of pods per plant (NPP); Weight of pods per plant (WPP); Number of grains per plant (NGP); Number of grains / pod (NGV); Mass ratio of 100 grains (r100); B) chemical characterization and soil biological indicators (microbial biomass carbon (C<sub>mic</sub>), soil microbial respiration (SMR) and total organic carbon (TOC). The biocarbon of ouricuri added to the soil in the short term, promoted improvements in some of the main chemical indicators of soil quality. The dose of 32 Mg ha<sup>-1</sup> bioic of ouricuri positively influenced the vegetative development of the plants. The results of this study demonstrate that there is a direct relationship between the particle size and the amount of biocarbon in the soil. The biocarbon influenced direct effect on the carbon stock of the soil and the microbial population. More detailed long-term studies should verify the development of soil microbial population and its effects on plants.

**Keywords:** Biochar. Biological properties of soil. Organic carbon. Soil quality. Productivity.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 QUALIDADE DE SOLOS AGRÍCOLAS .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.1 USO DE RESÍDUOS NA AGRICULTURA .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 TERRA PRETA DE ÍNDIO (TPD) .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.1 BIOCARVÃO NO SOLO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3 MATÉRIA-PRIMA PARA PIRÓLISE .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4 A CULTURA DO FEIJÃO COMUM .....</b>	<b>20</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>22</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>29</b>
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>44</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.</b>	(A) Esquematização do biocarvão com estrutura interna inerte e estrutura periférica funcionalizada; (B) estruturando o solo; (C) retendo água; (D) coordenando íons metálicos nutrientes – ou tóxicos – para as plantas.....	<b>20</b>
<b>Figura 2.</b>	Faixas granulométricas de biocarvão após o processo de peneiramento em laboratório.....	<b>26</b>
<b>Figura 3.</b>	(A) Sistema de condensação; (B) aparelho experimental para realização da pirólise.....	<b>27</b>
<b>Figura 4.</b>	Características químicas de solo após aplicação de diferentes doses de biocarvão.....	<b>34</b>
<b>Figura 5.</b>	Disponibilidade de Cálcio no solo após aplicação de diferentes faixas granulométricas de biocarvão. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.....	<b>36</b>
<b>Figura 6.</b>	Disponibilidade de carbono microbiano (A), e carbono orgânico total (B), de solo submetido a diferentes doses de biocarvão. Rio Largo, Alagoas, 2017.....	<b>38</b>
<b>Figura 7.</b>	Carbono orgânico total de solo após aplicação de diferentes faixas granulométricas de biocarvão.....	<b>39</b>
<b>Figura 8.</b>	Resultados da respiração microbiana do solo, após 2 dias de incubação, em diferentes doses e granulometrias de biocarvão no solo.....	<b>40</b>
<b>Figura 9.</b>	Microscopia Eletrônica de Varredura do biocarvão de Ouricuri numa temperatura de pirólise à 500°C.....	<b>41</b>
<b>Figura 10.</b>	Número de vagens por planta (A); Peso de vagens por planta (B); Peso de grãos por planta (C); Peso de matéria seca de raiz (D); Peso de matéria seca total (E); Relação da massa de 100 grãos de plantas (F) de feijão comum “ <i>Phaseolus vulgaris</i> ”, cultivado em solo submetido a diferentes granulometrias e doses de biocarvão.....	<b>44</b>
<b>Figura 11.</b>	Desenvolvimento radicular da cultura do feijoeiro submetido á diferentes doses de biocarvão de ouricuri.....	<b>45</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b>	Análise química de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, de textura média/argilosa na profundidade de 0 a 20 cm, coletado em região de zona rural no município de Anadia – AL.....	<b>25</b>
<b>Tabela 2.</b>	Faixas granulométricas de biocarvão de Ouricuri utilizados para incorporação no solo. ....	<b>26</b>
<b>Tabela 3.</b>	Composição elementar do endocarpo de frutos de ouricuri.....	<b>28</b>
<b>Tabela 4.</b>	Análise química do biocarvão de ouricuri produzido a 500 °C .....	<b>28</b>
<b>Tabela 5.</b>	Resumo de análise de variância para os teores de pH, Fósforo (P), Potássio (K), Hidrogênio + Alumínio (H+Al), Cálcio (Ca), Capacidade de Troca Catiônica (CTC), e Saturação de Bases (V%), de solo submetido a diferentes granulometrias e doses de biocarvão.....	<b>32</b>
<b>Tabela 6.</b>	Resumo da análise de variância para o Carbono Microbiano do Solo (Cmic), Carbono Orgânico Total (COT), e Respiração Microbiana (RMS), de solo sob diferentes granulometrias e doses de biocarvão.....	<b>37</b>
<b>Tabela 7.</b>	Resumo de análise de variância para as variáveis: diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), número de vagens por planta (NVP), peso de vagens por planta (PVP), peso de grãos por planta (PGP), peso de matéria seca de raiz (PSR), peso de matéria seca da parte aérea (PSA), peso de matéria seca total (PMST), relação da massa de 100 grãos (r100) de feijão comum “ <i>Phaseolus vulgaris</i> ” cultivado sob diferentes granulometrias e doses de biocarvão.....	<b>42</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Na busca de novas soluções para minimizar impactos ambientais como degradação de solos agrícolas, o uso do biochar como condicionador do solo, tem sido uma das práticas de manejo cada vez mais frequente para melhorias das propriedades físicas e químicas do solo. O uso do biocarvão no solo tem sido evidenciado, após a descoberta de manchas denominadas de *Terra Preta de Índio* (TPI) na Amazônia, referindo-se aos solos associados a antigas ocupações indígenas, nos quais os nativos depositavam carvão, ossos de animais e cerâmicas, entre outros resíduos da atividade humana (Van Zwieten et al., 2010; Mangrich et al., 2011).

O biocarvão tem atraído a atenção da comunidade científica, por causa das suas promissoras aplicabilidades em diferentes áreas, a nível ambiental e econômico (Qian et al., 2015). Sendo um produto sólido obtido através da decomposição térmica (pirólise) de biomassa em ambiente com baixa concentração ou ausência de oxigênio (O<sub>2</sub>) sob temperatura consideradas baixas (<700 °C) e difere do carvão vegetal, na sua obtenção e destinação, mas não como fonte de energia (Lehmann e Joseph, 2015).

O biocarvão pode contribuir melhorando a elevação dos níveis de pH, realizando a correção de solos ácidos. Promove um aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), e disponibilização de nutrientes para o solo, ocasionando assim, melhorias na fertilidade do solo (Lima et al., 2015). Nas condições biológicas do solo, o biochar atua influenciando a composição, a diversidade e a atividade microbiana no solo (Doan et al., 2014; Purakayastha et al., 2015; Wang et al., 2015; Pan et al., 2016).

No solo, a oxidação do biocarvão pode produzir grupos carboxílicos, os quais aumentam a sua reatividade e sua capacidade de troca catiônica, tornando o biocarvão mais eficiente na melhoria das condições de qualidade do solo. Por apresentar alta porosidade, e elevada área de superfície específica, fato que confere condições favoráveis para absorção de compostos orgânicos solúveis, podendo contribuir para elevar a disponibilidade de nutrientes. Quando ocorre a oxidação parcial das bordas das estruturas aromáticas do biocarvão, novos sítios eletroquímicos vão surgindo, efeito este, que pode auxiliar na retenção e disponibilidade de nutrientes para as plantas (Madari et al., 2006, Petter, 2010; Petter e Madari, 2012).

A mistura de substratos com o biocarvão, buscando a melhoria das propriedades físico-químicas do solo, tem sido evidenciada em alguns trabalhos como um recurso valioso que pode melhorar o rendimento das culturas em solos tropicais ácidos e inférteis, podendo ser utilizado por agricultores com a finalidade de aumentar a produtividade de culturas de importância agrícola e promover o estoque de carbono no solo (Gomes et al., 2003; Mendonça et al., 2003;

Zanetti et al., 2003; Pontes et al., 2005; Lehmann e Rondon, 2005; Lima, 2006; Arruda et al., 2007; Novak et al., 2009; Maia et al., 2011).

A aplicação do processo de pirólise para transformação da biomassa em carvão e outros produtos, derivados da composição lignocelulósica, tem sido muito frequente nos dias atuais, devido à grande discussão a respeito dos impactos ambientais gerados pelo descarte inadequado desses resíduos (Meili et al., 2015).

A cultura do feijoeiro apresenta uma importância econômica e social significativa no Brasil, pelo fato de ser uma cultura que é cultivada em grande parte por pequenos agricultores. Sua importância extrapola o aspecto econômico, por sua relevância enquanto fator de segurança alimentar e nutricional e cultural na culinária de diversos países e culturas. O Brasil obteve uma média nacional de produção de feijão, na safra 2016/2017, estimada em 3.052,4 mil toneladas (Silva et al., 2012; Conab, 2017).

A produtividade do feijoeiro varia conforme a região, pois depende de fatores como o clima, a época de plantio e do nível tecnológico utilizado. Contudo, novos sistemas e novas tecnologias de produção, que sejam adequadas para as diferentes condições ambientais, aliando a produção de alimentos com a preservação da biodiversidade do solo e da água, podem contribuir para a redução dos problemas ambientais (Petter, 2010; Alves, 2014).

O objetivo do presente trabalho, foi determinar os atributos químicos e biológicos de um argissolo cultivado com feijão, submetido a aplicação de biocarvão de ouricuri.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Qualidade de solos agrícolas

A rápida degradação do solo sob exploração agrícola no mundo, especialmente nos países tropicais em desenvolvimento, despertou nas últimas décadas, a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade da exploração agrícola, abrangendo maior intensidade a partir da década de 1990 (Lal e Pirce, 1991). Portanto, a relação entre a qualidade do solo e sustentabilidade agrícola consiste na produção de alimentos e fibras em um solo capaz de cumprir suas funções, num processo de produção ambientalmente seguro, economicamente viável e socialmente aceito (Gliessman, 2000).

Para o monitoramento da qualidade do solo, Larson e Pirce (1994) propuseram um conjunto mínimo de variáveis químicas, físicas e biológicas, que, acompanhadas ao longo do tempo, são capazes de detectar as alterações da qualidade do solo em função do seu uso. O carbono orgânico total (COT) ou a matéria orgânica do solo encontram-se entre essas variáveis, sendo citado na literatura como indicador chave da qualidade do solo (Doran, 1997; Reeves, 1997).

A matéria orgânica, é definida como um componente do solo que, em comparação à fase mineral, está presente em menor quantidade, de modo que, em geral, de 1 a 5% do solo é composto pelas frações orgânicas, sendo exceção alguns solos em condições ambientais específicas, como os Organossolos, que contêm mais de 200 g kg<sup>-1</sup> matéria orgânica (mais de 20% em massa) com espessura mínima de 40 cm (Embrapa, 1999).

A matéria orgânica é uma fonte importante de nutrientes para as plantas, disponibilizando elementos como o N, P e S. Sendo formada por diversos compostos da molécula de carbono em vários graus de alteração, a matéria orgânica é produzida a partir da decomposição de plantas e animais, a qual interage com outras fases do solo. Na maioria dos solos tropicais compõe menos que 5% da fase sólida, porém apresenta uma alta capacidade de interagir como os demais componentes, alterando, assim, as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, as quais afetam o desenvolvimento das plantas (Meurer, 2007).

A matéria orgânica do solo engloba os resíduos vegetais em estágios variados de decomposição, a biomassa microbiana, as raízes e a fração mais estável, denominada húmus (Theng et al., 1989), além da grande importância como fonte de nutrientes para as culturas, a MOS também é fundamental na retenção de cátions, complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, estabilidade da estrutura, infiltração e retenção de água, aeração, e serve como

fonte de C e energia aos microrganismos, pois estas características estão diretamente dependentes da adição de fontes de carbono, energia e nutrientes para os microrganismos, constituindo um componente fundamental do potencial produtivo desses solos (Bayer et al., 2008).

Entre os vários enfoques relacionados à atuação da MOS na determinação da qualidade do solo, a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) é uma das mais importantes. Em função disso, a MO, através de seus grupos funcionais carboxílicos e fenólicos presentes numa concentração de 200 a 900  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Pavan et al., 1985; Tan, 1992), exerce um papel extremamente relevante para a CTC de solos tropicais e subtropicais, representando algo em torno de 50 a 90% da CTC a pH 7,0 (Pavan et al., 1985; Asadu et al., 1997), apesar de representar na maioria dos casos menos de 5% da massa total de sólidos do solo.

Vezzani et al., (2008) citam que outro aspecto relacionado a influência da MO sobre a dinâmica de cargas no solo, diz respeito ao processo de adsorção de  $\text{Al}^{+3}$  por grupos funcionais orgânicos através de complexos de esfera interna. O mesmo autor também observou no trabalho de Salet, grandes reduções na atividade do  $\text{Al}^{+3}$  em solução, atribuindo o processo de complexação do  $\text{Al}^{+3}$  pela MO, em áreas manejadas sob plantio direto. Esse processo de adsorção do  $\text{Al}^{+3}$  ocorre através de vários mecanismos, entre os quais a troca de cátions, ligações de hidrogênio, força de van der Waals, ligações hidrofóbicas e troca de ligantes.

Adicionalmente à complexação de metais por substâncias húmicas da MO, a diminuição da toxidez de elementos tóxicos (Miyasawa et al., 1992) e o aumento da disponibilidade de nutrientes são muito influenciados pela presença de ácidos orgânicos de baixo peso molecular na solução do solo (Sposito, 1989). De acordo com o mesmo autor, a meia-vida desses ácidos no solo é muito curta (talvez horas), entretanto eles são continuamente produzidos e liberados pelos microrganismos e raízes.

Os compostos orgânicos adicionados ao solo, produtos da decomposição dos resíduos orgânicos, os agroquímicos, como herbicidas, fungicidas e inseticidas, interagem com a matéria orgânica do solo. A decomposição de resíduos descreve um grande número de processos inter-relacionados nos quais a matéria orgânica é desintegrada em partículas menores e formas solúveis de nutrientes, que são absorvidos pelas plantas, e formando húmus (Dionísio et al., 2016). As substâncias húmicas presentes na fase sólida podem concentrar esses compostos e moléculas orgânicas na superfície através de mecanismos de adsorção e participação, ou formar complexos solúveis (Canellas et al., 2008).

Os resíduos orgânicos recebem essa denominação em função das elevadas quantidades de carbono, hidrogênio e oxigênio que armazenam. A utilização agrônômica desses materiais

se caracteriza como uma das formas adequadas de aproveitamento, uma vez que os resíduos podem ser utilizados na fabricação dos adubos orgânicos, como substrato para fermentações como cobertura de solo e como matérias-primas para a agroindústria (Glória, 1992). Podem também ser aproveitados na fabricação de biofertilizantes, e de produtos químicos (ácidos orgânicos, materiais húmicos etc), na geração de energia como condicionadores do solo, visando a melhoria das características físicas, químicas e biológicas (Westerman e Bicudo, 2005; Gajdos, 1998).

### **2.1.1 Uso de resíduos na agricultura**

Na distribuição geográfica, o Brasil produz resíduos orgânicos de diferentes origens, em diferentes atividades urbanas, agrícolas ou industriais. Nas áreas agrícolas, são produzidos resíduos vegetais com composições químicas variadas, como é o caso dos restos culturais de leguminosas, gramíneas, subprodutos de processos agroindustriais, como torta de filtro, vinhaça, restos de levedura, lodos industriais etc (Silva et al., 2008).

O solo é o receptáculo final dos resíduos orgânicos de origem vegetal, animal e dos produtos das suas transformações (Moreira et al., 2006). A discussão sobre os impactos ambientais decorrentes de materiais orgânicos no solo, seja na forma de resíduos ou de adubos orgânicos, deve ser realizada com base no histórico do conhecimento humano e no modelo tecnológico produzido.

Diante desse cenário, é preciso que o uso de resíduos na agricultura seja feito seguindo-se os critérios técnicos, no sentido de minimizar os danos ambientais. No entanto, avaliar a qualidade do solo por meio de seus atributos é uma tarefa complexa devido às inúmeras inter-relações que podem existir entre os atributos físicos, químicos e microbiológicos, e os múltiplos tipos e usos de solos. Sendo assim, a utilização de diversos indicadores de qualidade é de grande importância para a avaliação da sustentabilidade ambiental do solo (Melloni et al., 2008).

A realização de práticas agrícolas que forneçam matéria orgânica para o solo, é uma das formas de contribuição para aumentar a fertilidade do mesmo. Com a elevação dos custos de adubação mineral, os resíduos orgânicos produzidos pela indústria, pelas cidades, ou pelo meio rural agrícola, passaram a ter maior importância como materiais recicláveis e reutilizáveis para melhorar as condições do solo e aumentar o nível de fertilidade do mesmo (Primo; Menezes; Silva, 2011).

A gama de resíduos de origem agrícola ou industrial nas formas pastosa, sólida ou líquida, tem despertado o interesse do seu uso com base nos teores de carbono e compostos orgânicos, na capacidade de troca catiônica e na neutralização da acidez, contribuindo para o incremento na produtividade e qualidade dos produtos (Abreu Júnior et al., 2005).

Muitos resíduos de diferentes atividades agrícolas, não recebem destinos apropriados e passam a compreender problemas ambientais. O aproveitamento desses resíduos, contribui tanto para boas condições da qualidade do solo, como para o meio ambiente (El-Hendawy, 2005). Assim, com o uso da pirólise para o aproveitamento da biomassa e outros resíduos orgânicos, três grandes benefícios são alcançados: produção de energia, manejo de resíduos e amenização da poluição ambiental (Lehmann e Joseph, 2009).

Na decomposição térmica da biomassa, os produtos sólidos formados compreendem diversos compostos de carbono. De acordo com a temperatura que a biomassa é submetida, os sólidos produzidos podem variar de levemente alterados a completamente carbonizados, de amorfos a cristalinos, de partículas coloidais a grandes, restando nenhuma ou poucas evidências do material de origem (Keiluweit et al., 2010).

Nesse contexto, várias pesquisas recentes têm dado ênfase a produção e uso dos resíduos orgânicos convertidos em carvão pirolisado, como é o caso do biocarvão, que quando incorporado ao solo, pode alterar as propriedades físicas, químicas e biológicas, de forma a criar um ambiente propício para o bom desenvolvimento das plantas (Petter e Madari, 2012). O biocarvão quando incorporado ao solo, pode aumentar a sua porosidade (maior desenvolvimento radicular), aeração e capacidade de retenção de água e de nutrientes (Zanetti, et al., 2003; Lehmann e Stephen, 2009; Novotny et al., 2009).

## **2.2 Terra preta de índio (TPI)**

A ideia do biocarvão (BC) originou-se da Bacia Amazônica, onde populações pré-colombianas depositavam no solo, material residual da queima da biomassa, originando sítios arqueológicos na região ricos em matéria orgânica (Lehmann et al., 2006). Estes solos antropogênicos foram denominados “Terra Preta de Índio” (TPI). Presume-se que estas manchas negras tenham idades que variam de 500 a 7000 anos, definidas a partir do método de datação por radiocarbono, evidenciando sua longevidade no solo (LAL, 2009).

O nome destes horizontes de solo é atribuído à coloração escura (Terra Preta) dos horizontes superficiais, denominados *A antrópico*, no Sistema Brasileiro de Classificação de

Solos (SiBCS) (Embrapa, 2013). Estudos também tem verificado que algumas TPI contrastam mineralogicamente com os solos do entorno por apresentarem minerais neoformados por aquecimento ou liberados dos fragmentos cerâmicos (Macedo, 2013; Costa et al., 2004).

Esses solos possuem alto teor de matéria orgânica (MO) e nutrientes, como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e cálcio (Ca) (Cunha et al, 2009). O acúmulo desses nutrientes, provavelmente contribuíram de forma decisiva para a formação desses solos férteis, que apresentam maiores valores de: pH, Ca, Mg, P, Capacidade Troca Catiônica (CTC) e saturação de bases (V%), em relação aos solos adjacentes.

Vários estudos com TPIs têm sido realizados, a fim de realizar a devida caracterização em suas estruturas moleculares. Porém existe uma carência em nível molecular e suas relações com a formação destes solos. Alguns destes, já mostraram que a estabilidade da MO se dá pela presença de muitos compostos aromáticos, que consistem em anéis de seis átomos de carbono ligados entre si, sem oxigênio (O) ou hidrogênio (H) (*Black Carbon*) (Novotny, 2009; Glaser, 2007).

Esses solos têm conteúdo de carbono de até  $150 \text{ g kg}^{-1}$  de solo, enquanto que os solos adjacentes esses valores são de apenas 20 a  $30 \text{ g kg}^{-1}$  (Sombroek *et al.*, 1993; Woods e McCann, 1999; Glaser *et al.*, 2001). Adicionalmente, a camada enriquecida de carbono pode ser de até 200 cm, com média de 40-50 cm, enquanto que nos solos adjacentes se limita aos primeiros 10-20 cm.

Esta distribuição do carbono no solo depende de vários fatores, variando com o tipo do solo, o relevo, a cobertura ou uso do solo, as condições climáticas, a vegetação natural predominante na área, as práticas de uso e manejo do solo, entre outros. Assim, o estoque de carbono nas Terras Pretas de Índios pode ter uma ordem de magnitude maior e ser até seis vezes mais estável que nos solos adjacentes. Esse carbono adicional está principalmente na forma de carbono pirogênico (Glaser *et al.*, 2001).

Os solos de TPI caracterizam-se por sua matéria orgânica possuir um maior tempo de resiliência, sendo dispensada a utilização de insumos, mesmo quando submetidos a anos de atividades agrícolas. Além disso, o conteúdo de elementos químicos parece não ter reduzido mesmo em condição de floresta tropical, com intensas precipitações, o que contrasta com a maioria dos solos muito intemperizados típicos presentes na região Amazônica (Glaser; Birk, 2012).

Evidências arqueológicas e de datação  $^{14}\text{C}$  mostraram que as TPI foram formadas pelos habitantes pré-colombianos, porém não se sabe como ocorreu a formação antrópica (Heckenberger, 1999). Dentro das teorias de formação das TPI, destaca-se a atuação do fogo

como responsável pela estabilidade e reatividade da MO. Acredita-se que durante processo de incineração dos materiais e detritos orgânicos do solo pelos habitantes pré-colombianos, ocorreu um processo de combustão incompleta que resultou na produção de diversos compostos chamados de carbono pirogênico ou *black carbon*, sendo o principal responsável pela estabilidade desses solos (Cunha et al., 2010; Cunha et al., 2005; Glaser et al., 2001; Madari, et al., 2009). A estabilidade da MO da TPI é devido a elevada contribuição dos carvões presentes nesses solos (Madari et al., 2009; Cunha et al., 2009).

O estudo sobre o efeito que o biocarvão exerce sobre a MO e P em agroecossistemas brasileiros é um tema estratégico para melhoria da agricultura em ecossistemas tropicais ainda na recuperação de solos degradados. Alguns desses estudos em TPI tem demonstrado que aproximadamente 35 a 45% do seu carbono encontra-se na forma pirogênica, o que o diferencia daquele presente no solo não antrópico, com cerca de apenas 14%, sendo que 50 a 60% deste total encontram-se na fração leve da MO (Glaser et al., 2000; Cunha et al., 2007).

O manejo antropogênico formou uma MO de alta qualidade bastante humificada, responsável pelos níveis elevados de fertilidade, com solos ricos em P, C-org,  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$ , sendo a fração humina (HU) relacionada com a alta fertilidade da TPI (Cunha et al, 2007 e 2009). Uma pergunta recorrente está ligada à influência que o carbono pirogênico exerce sobre as propriedades físicas do solo. Por um lado, o carvão, devido à sua porosidade, e conseqüentemente à sua elevada área superficial ( $200-400 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , Kishimoto; Sugiura, 1985), pode significativamente aumentar a capacidade de retenção de água, especialmente em solos de textura arenosa, contudo, a estrutura aromática, que tem características hidrofóbicas, pode reduzir a penetração de água nos espaços porosos de agregados do solo, aumentando, assim, a estabilidade dos agregados (Glaser et al., 2002).

Apesar do carbono pirogênico ser considerado inerte e pouco susceptível à decomposição, com o decorrer do tempo o mesmo pode sofrer degradação e transformação no solo onde, após uma parcial oxidação biótica ou abiótica, grupos carboxílicos associados às estruturas aromáticas e poliaromáticas são novamente produzidos, aumentando assim a sua reatividade e capacidade de troca de cátions (Glaser et al., 2001; Novotny et al., 2007; Madari et al., 2009). Vale ressaltar que a estrutura interna, reatividade e hidrofobicidade do carbono pirogênico dependem do material de origem a ser carbonizado, da temperatura, do tempo da queima, da umidade do material e da disponibilidade de oxigênio, fatores esses que configuram a suas condições de formação (Cunha et al., 2009; Knicker, 2011)

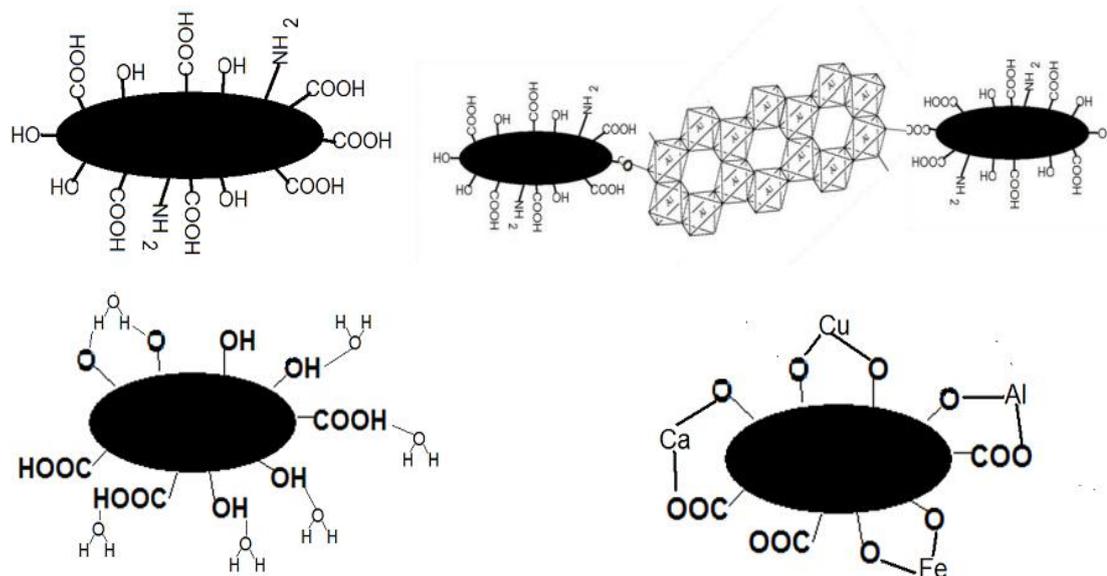
### 2.2.1 Biocarvão no Solo

O termo carbono pirogênico, a qual deriva o biochar, descreve o mais inerte (grafítico) componente da matéria orgânica, e o termo carvão é usado para descrever uma grande variedade de materiais orgânicos de coloração preta e altamente aromáticos formados durante a combustão, mas que não precisam ter a estrutura grafítica (Smernik et al., 2000). O processo de pirólise é semelhante ao processo de produção de carvão vegetal. No entanto, biocarvão distingue de carvão vegetal (aromáticos) e outros materiais semelhantes, uma vez que é produzido intencionalmente para ser aplicado ao solo. No solo, o carbono pirogênico é uma das frações com a maior média de vida dentre todas as frações contendo carbono (Pessenda et al., 2004).

Nessa definição é importante acrescentar, que podem ser considerados como precursores do carbono pirogênico, todos os materiais orgânicos, sintéticos ou naturais, por conseguinte, tanto carvão, grafite e fuligem de materiais. Sendo essa última, uma forma altamente recalcitrante de carbono orgânico e, assim, embora sofra alguma degradação nos solos (Bird et al., 1999) e no ambiente, sua incorporação neste, é de suma importância para o sequestro de carbono (Schmidt e Noack, 2000; Sombroek et al., 2003).

Em virtude da sua grande área superficial, e fração não carbonizada, o biocarvão se mostra um adsorvente muito eficaz para remoção de contaminantes de solo e água (Tang et al., 2009; Ahmad et al., 2014). Vários tipos de biomassas de baixo custo estão disponíveis como materiais precursores para o preparo de biocarvões, por exemplo, lascas de madeira, esterco animal e resíduos de colheitas como casca de arroz, cascas de frutas e sabugo de milho (Chen; Chen, 2009; Tang et al., 2009).

O biocarvão de boa qualidade apresenta estrutura interna inerte, semelhante o grafite, que faz preservar o carbono no solo por centenas e até milhares de anos, e estrutura periférica (externa) reativa (funcionalizada) para atuar como a matéria orgânica natural do ambiente. Dessas funções destacam-se a estruturação do solo, com ligações químicas entre o biocarvão e estruturas macromoleculares inorgânicas, evitando desmoronamentos de terrenos durante os períodos chuvosos, retendo água da chuva e de irrigação para liberá-la durante períodos secos e retendo íons metálicos, nutrientes de plantas, ou tóxico para elas como, por exemplo, o Al. Uma esquematização do biocarvão e de suas funções no solo é mostrada na Figura 1. (Rezende et al., 2011).



**Figura 1.** (A) Esquemática do biocarvão com estrutura interna inerte e estrutura periférica funcionalizada; (B) estruturando o solo; (C) retendo água; (D) coordenando íons metálicos nutrientes – ou tóxicos – para as plantas.

Fonte: Rezende et al., 2011.

Vários trabalhos mostram a presença de grupos oxigenados na superfície do carvão, através da oxidação com ácidos orgânicos, por exemplo, o ácido nítrico (Mangrich e Vugman, 1990; Piotr et al 2008; Adrián et al., 2009; Jaramilo et al., 2009). Esses grupos oxigenados formam centros adsorventes para moléculas de água, aumentando assim, o caráter hidrofóbico do carvão, e ainda, podem dar origem a sítios ácidos ou básicos na superfície do material carbonoso.

Ainda que o objetivo primário da aplicação de biocarvão no solo seja o estoque de carbono, vários autores relataram efeitos benéficos em aumento de produtividade (Major et al., 2010; Graber et al., 2010; Jeffery et al, 2011; Van Zwieten et al., 2010). Chidumayo (1994) encontrou melhora de 30% na germinação das sementes, de 24% no crescimento e de 13% na produção de biomassa, entre sete tipos de plantas lenhosas nativas, em solos contendo carvão e em solos como os Alfisols e Ultisols sem ação antropogênica.

A aplicação de biocarvão aumenta o pH do solo e, conseqüentemente, diminui a saturação de Al nos solos ácidos, melhorando a produtividade agrícola (Sanchez e Cochrane, 1980), além de ser mais resistente à mineralização quando comparada com a MO do solo (Lehmann, 2007). Apesar do biocarvão não apresentar os grupos carboxílicos importantes para a reatividade no solo e alta capacidade em reter nutrientes, tal como na TPI, é possível a funcionalização desses

materiais por via química (oxidação), biológica (compostagem) ou enzimática. Porém, estudos alertam para a formação de substâncias moderadamente tóxicas, provavelmente relacionado a presença de grupos cloreto de aryl (Petter e Madari, 2012).

Embora seja estável, o BC pode ser significativamente degradado dentro da escala de tempo de décadas ou séculos em solos sob clima subtropical. A meia-vida das partículas carbonizadas com tamanho  $< 2$  mm foi estimada em menos de 50 anos, e a de partículas com  $> 2$  mm em menos de 100 anos (Bird et al., 1999). Os microporos apresentam função mais relacionada à adsorção de gases, enquanto os meso poros estão associados à adsorção de líquidos e compostos sólidos. Já os macroporos, são importantes alimentadores de poros de menor diâmetro, que auxiliam no transporte de moléculas concentradas para os meso e micro poros (Wildman e Derbyshire, 1991).

Pouco se sabe sobre o papel dos microrganismos nas TPI, apesar de haver indícios de que os acréscimos de carbono no solo modificam consideravelmente a comunidade microbiológica. O carvão parece gerar um ambiente propício para a habitação de uma comunidade diversificada e numerosa de microrganismos (Glaser, 2007). Porém, os estudos de identificação de microrganismos presentes nas TPI ainda estão em estágio inicial de desenvolvimento. A atividade biológica dos microrganismos presentes no carvão, indicam que o carvão pode ser utilizado pelas comunidades microbianas do solo diretamente como plataforma de troca de nutrientes (Grossman et al., 2006).

Comunidades microbianas funcionais são importantes para o ciclo biogeoquímico do C e do N nas TPIs, estando intrinsecamente ligadas aos tipos vegetais encontrados, que moldam a diversidade de organismos na rizosfera (Lima, 2012). Estudos apontam que a aplicação de biocarvão na agricultura tem proporcionado resultados positivos, principalmente benefícios no habitat dos microrganismos dos solos (Cunha, 2005).

As pesquisas indicam que o uso do biocarvão tem um potencial global de sequestro de CO<sub>2</sub> atmosférico da escala de bilhões de toneladas ( $10^9$  t ano<sup>-1</sup>) no espaço de 30 anos (Lehmann et al., 2009). Assim, o potencial do biochar como fonte de alguns nutrientes, também varia conforme as características químicas do material (Mukome et al., 2013). Portanto, tem sido proposto como excelente alternativa para melhorar a fertilidade dos solos cultiváveis de baixa fertilidade natural (Novotny et al., 2007; Maia et al., 2011), garantindo maior eficiência de uso dos nutrientes pelas plantas e auxiliando a redução dos gastos com adubações químicas, razão pela qual, o seu uso vem sendo indicado para a elevação da fertilidade do solo e, das reservas presentes tanto de carbono quanto de elementos essenciais para as plantas na sua composição (Nóbrega, 2011).

O uso do biochar é visto como uma tecnologia para o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável. Tal fato pode ser justificado ao levar-se em conta que o uso do biochar pode contribuir para melhorar a produtividade agrícola por sua atividade condicionadora de solo (Lone et al., 2015). Com o aumento da CTC, proporcionada pelo biochar, a capacidade produtiva do solo potencialmente aumenta o que também implica em maior produção de biomassa das culturas e conseqüentemente maior re-incorporação de C novo no solo que, por sua vez, contribuirá diretamente para a manutenção da produtividade do solo (Petter, et al. 2016).

### **2.3 Matéria-prima para pirólise**

Além das diversas matérias-primas que podem ser usadas para produção de biocarvão, os resíduos agrícolas destacam-se como umas das mais comuns devido ao baixo custo em sua utilização (Verheijen et al., 2010). Os produtos obtidos por meio da pirólise podem ter as seguintes aplicações: o carvão obtido pode ser utilizado como combustível, ser aplicado ao solo como um meio de melhorar a produtividade e para armazenamento de carbono, sendo então denominado de biocarvão (Lehmann; Joseph, 2009), ou ainda passar pelo processo de ativação para obtenção de carvão ativado (Meili et al., 2015).

A pirólise é o processo de degradação térmica mais comumente selecionado para a produção de biocarvão (Amonette; Joseph, 2009). Dependendo das condições de operação do processo, a pirólise pode ser classificada em três formas: pirólise lenta, rápida e processo denominando pirólise *flash* (Bahng et al., 2009). A pirólise da biomassa à temperatura máxima de 700 °C, e com baixa ou zero concentração de O<sub>2</sub>, tende a incrementar a estabilidade de C no biocarvão produzido, em comparação à biomassa original (Lehmann et al., 2006).

Diversos trabalhos de pesquisa tentam verificar a influencia da temperatura e da escolha da matéria-prima nas propriedades do produto final para possibilitar melhorias na engenharia de sua produção, além de obter o biochar com características pré-definidas. A composição química da biomassa, também tem um papel importante na distribuição dos produtos da pirólise. Assim, cada material exibe uma característica particular quando é pirolisado, em decorrência da proporção dos componentes que os constituem (Santos, 2011).

Algumas biomassas lignocelulósicas frequentemente tem sido utilizadas na produção de biocarvão, devido à grandes discussões a respeito dos impactos ambientais gerados pelo descarte inadequado desses resíduos, e seu acúmulo no meio ambiente (Meili et al., 2015).

Assim, o licuri ou ouricuri, *Syagrus coronata* (Mart) Becc., uma palmeira que tem distribuição no norte de Minas Gerais, na Bahia, Pernambuco, Sergipe e Alagoas, onde possui uma diversidade de usos, se caracteriza predominantemente ao aproveitamento de sua amêndoa, desde a alimentação do homem, até o seu uso como combustível (Rufino et al. 2008). Podendo também ser utilizado na produção de biocarvão pirolisado.

A aplicação do biocarvão deve representar alternativa mais efetiva para o sequestro de C em sistemas agrícolas. Sendo que os produtos obtidos por meio da pirólise, podem ter aplicações como forma de combustível, ser aplicado ao solo como um meio de melhorar a produtividade e para armazenamento de carbono. Entretanto, permanecem dúvidas acerca da influência do biocarvão sobre a dinâmica da matéria orgânica original do solo (Steinbeiss et al., 2009).

#### **2.4 A cultura do feijão comum**

A cultura do feijão, é uma das mais importantes culturas para os agricultores da América Latina. No Brasil, o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos produtos agrícolas de maior importância socioeconômica, principalmente, pelo fato de ser uma das fontes primordiais de proteína e energia na alimentação da maior parte da população (Oliveira, 2005). O Brasil tem ocupado nos últimos anos, o primeiro lugar na produção e consumo mundial de feijão comum (*P. vulgaris* L.).

A produtividade do feijoeiro estima-se em 3.151,2 mil toneladas atualmente, sendo o plantio realizado em praticamente todo ano. Contudo, o Nordeste apresenta uma produção de 575,7 mil toneladas, representando uma produtividade de 387 Kg ha<sup>-1</sup>. A produtividade da cultura cresceu 25% na última década, passando de 822 Kg ha<sup>-1</sup> na safra de 2005/2006 para 1058 Kg ha<sup>-1</sup> na safra de 2014/2015 (Conab, 2015).

O feijão é uma das principais culturas de subsistência da região Nordeste do Brasil, integrando a dieta das populações de baixa renda que residem na zona rural (Granjeiro et al., 2005). O ciclo vegetativo do feijoeiro varia entre 75 e 110 dias, dependendo da latitude e altitude (Kluthcouski et al., 2009). De acordo com Vieira et al. (2006) essa leguminosa é considerada uma planta muito exigente em condições climáticas, tendo seu desenvolvimento e produção diretamente afetada pelas temperaturas e índices pluviométricos extremos.

O feijoeiro também é considerado uma planta exigente em nutrientes, em função do sistema radicular superficial e do ciclo curto. A cultivar BRS Agreste apresenta ciclo semi-

precoce com 75 a 85 dias da emergência à completa maturação, cor da flor branca, cor da vagem na maturação amarelo levemente avermelhada e cor do grão bege sem brilho. Possui uniformidade de coloração e de tamanho de grão, massa média de 100 grãos de 25 gramas e tempo médio de cozimento de 32 minutos (Melo et al., 2008).

Deste modo, é necessário para a cultura manifestar seu potencial produtivo, que a fertilidade dos solos de cultivo esteja em equilíbrio químico, e que os elementos essenciais estejam disponíveis no solo para serem absorvidos. Contudo, a utilização dos insumos alternativos na agricultura, para elevar os níveis de produtividade das culturas, a exemplo do biocarvão como condicionador de solos, surge como aliado para melhorar as condições de solos de baixa fertilidade, como é o caso dos solos brasileiros.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, Campus Delza Gitaí, Km 85, Rio Largo – AL, situada a 9° e 29’45” de latitude sul, 35° e 49’54” de longitude oeste e 165 m de altitude. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, de textura média/argilosa na profundidade de 0 a 20 cm, coletado em região de zona rural no município de Anadia - AL. Antes da implantação do experimento, determinaram-se as características químicas e físicas do solo (**Tabela 1**), seguindo a metodologia da Embrapa (2009). Na ocasião, foi realizada uma adubação mineral de base com NPK nas dosagens de 20, 80, e 40 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, de acordo com a recomendação para a cultura do feijão, conforme o Boletim de Recomendação de Corretivos e Fertilizantes para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008). Após a adubação do solo em estudo, o mesmo apresentou as seguintes características descritas na **Tabela 1**.

**Tabela 1.** Análise química e física de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, de textura média/argilosa na profundidade de 0 a 20 cm, coletado em região de zona rural no município de Anadia – AL.

pH (H <sub>2</sub> O)	-----Atributos Químicos -----									---- Atributos Físicos ----			
	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V	MO	Areia	Silte	Argila
	---- (mg dm <sup>-3</sup> ) ----			----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----					(%)	(g kg <sup>-1</sup> )	-----g kg <sup>-1</sup> -----		
5,7	5,0	56,0	24	1,40	1,0	0,68	6,80	8,30	28	18,60	310	100	410

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 4, com 4 repetições. Os fatores foram compostos pela combinação de quatro faixas granulométricas (**Tabela 2/Figura 2**), e quatro doses de biocarvão equivalentes à 8, 16, 24 e 32 Mg ha<sup>-1</sup>. Na ocasião, foi adicionado um tratamento controle sem biocarvão.

**Tabela 2.** Faixas granulométricas de biocarvão de Ouricuri utilizados para incorporação no solo.

Tratamento	Malha da Peneira	
	Mesh	mm
G1	12	1,68
G2	16	1,19
G3	20	0,84
G4	35	0,42

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.



**Figura 2.** Faixas granulométricas de biocarvão após o processo de peneiramento em laboratório.

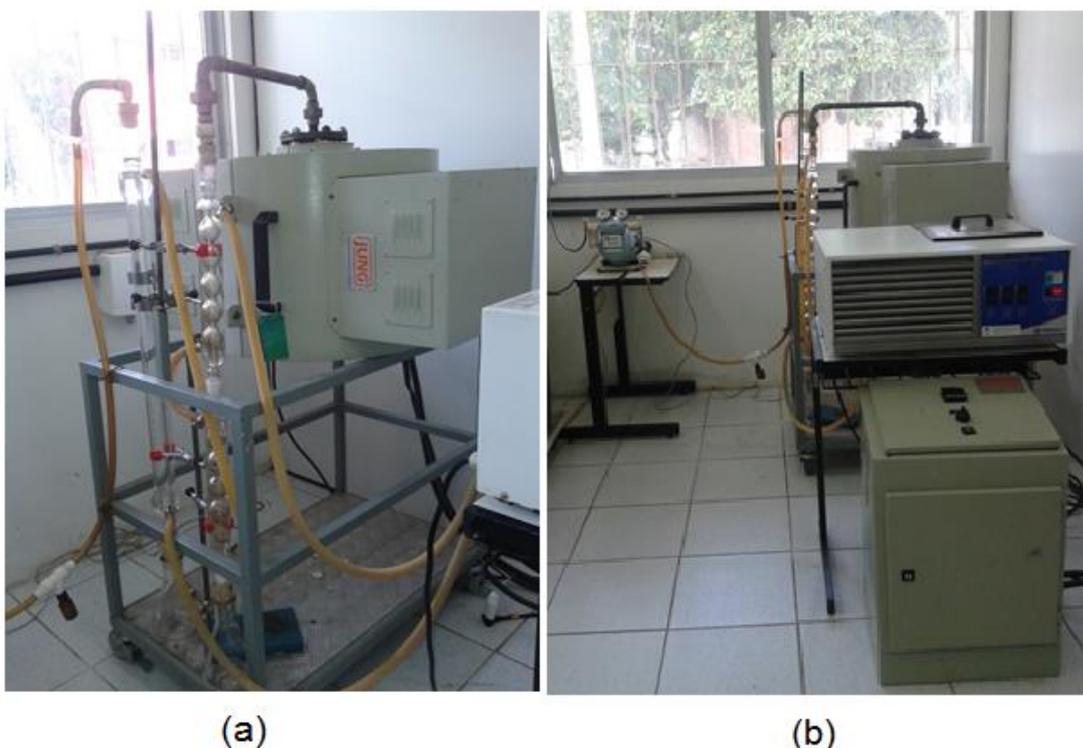
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

O biocarvão utilizado foi produzido por carbonização a 500 °C, com taxa de aquecimento de 20 °C min<sup>-1</sup>, a partir de amostras do endocarpo do fruto do ouricuri *Syagrus coronata* (Mart) Becc.), no Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos – LASSOP, do Centro de Tecnologia – CETEC, da Universidade Federal de Alagoas - UFAL. As amostras

compostas pelo endocarpo com o restante do fruto (amêndoas) foram moídas inicialmente em um moinho de rolo, antes da pirólise, para a limpeza deixando-se apenas o endocarpo.

O sistema experimental utilizado para realização das pirólises é composto por um forno tubular Jung modelo LT6 2010, com um programador de tempo e temperatura J200 (**Figura 3B**). 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 3A**), encontra-se ligado a um compressor/aspirador FANEM modelo 089-Cal com vazão volumétrica máxima de 0,024 m<sup>3</sup>/min e potência de 550 W. Para a refrigeração dos condensadores foi utilizado um banho termostatzado TECNAL modelo TE – 184. Os gases incondensáveis resultantes da pirólise foram liberados para um recipiente contendo água, evitando assim seu lançamento direto na atmosfera e permitindo que parte ficasse retido.

As misturas de solo e biocarvão foram colocadas em vasos de polietileno com 26 cm de diâmetro e capacidade para 10 dm<sup>3</sup>, os quais possuíam orifício para drenagem no fundo revestido com Tecido de Polipropileno. As pesagens foram feitas com balança para 20 kg com resolução de 5 g. Os vasos foram preenchidos com a mistura de solo com cada tratamento correspondente do biocarvão e mantidos em casa de vegetação, para a realização de plantio posteriormente.



**Figura 3.** (A) Sistema de condensação; (B) forno experimental para realização da pirólise.

As amostras do biocarvão foram submetidas à análise elementar e encontram-se na **Tabela 3**. As análises foram realizadas pelo Laboratório de Recursos Analíticos e de Calibração (LRCA) da Faculdade de Engenharia Química (FEQ) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). O equipamento utilizado foi um analisador elementar de carbono, nitrogênio, hidrogênio e enxofre modelo *Vario MACRO Cube*.

**Tabela 3.** Composição elementar do endocarpo<sup>b</sup> de frutos de ouricuri.

Carbono <sup>a</sup>	Hidrogênio	Oxigênio + cinzas <sup>c</sup>	Nitrogênio	Enxofre
82,14	3,35	13,41	0,95	0,15

(a) - Porcentagem em massa; (b) - Base seca; (c) - Obtido por diferença.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Realizou-se a análise química do biocarvão através da análise de espectrometria por energia dispersiva de raios-X (EDX) representada na **Tabela 4**. A análise foi realizada em um equipamento Shimadzu modelo EDX 800HS no Laboratório de Microscopia de Varredura Eletrônica (SEM) do Grupo de Óptica e Nanoscopia da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

**Tabela 4.** Análise química do biocarvão de ouricuri produzido a 500 °C.

pH	K	Ca	Mg	P	S	Fe	Zn	Cu	Al
(H <sub>2</sub> O)	----- (%) -----								
7,6	61,21	8,22	-	10,01	3,84	3,89	1,66	2,11	-

(a) – Porcentagem em massa.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Realizou-se Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de amostras de biocarvão no Laboratório de Microscopia de Varredura Eletrônica (SEM) do Grupo de Óptica e Nanoscopia da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Utilizou-se o microscópio eletrônico de varredura Shimadzu, modelo SSX-550 Superscan (resolução nominal 500x e voltagem de aceleração do feixe 5.0 kV).

Na ocasião do estudo, foram semeadas quatro sementes por vaso, de feijão comum (*P. vulgaris* L.) cv. BRS Agreste, sendo que aos 10 dias após a semeadura (DAS) foi realizado o desbaste das plântulas menos vigorosas, deixando-se apenas uma planta por vaso. O controle

fitossanitário de pragas, preventivo, foi realizado com uso de extrato de nim (*Azadirachta indica*) a 2% (v/v), em três aplicações antes da época de florescimento (R6) com intervalo de 7 dias.

Durante o desenvolvimento da cultura do feijão, manteve-se a umidade do solo em torno de 70% da capacidade de campo (CC), irrigando-se diariamente de acordo com a necessidade hídrica da cultura. A capacidade de campo do solo foi determinada utilizando-se uma proveta graduada, um funil de vidro com papel de filtro previamente umedecido, e 100 g de solo. Inicialmente pesou-se a amostra de solo (seco a 60 °C até peso constante), e transferiu para o funil de vidro. Em seguida, adicionou-se 200 mL de água destilada ao solo contido no funil, até a saturação, anotando o volume de água percolada. A CC foi dada pela diferença entre a água adicionada e a percolada.

Aos oitenta dias (DAS), em plena maturação de colheita (R9), foram colhidas todas as parcelas do experimento para análises posteriores. Após isso, as amostras de solo foram coletadas e destorroadas, passando em peneira de 2,0 mm de malha, retirando-se as raízes e resíduos visíveis de plantas e organismos do solo. As amostras de solo foram acondicionadas em sacos de papel e mantidas em estufa de circulação forçada a 105 °C por 48h até sua secagem total.

Procedeu-se as análises químicas do solo no laboratório de fertilidade do solo e nutrição de plantas (CECA/UFAL), onde foi determinado o pH em solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01M por potenciometria (pHmetro), determinados na suspensão do solo após agitação e decantação. Após a leitura foram adicionados 5 mL da solução SMP para a determinação do pH SMP em potenciometria (pHmetro) determinado na suspensão do solo após agitação e decantação. Com as leituras do pH SMP obteve-se o valor da acidez potencial (H+Al). O método utilizado para quantificar a matéria orgânica do solo foi o Walkley-Black (dicromato de potássio), com oxidação pelo dicromato de potássio 1 mol L<sup>-1</sup> em meio sulfúrico e titulação pelo sulfato ferroso. Para obtenção dos teores de P no solo, utilizou-se o método de Mehlich <sup>-1</sup> HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>, por espectrofotometria, o K por fotometria de chama.

A extração de Ca<sup>2+</sup>, 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 Mol L<sup>-1</sup>. 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 Mol L<sup>-1</sup> e a determinação de Mg<sup>2+</sup> foi feita a partir da diferença

entre a determinação  $\text{Ca}^{2+}$  e de  $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ . 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 N.

Na ocasião, determinou-se o número de folhas por planta (NF), o diâmetro do coleto (DC), expresso em mm, utilizando-se um paquímetro com precisão de 0,01mm. As plantas foram cortadas rente ao solo separando-se a parte aérea do sistema radicular, o qual foram medidos o peso seco da parte aérea (PSA), e peso seco de raízes (PSR), expressas em gramas, obtidos através da secagem da parte aérea e dos grãos em estufa de ar com circulação forçada, à uma temperatura de 60 °C até peso constante, e matéria seca total, expressa em gramas.

As sementes forneceram o rendimento final após a debulha manual (corrigindo sua umidade para 13% e transformando os dados para  $\text{kg ha}^{-1}$ ). Foram determinados o número médio de vagens por planta (NVP), obtido pela razão entre o número total de vagens e o número de plantas da parcela; o peso de vagens por planta (PVP), expresso em g; o número médio de grãos por planta (NGP), avaliado pela relação número total de grãos/número de plantas; número de grãos/vagem (NGV), obtido pela relação número total de grãos/número total de vagens; relação da massa de 100 grãos de plantas (r100), tomando-se ao acaso as amostras de sementes.

As amostras de solo foram coletadas e destorroadas, passando em peneira de 2,0 mm de malha, retirando-se as raízes e resíduos visíveis de plantas e organismos do solo. As amostras de solo 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 ( $C_{mic}$ ), e respiração basal do solo (RBS).

As análises biológicas do solo foram determinadas no laboratório de microbiologia geral do CECA/UFAL. Para a determinação do carbono orgânico total (COT) utilizou-se o método Walkley-Black modificado. Inicialmente pesou-se 0,5 g de solo. Em seguida, o solo foi transferido para um erlenmeyer 250 mL. Adicionaram-se 10 mL da solução de bicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  a  $0,2 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado), aquecendo em placa elétrica até fervura branda por 5 min, deixando-se esfriar. Após, adicionaram-se 80 mL de água destilada, 1 mL de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  concentrado e 3 gotas do indicador difenilamina a  $10 \text{ g L}^{-1}$ , seguido de titulação com solução de sulfato ferroso amoniacal ( $(\text{NH}_4)_2\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$   $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ ) até a passagem da cor violeta para verde, quando o excesso de dicromato é totalmente consumido pela reação. Fez-se o mesmo procedimento para a prova em branco (Embrapa, 2009).

O carbono microbiano ( $C_{mic}$ ) foi determinado pelo processo de irradiação-extração, pelo método descrito por Mendonça e Matos (2005) e quantificado conforme Bartlett e Ross (1988). Para a extração utilizou-se um forno microondas modelo Home Leader de potência igual a 700 W e frequência de 2.450 MHz, conforme método descrito por Islam e Weil (1998) e Ferreira et

al. (1999). O extrator utilizado foi  $K_2SO_4$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  e o C contido nos extratos foi quantificado por meio de oxidação via úmida (Yeomans e Bremner, 1998) sem aquecimento externo. O fator de conversão ( $K_c$ ) usado para converter o fluxo de C para C da biomassa microbiana foi de 0,33 (Sparling e West, 1988). Os teores de  $C_{mic}$  foram expressos com base na massa de solo seco em estufa a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ , por 24 h.

A respiração microbiana do solo (RMS) ou atividade microbiana das amostras de solo foi avaliada por meio do desprendimento do  $CO_2$  capturado em solução de NaOH  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , segundo a metodologia de Alef (1995). Para isso, sub-amostras de 50 g de TFSA (terra fina seca ao ar) a 70% da capacidade de campo foram transferidas para frascos com capacidade de 2 L, com fechamento hermético, contendo em seu interior outro frasco com 30 mL de NaOH  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  para a captura do  $CO_2$  desprendido sob incubação de 48h.

Após incubação, o  $CO_2$  capturado foi precipitado como  $BaCO_3$ , após a adição de 10 mL  $L^{-1}$  de  $BaCl_2$   $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  e o excesso de NaOH foi titulado com solução de HCl  $0,25 \text{ mol L}^{-1}$  na presença de fenolftaleína 0,1 %. A taxa de evolução do  $CO_2$  de cada amostra foi expressa em  $\text{mg } CO_2 \text{ g}^{-1} \text{ solo dia}^{-1}$ . A taxa de evolução do  $CO_2$  é calculada pela seguinte fórmula:  $C-CO_2(\text{mg})=(V_0-V) \times M \times 6 \times (v_1/v_2)$ . Em que:  $V_0$ =volume do HCl gasto no branco (mL);  $V$ =volume de HCl gasto na amostra (mL);  $M$ =concentração real do HCl ( $\text{mol L}^{-1}$ ); 6= massa atômica do carbono (<sup>12</sup>) dividido pelo número de mols de  $CO_2$  que reagem com o NaOH (2);  $v_1$ =volume total de NaOH usado na captura do  $CO_2$  (mL);  $v_2$ =volume de NaOH usado na titulação (mL).

Os resultados das avaliações foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F ( $p < 0,05$ ), e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Para as variáveis quantitativas foram ajustadas equações de regressão, utilizando-se o software ASSISTAT versão 7.7.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise química do solo estão representados na **Tabela 5**. Constatou-se que para os dados obtidos, houve diferença estatística para os teores de pH, Fósforo, Potássio, Hidrogênio + Alumínio (H+Al), Cálcio, Capacidade de Troca Catiônica (CTC), e Saturação de Bases (V%), com a adição de biocarvão de ouricuri no solo aos 80 dias após a aplicação (DAA). No entanto, para os teores de Al, Soma de Bases (SB), Cálcio + Magnésio (Ca + Mg) e Mg, não se observou diferença estatística com o uso do biocarvão.

Na **Tabela 5**, verificamos que os valores de pH das amostras de biocarvão mantiveram-se acima de 7 (alcalino), o que provavelmente manteve influência na adsorção de Al, e ausência de toxidez no solo. Para os valores de SB e Mg, os resultados não significativos ocorreram, provavelmente, devido a ausência deste elemento na composição química do biocarvão de ouricuri (**Tabela 4**), o qual influenciou os valores de SB não significativos observados nesse estudo. Em outros trabalhos, autores como Van Zwieten e colaboradores (2010), utilizando biocarvão de outras matérias-primas como lodo de esgoto, e de resíduo de fábrica de papel, observaram um aumento nos teores de elementos como Ca e Mg, em Ferralsol na Austrália com adição do equivalente a 10 Mg ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 5.** Resumo de análise de variância para os teores de pH, Fósforo (P), Potássio (K), Hidrogênio + Alumínio (H+Al), Cálcio (Ca), Capacidade de Troca Catiônica (CTC), e Saturação de Bases (V%), de solo submetido a diferentes granulometrias e doses de biocarvão.

CV	Quadro de análise de variância							
	GL	Quadrados médios						
		pH (H <sub>2</sub> O)	P ----- (mg dm <sup>-3</sup> ) -----	K	H+Al	Ca ----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----	CTC	V (%)
Granulometrias	3	0.07 <sup>ns</sup>	63.30 <sup>ns</sup>	527.43 <sup>ns</sup>	0.29 <sup>ns</sup>	0.26 <sup>*</sup>	0.80 <sup>ns</sup>	51.54 <sup>ns</sup>
Doses de biochar	(3)	0.23 <sup>-</sup>	1916.43 <sup>-</sup>	3962.35 <sup>-</sup>	2.29 <sup>--</sup>	0.11 <sup>--</sup>	3.92 <sup>--</sup>	120.91 <sup>--</sup>
Reg. Linear	1	0.19 <sup>ns</sup>	4906.27 <sup>**</sup>	11809.80 <sup>**</sup>	6.83 <sup>**</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	11.21 <sup>**</sup>	4.89 <sup>ns</sup>
Reg. Quadrática	1	0.01 <sup>ns</sup>	582.01 <sup>*</sup>	5.06 <sup>ns</sup>	0.00 <sup>*</sup>	0.20 <sup>ns</sup>	0.12 <sup>ns</sup>	9.42 <sup>*</sup>
Reg. Cúbica	1	0.50 <sup>ns</sup>	261.00 <sup>ns</sup>	72.20 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	0.13 <sup>ns</sup>	0.42 <sup>ns</sup>	1.25 <sup>ns</sup>
G x D	9	0.07 <sup>ns</sup>	54.97 <sup>ns</sup>	351.17 <sup>ns</sup>	0.14 <sup>ns</sup>	0.11 <sup>ns</sup>	0.43 <sup>ns</sup>	29.59 <sup>ns</sup>
Fatorial x TC <sup>1</sup>	1	1.00 <sup>**</sup>	622.54 <sup>**</sup>	3325.00 <sup>**</sup>	2.60 <sup>**</sup>	0.35 <sup>ns</sup>	2.59 <sup>**</sup>	127.19 <sup>ns</sup>
Resíduo	51	0.10	82.26	249.66	0.32	0.09	0.32	41.34
CV (%)		4.77	33.11	12.25	21.14	11.49	6.79	9.50

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

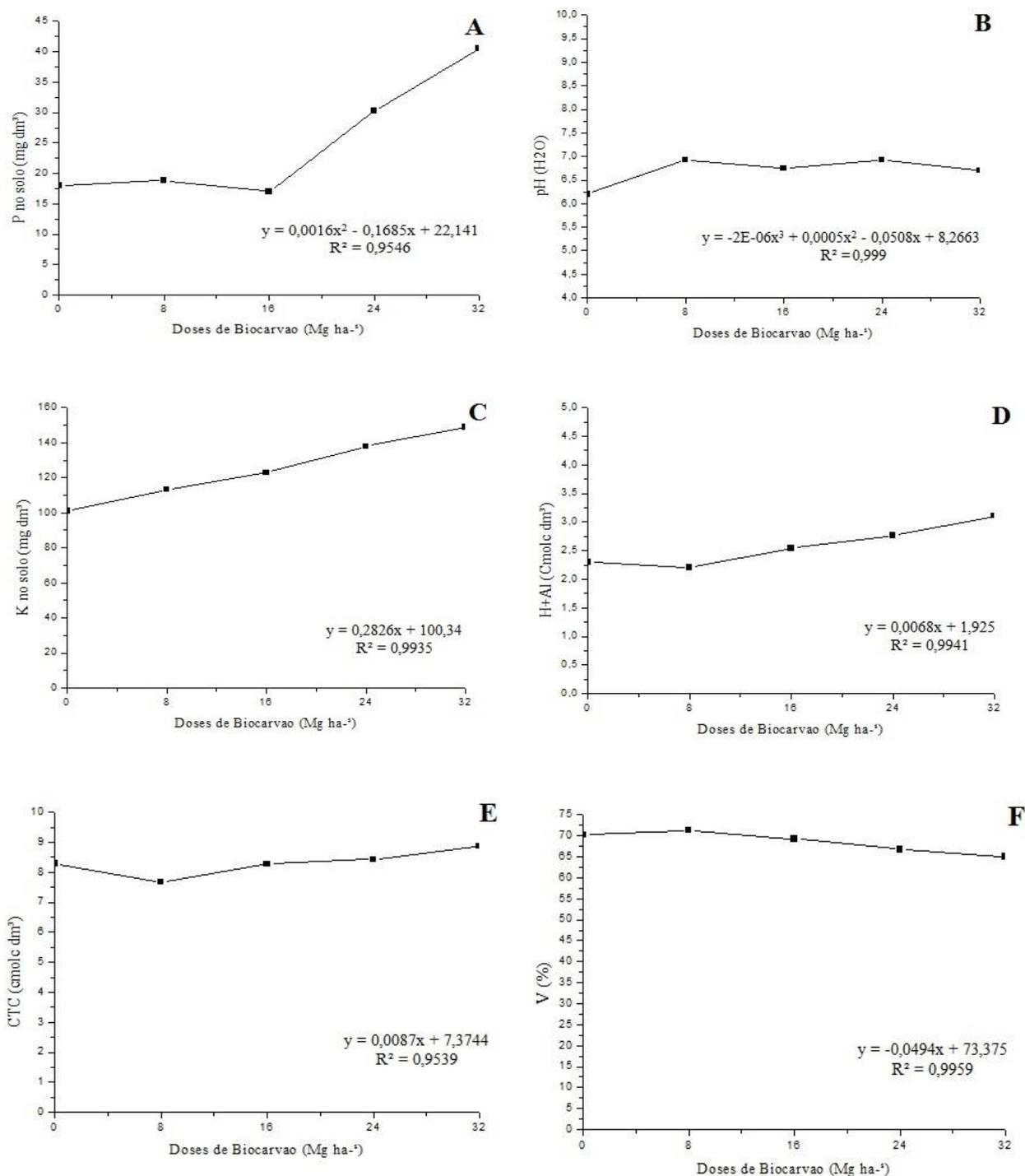
Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Houve influência das doses de biocarvão no crescimento do teor de P no solo, que variou entre 18.81 mg dm<sup>-3</sup> na dose de 8 Mg ha<sup>-1</sup>, para 40,5 mg dm<sup>-3</sup> com a aplicação de 32 Mg ha<sup>-1</sup> de biocarvão de ouricuri. Resultados que se mostraram significativamente superiores ( $p < 0,05$ ) ao tratamento controle (18.10 mg dm<sup>-3</sup>) (**Figura 4A**). O P pode estar ligado ao biocarvão através de adsorção física (van der waals), sendo uma força de baixa magnitude, permite a fácil troca do P com a solução do solo e por esse motivo a adsorção ao biocarvão não provoca processo de fixação, diferente das caulinitas e dos óxidos (DeLuca et al., 2009; Gatiboni et al., 2013).

O biocarvão tem a capacidade de adsorver fortemente os íons de ortofosfato (Lehmann, 2007; Falcão et al., 2003), corroborando com os teores encontrados no solo desse estudo. Cui et al. (2011) também observaram que a presença do biocarvão diminuiu a adsorção do P nos óxidos de Fe e Al, aumentando seu poder residual. Na planta, o P desempenha funções de armazenar e transferir energia, através das moléculas fosfáticas (ADP e ATP). Além disso, exerce papel fundamental na fotossíntese, respiração e na divisão celular, sendo também componente de várias proteínas e ácidos nucleicos (Grant et al., 2001; Dechen e Nachtigall, 2007).

A alcalinidade do biocarvão incrementou os valores de pH no solo, verificando-se interação significativa ( $p < 0,01$ ) entre os fatores, que se mantiveram acima de 6,5 e do controle que apresentou 6,25 em seu valor de pH, demonstrando que a adição do biocarvão, independente da dose aplicada, possibilita elevar os níveis de pH no solo (**Figura 4B**). Após a pirólise, o biocarvão pode possuir potencial de poder de neutralização da acidez do solo, por apresentar altos teores de carbonato de cálcio e de magnésio (Van Zwieten et al., 2010).

O pH do solo influencia a taxa de liberação de nutrientes, a solubilidade de todos os materiais no solo e a quantidade de íons armazenados nos sítios de troca. A alta reatividade que o biocarvão possui, ocasionada pela dissociação dos grupos funcionais presentes nas periferias de suas estruturas pode adsorver íons H<sup>+</sup> do solo elevando o pH (Madari *et al.*, 2009). Smebye *et al.*, (2016) mostraram que a aplicação de uma dose de carvão a 10% (m/m) foi capaz de alterar o pH do solo de 4,9 para 8,7. Promovendo uma elevação no pH de 15 vezes com a adição do biocarvão de ouricuri. Dai *et al.*, 2014 inferiram que a aplicação de biocarvão ao solo além de alterar o valor de pH, é capaz de aumentar a faixa de tamponamento do solo. Castellini *et al.*, (2015) ressalva que a obtenção desses benefícios é dependente do tipo de solo e do biocarvão, bem como taxa de aplicação.



**Figura 4.** Características químicas de solo após aplicação de diferentes doses de biocarvão. A - Teores de Fósforo (P); B - Potencial Hidrogeniônico (pH); C - Potássio (K); D - Hidrogênio + Alumínio – (H+Al); E - Capacidade de Troca Catiônica (CTC); F - Saturação de bases – (V%).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

O biocarvão também contribuiu para o aumento dos teores disponíveis de K no solo, que variaram entre 101 mg dm<sup>-3</sup> (controle) e 148,75 mg dm<sup>-3</sup> na dose máxima de 32 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura

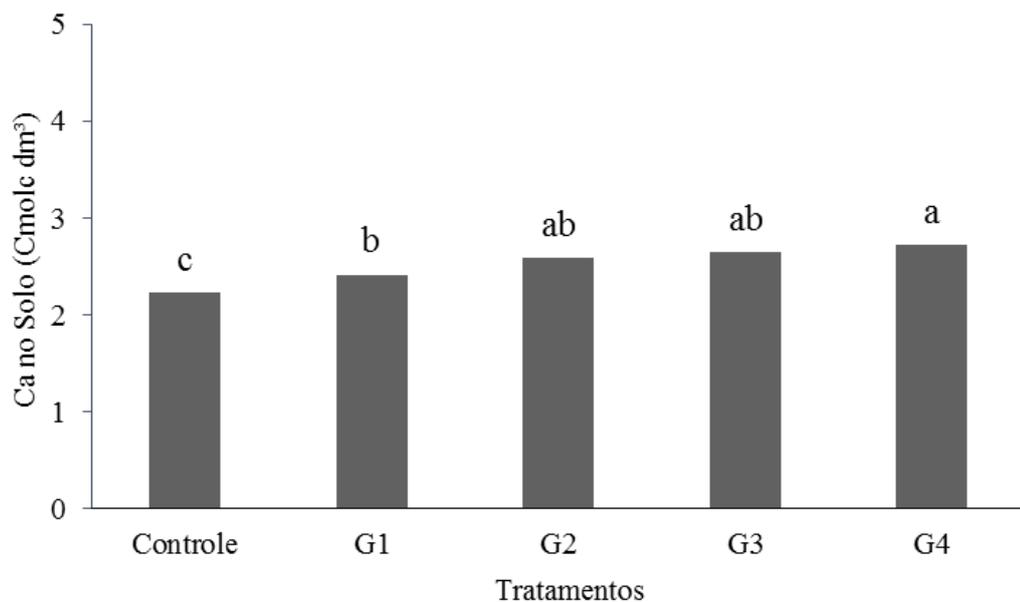
**4C**). Yao et al. (2009), Madari et al. (2006) e Oguntunde et al. (2004) também observaram incrementos no teor de K no solo com a aplicação de biochar. Steiner (2004) afirma que grande parte das cinzas de biocarvão é rica em potássio na sua constituição, dependendo de qual parte do material vegetal foi carbonizado. De acordo com Petter (2010), o biochar contribui para uma maior absorção de nutrientes, principalmente em função das superfícies reativas nas bordas das estruturas aromáticas dos poros do biocarvão. Essa característica do biocarvão eleva as concentrações de bases e conseqüentemente reduz a acidez no substrato. Todavia, acredita-se que esse aumento nos teores de K no solo é decorrente da presença desse nutriente no biocarvão (**Tabela 4**), o que nos mostra que esse aumento ocorreu em doses iguais ou superiores a 8 Mg ha<sup>-1</sup>.

No entanto, observou-se um aumento na acidez potencial (H+Al) à medida que se aumenta as dosagens de biocarvão no solo (**Figura 4D**). Esse aumento nos valores de acidez potencial, possivelmente ocorreu devido a um efeito de dissolução de nutrientes na solução do solo, onde a maior retenção de nutrientes pelas estruturas de superfície do carvão levaria a um aumento na absorção de nutrientes e maiores disponibilidades de sítios reativos na superfície das argilas para se ligarem a H e Al (Rondon et al. 2006).

A aplicação de doses crescentes de biocarvão, possibilitou um aumento nos valores de CTC no solo, apresentando teores de 8,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup> para o controle, até 9,0 na dose de 32 Mg ha<sup>-1</sup> (**Figura 4E**). Liang *et al.*, (2006) citam duas razões para uma elevada eficiência do biocarvão em reter nutrientes, a primeira é atribuída pelo carvão pirogênico apresentar maior densidade de carga negativa por unidade de área superficial e conseqüentemente uma maior densidade de carga, e a segunda em que os nutrientes são presos através de forças físicas nos poros finos dos materiais carbonizados e, ou que a oxidação biológica lenta nas bordas das estruturas aromáticas contribua para a elevação da capacidade de troca de cátions (CTC) (Glaser et al., 2002). No caso do biocarvão, os sítios reativos vão se formando ao longo dos anos ao passo que as partículas são atacadas por microrganismos no solo, alterando as características químicas e físicas de superfície (Cohen-Ofri et al., 2006).

Na adição de doses de biocarvão no solo, um dos indicadores de fertilidade representado pelo índice de saturação de bases (v%), elevou-se de 62,25% (controle) para 71,25 % na dose de 8 Mg ha<sup>-1</sup> (**Figura 4F**), evidenciando melhorias significativas nos aspectos químicos do solo. Entretanto, a medida que se proporcionou um aumento a partir da dose de 8 Mg ha<sup>-1</sup> de biochar, foram obtidos valores de saturação por bases inferiores a 70%. Ainda assim, proporcionando condições que permitem o desenvolvimento da maioria das plantas em solos ácidos como o do Cerrado brasileiro.

A adição de biocarvão também contribuiu para o aumento de Ca no solo. Verificou-se no estudo que, com o aumento das granulometrias de biocarvão, houve uma elevação significativa ( $p < 0,05$ ) de  $2,42 \text{ cmol}_e \text{ dm}^{-3}$  (G1) para  $2,73 \text{ cmol}_e \text{ dm}^{-3}$  (G4) nos teores de Ca no solo. Os resultados da aplicação de biochar de Ouricuri, mostraram-se superiores ao controle ( $2,23 \text{ cmol}_e \text{ dm}^{-3}$ ) (**Figura 5**), demonstrando resultados positivos no aumento de Ca no solo, com a aplicação de biochar de ouricuri. Não foi constatado diferenças significativas entre os fatores doses x granulometrias utilizadas (**Tabela 5**). O aumento de Ca no solo, se deve ao alto teor do elemento no biocarvão de ouricuri (**Tabela 4**). Van Zwieten et al. (2010) também avaliaram dois biocarvões obtidos de resíduo de fábrica de papel, em experimento por dois meses em casa de vegetação, e relataram que o uso em solo ácido elevou o nível de Ca disponível no solo de  $1,23$  para  $8,87 \text{ cmol}_e \text{ kg}^{-1}$ , em comparação ao solo controle.



**Figura 5.** Disponibilidade de Cálcio no solo após aplicação de diferentes faixas granulométricas de biocarvão. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Para os resultados biológicos do solo (**Tabela 6**), com o aumento das dosagens de biocarvão, houve um aumento significativo ( $p < 0,05$ ) de  $175,72$  (controle) para  $256,35 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $32 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) no carbono da biomassa microbiana (Cmic) (**Figura 6A**). Entretanto, verificou-se que quando se comparou a dose 0, com a aplicação da dose  $8 \text{ Mg ha}^{-1}$ , o Cmic manteve o teor

de 107,2 mg kg<sup>-1</sup>, o que demonstra que após a aplicação do biocarvão no solo, houve consumo imediato do C prontamente disponível, em comparação com os valores de C<sub>mic</sub> obtidos com a adição de biocarvão. As granulometrias de biocarvão utilizadas não influenciaram os teores C<sub>mic</sub> no solo, com o período de reação equivalente à 80 dias.

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância para o Carbono Microbiano do Solo (C<sub>mic</sub>), Carbono Orgânico Total (COT), e Respiração Microbiana (RMS) de solo sob diferentes granulometrias e doses de biocarvão.

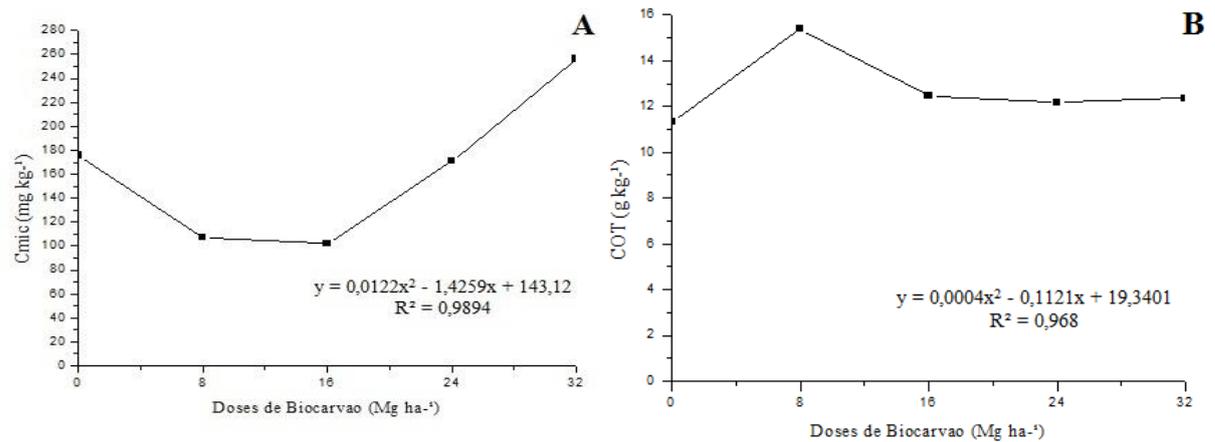
FV	Quadro de análise de variância			
	GL	Quadrados médios		
		C <sub>mic</sub>	COT	RMS
Granulometrias	3	13277.25 <sup>ns</sup>	14.555 <sup>**</sup>	2.59199 <sup>*</sup>
Doses de biochar	(3)	13277.25 <sup>--</sup>	37.653 <sup>--</sup>	21.86199 <sup>--</sup>
Regressão Linear	1	213112.65 <sup>**</sup>	70.753 <sup>**</sup>	1.19591 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	32645.71 <sup>*</sup>	38.572 <sup>**</sup>	9.16386 <sup>**</sup>
Regressão Cúbica	1	2645.40 <sup>ns</sup>	3.632 <sup>ns</sup>	55.22618 <sup>**</sup>
G x D	9	8997.17 <sup>ns</sup>	1.236 <sup>ns</sup>	8.93641 <sup>**</sup>
Fatorial x TC <sup>1</sup>	1	1024.26 <sup>ns</sup>	11.657 <sup>**</sup>	1.08307 <sup>ns</sup>
Resíduo	51	4586.05	1.227	0.77384
CV (%)		42.27	8.52	24.41

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

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Machado (2012) não observou efeito significativo para o carbono da biomassa microbiana, justificando assim em seu estudo, a indisponibilidade imediata de C pirogênico para a microbiota do solo. Observações em campo e ensaios em laboratório tem demonstrado que microrganismos são capazes de degradar a porção da biomassa que sofreu menor alteração térmica, e após o consumo desta, continua ocorrendo alguma oxidação abiótica do material restante, mas em baixíssima velocidade (Brunn et al., 2008; Zimmermann, 2010).

Contudo, durante o processo de pirólise há também a formação de formas mais lábeis de carbono, sendo este prontamente disponível para os microrganismos do solo (Petter *et al.* 2016), fazendo com que haja uma parte de C lábil e outra de C estável no material, onde a parte lábil apresenta uma parcela alifática que é mais rapidamente mineralizável e existe em menor abundância no biochar produzido a altas temperaturas, a parte estável apresenta uma porção aromática que é oxidada mais lentamente, formando grupos funcionais, como o ácido carboxílico (Lehmann, 2009).



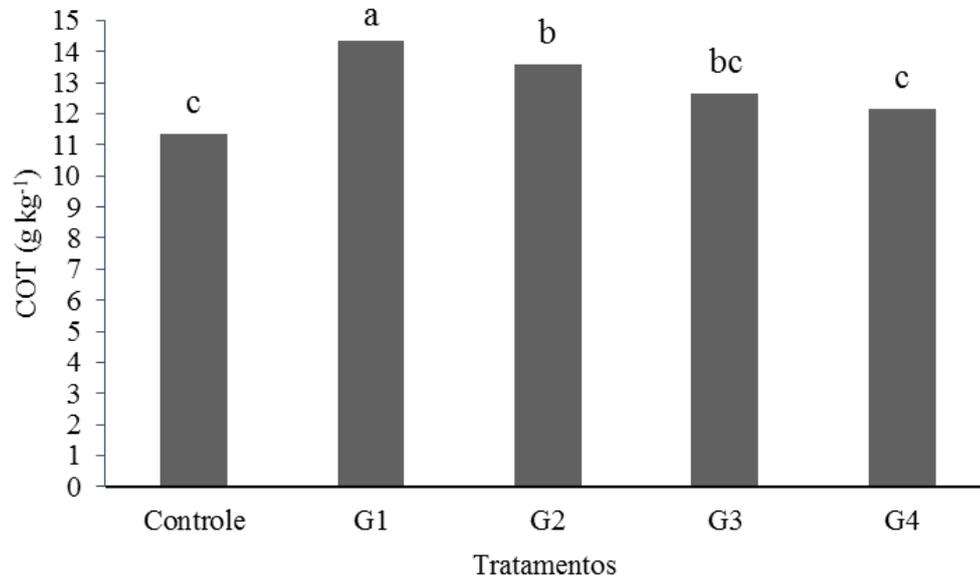
**Figura 6.** Disponibilidade de carbono microbiano (A), e carbono orgânico total (B), de solo submetido a diferentes doses de biocarvão. Rio Largo, Alagoas, 2017.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Para o carbono orgânico total (COT), os teores apresentaram um aumento significativo ( $p < 0,01$ ) de  $11,35 \text{ g kg}^{-1}$  (dose 0) para  $15,40 \text{ g kg}^{-1}$  ( $8 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), cerca de 27% de aumento no estoque de COT do solo. No entanto, a medida que se aumentou as doses até o máximo de  $32 \text{ Mg ha}^{-1}$ , o teor de COT foi reduzido para  $12,36 \text{ g kg}^{-1}$  (**Figura 6B**). Para as granulometrias utilizadas, o maior valor de COT foi obtido com o tratamento G1 no tamanho da partícula, obtendo-se uma média de  $14,35 \text{ g kg}^{-1}$ , comparado ao tratamento controle ( $11,35 \text{ g kg}^{-1}$ ) (**Figura 7**).

Os aumentos nas adições de carbono orgânico melhoram a retenção de nutrientes que se tornam acessíveis aos microrganismos na superfície da partícula (Lehmann et al., 2011). Chen et al. (2013), em experimento de campo de longa duração em solo arenoso com 0, 20 e  $40 \text{ Mg ha}^{-1}$  de biocarvão de palha de trigo utilizando experimentos de longa duração, verificaram que as comunidades de bactérias aumentaram em 28% e 64% nos solos condicionados com 20 e  $40 \text{ Mg ha}^{-1}$  de biocarvão.

Considerando que as propriedades biológicas do solo têm relação direta com a presença de material orgânico disponível, refletindo mudanças na concentração do conteúdo de matéria orgânica do solo (Rezende et al., 2004). Além disso, alguns microrganismos são capazes de usar o biochar como fonte de carbono, devendo-se esta consideração à existência de uma enzima (mangânês-peroxidase) libertada por alguns tipos de fungos (basidiomicetas) que decompõem lenhite (Nóbrega, 2011).



**Figura 7.** COT (carbono orgânico total) de solo após aplicação de diferentes faixas granulométricas de biocarvão. Rio Largo, Alagoas, 2017.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

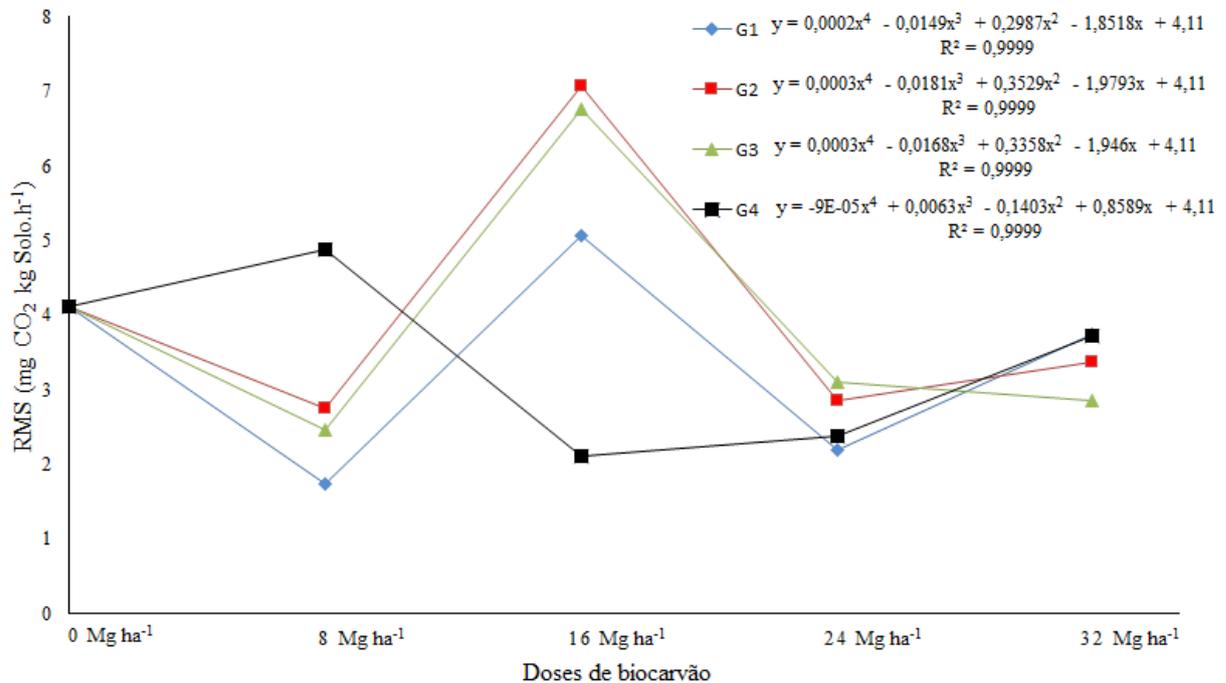
Na avaliação da respiração basal ou microbiana do solo (RMS), detectou-se interação significativa ( $p < 0,01$ ) entre os fatores granulometrias e doses de biocarvão, durante o período de 80 DAS. O tratamento utilizando dosagens até  $16 \text{ Mg ha}^{-1}$  de biocarvão de Ouricuri, se mostrou mais eficiente na produção de  $\text{CO}_2$ , demonstrando maior atividade microbiana e/ou consumo de compostos orgânicos no solo, comparado ao controle, e aos demais tratamentos (**Figura 8**).

Com excessão do tratamento G4, que teve uma elevação gradativamente lenta na respiração, as granulometrias utilizadas não demonstraram diferenças entre si à curto prazo. Graber e colaboradores (2010), estudando o uso de biocarvão no solo, sugerem que as mudanças observadas no crescimento da composição microbiológica foram estimuladas pelos alcatrões orgânicos que são residuais do biocarvão. Provavelmente, em nosso estudo, estes compostos orgânicos tornaram-se indisponíveis no solo, logo após o consumo microbiano (**Figura 8**).

Roscoe et al. (2006) afirmaram que a alta taxa de respiração pode ser interpretada como característica desejável quando se considera que a decomposição dos resíduos orgânicos irá disponibilizar nutrientes para a planta, corroborando com o objetivo da pesquisa. Castaldi et

al. (2011), também observaram efeitos de biocarvão para Cmic e RMS aos 3 e aos 14 meses após a incorporação de biocarvão ao solo.

A respiração do solo é um atributo usado para monitorar a decomposição da matéria orgânica, sendo considerada um importante indicador da atividade microbiana do solo (Anderson e Domsch, 1990). Assim, o conhecimento sobre a microbiologia do biocarvão no solo ainda é pouco conhecida (Navarrete et al., 2010). De acordo com Chen et al. (2013), mudanças na estrutura da comunidade de microrganismos em solo condicionado com biocarvão demonstram o potencial do biocarvão em atuar nos processos biogeoquímicos.



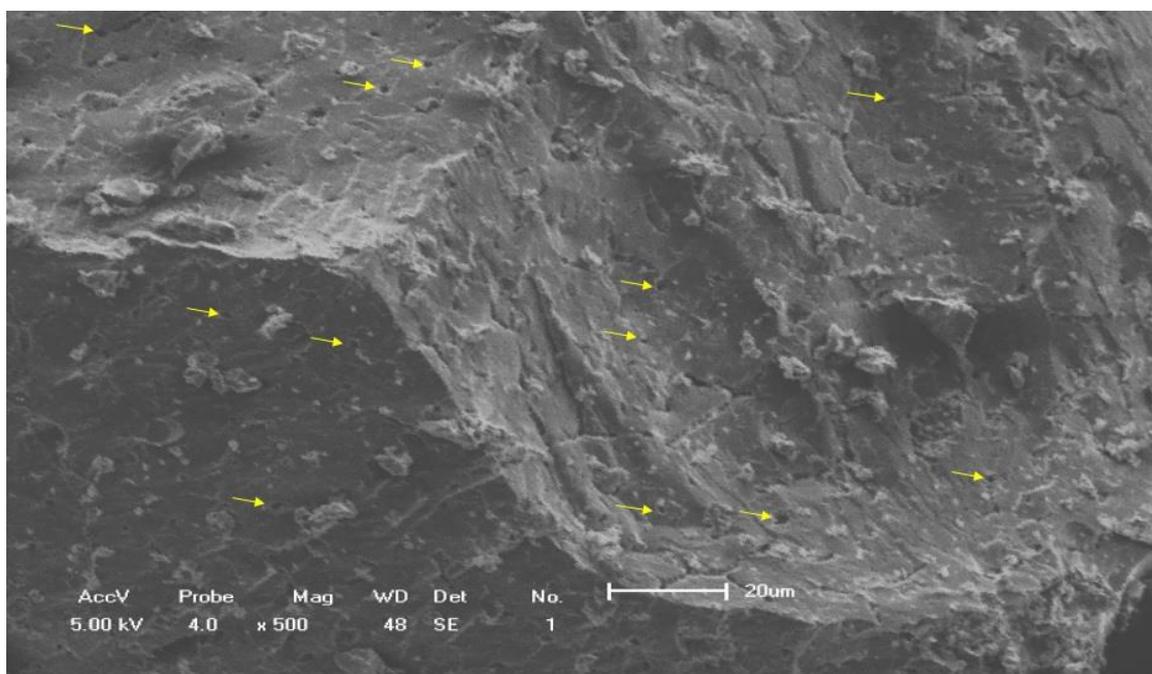
**Figura 8.** Resultados da respiração microbiana do solo, após 2 dias de incubação, em diferentes doses e granulometrias de biocarvão no solo. Rio Largo, Alagoas, 2017.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Domene et al., (2015) ao considerar a maior disponibilidade de área superficial e diversidade no tamanho de poros de biocarvão para o estabelecimento de diferentes habitats e microbiomas, embora em curto prazo, cita que a fração lábil do carvão pode ser revertida em suplementação adicional de nutrientes no solo, favorecendo também o desenvolvimento da população microbiana e, conseqüentemente, uma maior taxa de respiração do solo. De maneira geral, a superfície específica do solo influencia todas as funções essenciais para a fertilidade do

mesmo, incluindo os ciclos de água, ar e dos nutrientes e a atividade microbológica (Bailey et al., 2011).

De acordo com Lee et al., (2013) a formação dos poros nos biocarvões produzidos pode ser investigada pela microscopia eletrônica de varredura (MEV), como obtido nesse estudo (**Figura 9**), onde identificamos pouca porosidade no biocarvão, e uma considerável atividade microbiana para os parâmetros avaliados do solo (**Tabela 6**). Pietikäinen et al., (2000), cita que essa microporosidade do biocarvão, se deve, por oferecer microsítios favoráveis ao abrigo de microrganismos, contra predadores da fauna do solo. Quando estão na forma de fragmentos muito pequenos, os carvões apresentam alguma atividade no sentido de absorver compostos orgânicos solúveis, reter água e servem como abrigo para alguns microorganismos do solo (Benites et al. 2005).



**Figura 9.** Microscopia Eletrônica de Varredura do biocarvão de Ouricuri numa temperatura de pirólise à 500°C.

Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

Os dados agrônômicos da análise de variância, obtidos do cultivo de feijão comum estão demonstrados na **Tabela 7**. Os resultados obtidos foram significativamente ( $p < 0,05$ ) influenciados pela aplicação do biocarvão, com relação as variáveis de número de vagens por planta (NVP), peso de vagens por planta (PVP), peso de grãos por planta (PGP), peso seco da raiz (PSR), peso de matéria seca da parte aérea (PMST), e relação da massa de 100 grãos (r100).

**Tabela 7.** Resumo de análise de variância para as variáveis: diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), número de vagens por planta (NVP), peso de vagens por planta (PVP), peso de grãos por planta (PGP), peso de matéria seca de raiz (PSR), peso de matéria seca da parte aérea (PSA), peso de matéria seca total (PMST), relação da massa de 100 grãos (r100) de feijão comum "*Phaseolus vulgaris*" cultivado sob diferentes granulometrias e doses de biocharvãõ.

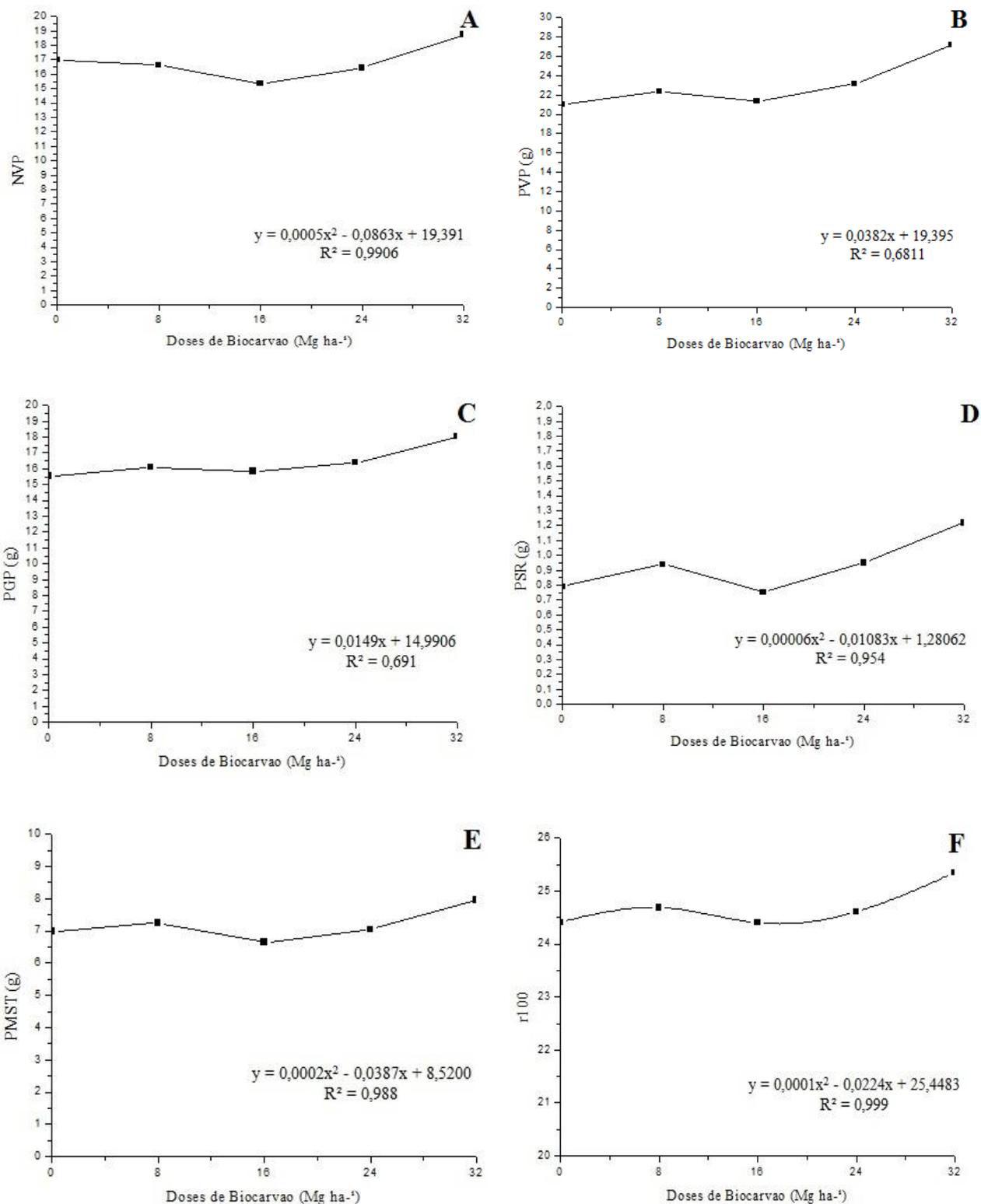
FV	Quadro de análise de variância									
	GL	Quadrados médios								
		DC	NF	NVP	PVP	PGP	PSR	PSA	PMST	r100
Granulometrias	3	0.02749 <sup>ns</sup>	10.01563 <sup>ns</sup>	0.30729 <sup>ns</sup>	9.57738 <sup>ns</sup>	6.42373 <sup>ns</sup>	0.11805 <sup>ns</sup>	1.46998 <sup>ns</sup>	2.35029 <sup>ns</sup>	0.73531 <sup>ns</sup>
Doses de biochar	(3)	0.09346 <sup>--</sup>	4.22396 <sup>--</sup>	31.97396 <sup>--</sup>	105.9761 <sup>--</sup>	15.98723 <sup>--</sup>	0.58488 <sup>--</sup>	1.46998 <sup>--</sup>	4.88009 <sup>--</sup>	2.70948 <sup>--</sup>
Reg. Linear	1	0.00063 <sup>ns</sup>	0.52813 <sup>ns</sup>	44.25313 <sup>ns</sup>	216.5313 <sup>**</sup>	33.10808 <sup>*</sup>	0.84461 <sup>ns</sup>	1.76715 <sup>ns</sup>	4.88009 <sup>ns</sup>	3.07250 <sup>ns</sup>
Reg. Quadrática	1	0.27694 <sup>ns</sup>	6.89063 <sup>ns</sup>	50.76563 <sup>*</sup>	100.9773 <sup>ns</sup>	14.81288 <sup>ns</sup>	0.82810 <sup>*</sup>	4.66560 <sup>ns</sup>	9.42490 <sup>*</sup>	4.32217 <sup>ns</sup>
Reg. Cúbica	1	0.00282 <sup>ns</sup>	5.25313 <sup>ns</sup>	0.90313 <sup>ns</sup>	0.41978 <sup>ns</sup>	0.04073 <sup>ns</sup>	0.08192 <sup>*</sup>	0.01301 <sup>ns</sup>	0.16021 <sup>ns</sup>	0.00143 <sup>*</sup>
G x D	9	0.09978 <sup>ns</sup>	5.36285 <sup>ns</sup>	11.97396 <sup>ns</sup>	10.20607 <sup>ns</sup>	5.49606 <sup>ns</sup>	0.12898 <sup>ns</sup>	2.18177 <sup>ns</sup>	2.77229 <sup>ns</sup>	6.10020 <sup>ns</sup>
Fatorial x TC <sup>1</sup>	1	0.42922 <sup>ns</sup>	5.36285 <sup>ns</sup>	0.15533 <sup>ns</sup>	23.59711 <sup>ns</sup>	4.16171 <sup>ns</sup>	0.12029 <sup>ns</sup>	0.01398 <sup>ns</sup>	0.21628 <sup>ns</sup>	0.47937 <sup>ns</sup>
Resíduo	51	0.20653	4.84314	12.30882	23.59711	4.16171	0.06899	1.42117	1.82344	3.07250
CV (%)		9.19	10.18	20.87	22.25	14.57	27.41	19.05	18.71	7.08

\*\* Significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* Significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )<sup>ns</sup> Não significativo ( $p < 0,05$ ) pelo teste F; <sup>1</sup> TC – Tratamento Controle.  
Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Para a variável NVP, os valores elevaram-se de 17 para 18 vagens por planta, com a adição do biocarvão na dose de 32 Mg ha<sup>-1</sup> comparado à dose 0 (controle), sendo também superior às demais dosagens utilizadas (8, 16 e 24 Mg ha<sup>-1</sup>) (**Figura 10A**). Ávila et al. (2010), em seus estudos utilizando o cultivo de feijão comum com e sem irrigação, para a mesma cultivar, obtiveram NVP iguais a 13 e 21, respectivamente. Para as variáveis PVP (**Figura 10B**), PGP (**Figura 10C**), PMST (**Figura 10E**) e r100 (**Figura 10F**), os aumentos na produção, respectivamente foram de 22,76 %, 16,17 %, 12,18 % e 3,70 %, com a adição de biocarvão na dose de 32 Mg ha<sup>-1</sup> comparado ao controle. Topoliantz et al., (2005), também tiveram parâmetros fisiológicos do feijão influenciados pela aplicação de biocarvão.

Entretanto, o maior desenvolvimento agrônomico de plantas de feijão foi verificado para o Peso Seco de Raiz (PSR), que atingiu uma média de 35,24 % no aumento de peso com a adição do biocarvão na dosagem de 32 Mg ha<sup>-1</sup>, comparando-se ao tratamento controle (**Figura 10D e 11**). De acordo com Gomes e Paiva (2004), a massa seca das raízes é um fator de extrema importância, pois determina a capacidade das plantas de sobrevivência e crescimento inicial em campo. Smider & Singh (2014) mostraram que a massa seca da cultura do milho foi aumentada em resposta a aplicação de biochar e Vaccari et al. (2011) verificaram aumento de 30% na biomassa do trigo com aplicação de 30 Mg ha<sup>-1</sup> biochar de madeira. Alguns autores como Graber et al., (2010); Jones et al., (2012) também destacaram mudanças indiretas na atividade microbiana do solo com biocarvão, e sugerem que o biocarvão estimula o crescimento das plantas por meio da indução de efeitos na rizosfera, com efeitos na qualidade e quantidade de exsudatos radiculares, influenciando consequentemente um bom desenvolvimento radicular.

Segundo Ramos Júnior; Lemos; Silva (2005), NVP, NGP e r100 são considerados os principais componentes que influenciam a produtividade, que da mesma forma, respondeu de maneira significativa. Mete et al., (2015) também testaram a aplicação conjunta de biocarvão com a adição de fertilizante NPK em um solo de caráter alcalino no cultivo de soja. Resultados mostraram que aplicação simultânea de ambos os produtos elevou, em média, o rendimento na produção de biomassa e sementes em 361% e 391%, respectivamente. Güereña *et al.*, (2015) mostrou resultados promissores do uso do biocarvão no cultivo do feijoeiro comum. Assim, quando comparado ao controle, a aplicação de biocarvão alterou em média, 262% a produção de biomassa da parte aérea, 164% a biomassa radicular e 357 % a biomassa de nódulos.



**Figura 10** – Número de vagens por planta (A); Peso de vagens por planta (B); Peso de grãos por planta (C); Peso de matéria seca de raiz (D); Peso de matéria seca total (E); Relação da massa de 100 grãos de plantas (F) de feijão comum “*Phaseolus vulgaris*”, cultivado em solo submetido a diferentes granulometrias e doses de biocarvão.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.



**Figura 11.** Desenvolvimento radicular da cultura do feijoeiro submetido á diferentes doses de biocarvão de ouricuri.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

## 5. CONCLUSÕES

O biocarvão de ouricuri adicionado ao solo, promoveu melhorias em alguns dos principais indicadores químicos de qualidade do solo (pH, P, K, Ca, CTC) mesmo à curto prazo (80 Dias Após Aplicação - DAA).

O desenvolvimento das raízes das plantas, do carbono orgânico total (COT) e do carbono microbiano do solo ( $C_{mic}$ ), foram positivamente influenciados pelo biocarvão de ouricuri, principalmente na dose de  $32 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Contudo, acredita-se que seu efeito nas plantas, não possa ser explicado como fator dependente dos resultados de fertilidade do solo.

Os resultados desse estudo, demonstram relação direta entre o tamanho de partículas e a quantidade aplicada de biocarvão no solo. O que influencia efeito sobre o estoque de carbono do solo e da população microbiana. Estudos mais detalhados à longo prazo sobre a biologia do solo, devem ser estimulados no intuito de verificar o melhor desenvolvimento da população microbiana do solo e seus efeitos nas plantas.

## REFERÊNCIAS

ABREU JÚNIOR, CH.; BOARETTO, AN.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. de C. **Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal.** Tópicos Ciência do Solo. 4. Piracicaba 2005. p. 391- 470.

ADRIÁN, M.T.; SILVA, B.F.M.; FIGUEIREDO, J.L.; FARIA, J.F. Controlling the surface chemistry of carbon xerogels using HNO<sub>3</sub>-hydrothermal oxidation. **Carbon**, v. 47, p. 1670-1679, 2009.

AHMAD, M.; RAJAPAKSHA, A. U.; LIM, J. E.; ZHANG, M.; BOLAN, N.; MOHAN, D.; VITHANAGE, M.; LEE, S. S.; OK, Y. S. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. **Chemosphere**. **2014**, 99, 19 – 33.

ALEF, K. Estimation of soil respiration. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds.). **Methods in soil microbiology and biochemistry**. New York: Academic, 1995. p. 464-470.

ALVES, F. C. Efeito da seleção assistida por marcadores moleculares para o escurecimento tardios de grãos em feijão-comum. Lavras: Universidade Federal de Lavras. Dissertação, 2014, 64p.

AMONETTE, JE.; JOSEPH, S. **Characteristics of biochar: microchemical properties**. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed.). Biochar for environmental management science and technology. London: Earthscan, 2009. p. 34-51.

ANDERSON, J. M.; DOMSCH, K. H. Application of ecophysiological quotients (qCO and qD) on microbial biomass from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 22, p. 251-255, 1990.

ARRUDA, M. R. et al. Enraizamento de estacas herbáceas de guaranazeiro em diferentes substratos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 236-24, 2007.

ASADU, CLA.; DIELS, J.; VANLAUWE, BA.; A comparison of the contributions of clay, silt and organic matter to the effective CEC of soils of subSaharan Africa. **Soil Science**, Hagerstown, v.162, p.785-794, 1997.

ÁVILA, M. R.; BARIZÃO, D. A. O.; GOMES, E. P.; FEDRI, G.; ALBRECHT, L. P. Cultivo do feijoeiro no outono/inverno associado à aplicação de bioestimulante e adubo foliar na presença e ausência de irrigação. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 11, n. 3, p. 221-230, 2010.

BAILEY, V. L.; FANSLER, S. J.; SMITH, J. L.; BOLTON JR., H. Reconciling apparent variability in effects of biochar amendment on soil enzyme activities by assay optimization, **Soil Biology & Biochemistry**, vol. 43, 2011, pp. 296-301.

BAHNG, MK.; MUKARAKATE, C.; ROBICHAUD, DJ.; NIMLOS, MR.; Current technologies for analysis of biomass thermochemical processing: a review. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 651, n. 2, p. 117-138, 2009.

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

BENITES, V.M.; SÁ, E.; SCHAEFER, C.E.; NOVOTNY, E.H.; REIS, E.; KER, J.K. 2005. Properties of black soil humic acids from high altitude rock complexes in Brazil. **Geoderma**, 127: 104-113.

BIRD, M. I.; MOYO, C.; VEENENDAL, E. M.; LLOYD, J.; FROST, P. Stability of elemental carbon in savanna soil. **Global Biogeochemistry Cycles**, Washington, v. 13, p. 923-932, 1999.

BRUUN, EW.; HAUGGAARD-NIELSEN, H.; IBRAHIM, N.; EGSGAARD, H.; AMBUS, P.; JENSEN, PA.; E DAM-JOHANSEN, K. Influence of fast pyrolysis temperature on biochar labile fraction and short-term carbon loss in a loamy soil. **Biomass Bioenergy**, 35: 1182-1189, 2011.

CASTALDI, S.; RIONDINO, M.; BARONTI, S.; ESPOSITO, F. R.; MARZAIOLI, R.; RUTIGLIANO, F. A.; VACCARI, F. P.; MIGLIETTA, F. Impact of biochar application to a Mediterranean wheat crop on soil microbial activity and greenhouse gas fluxes. **Chemosphere**, v. 85, n. 9, p. 1464-1471, 2011.

CASTELLINI, M., GIGLIO, L., NIEDDA, M., PALUMBO, A.D., VENTRELLA, D. Impact of biochar addition on the physical and hydraulic properties of a clay soil. **Soil Tillage Res.**, v. 154, p. 1–13, 2015. doi:10.1016/j.still.2015.06.016

CHEN, B; CHEN, Z. Sorption of naphthalene and 1-naphthol by biochars of orange peels with different pyrolytic temperatures. **Chemosphere**. 2009, 76, 127 – 133.

CHEN, J.; LIU, X.; ZHENG, J.; ZHANG, B.; LU, H.; CHI, Z.; PAN, G.; LI, L.; ZHENG, J.; ZHANG, X.; WANG, J.; YU, X. Biochar soil amendment increased bacterial but decreased fungal gene abundance with shifts in community structure in a slightly acid rice paddy from Southwest China. **Applied Soil Ecology**, v. 71, n. 0, p. 33-44, 2013.

CHIDUMAYO, E. N. Effects of wood carbonization on soil and initial development of seedlings in miombo woodland, Zambia. **Forest Ecology and Management**, Netherlands, v. 70, p. 353-357, 1994.

COHEN-OFRI, I.; WEINER, L.; BOARETTO, E.; MINTZ, G.; WEINER, S. Modern and fossil charcoal: aspects of structure and diagenesis. **Journal of Archaeological Science**, Boston, v. 33, n. 3, p. 428-439, 2006.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Décimo levantamento-safra 2014/15, Brasília, v. 2, n. 10, p. 1-109, jul. 2015.

CONAB. Safra 2016/2017: **Primeiro Levantamento/Intenção de plantio Acompanhamento da safra brasileira**: grãos. 68 p. Out. de 2013. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_10\\_06\\_09\\_01\\_00\\_boletim\\_outubro\\_10.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_10_06_09_01_00_boletim_outubro_10.pdf)> Acesso em: 22 de Mar. de 2017.

COSTA, ML.; KERN, DC.; PINTO, AHE.; SOUZA, JRT. The ceramic artifacts in archaeological black earth (terra preta) from Lower Amazon Region, Brazil: Mineralogy. **Acta Amazon**. Manaus, v. 34, p.165-178.

CUI HJ, WANG MK, FU ML. Enhancing phosphorus availability in phosphorus-fertilized zones by reducing phosphate adsorbed on ferrihydrite using rice straw-derived biochar. **Soils Sediments**. 2011; 11:1135-1174.

CUNHA, A. R.; KLOSOWSKI, E. S.; GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; MARTINS, D. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: Simpósio em Energia na Agricultura, 1. 1999. Botucatu – SP: **Anais...** Botucatu: FCA/UNESP, 1999, v.1, p. 487-490.

CUNHA, T.J.F.; **Ácidos Húmicos de Solos Escuros da Amazônia (Terra Preta de Índio)**. 2005. 123p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2005.

CUNHA, T.J.F.; MADARI, BE.; BENITES, VM.; CANELLAS, LP.; NOVOTNY, EH.; MOUTTA, RO.; TROMPOWSKY, PM.; SANTOS, GA.; Fracionamento químico da matéria orgânica e características dos ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37, n. 1, p.91-98, 2007.

CUNHA, T.J.F.; MADARI, BE.; CANELLAS, LP.; RIBEIRO, LB.; BENITES, VM.; SANTOS, GA.; Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de Índio) in the Brazilian Amazon Basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p.85-93, 2009.

CUNHA, T.J.F.; NOVOTNY, EH.; MADARI, BE.; BENITES, VM.; MARTIN-NETO, L.; SANTOS, GA.; 2010. **O carbono pirogênico**. In: As terras pretas da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. In: TEIXEIRA, W.; KERN, D.; MADARI, B.; LIMA, H.; WOODS, W.; (Eds), As terras pretas de índio na Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, p. 263-284.

DAI, Z., WANG, Y., MUHAMMAD, N., YU, X., XIAO, K., MENG, J., LIU, X., XU, J., BROOKES, P.C. The effects and mechanisms of soil acidity changes, following incorporation of biochars in three soils differing in initial pH. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 78, p. 1606–1614, 2014. doi:10.2136/sssaj2013.08.0340

DELUCA TH, MACKENZIE M D, GUNDALE M J. **Biochar effects on soil nutrient transformation**. In: Lehmann J, Joseph S, editores. *Biochar for environmental management science and technology*. London: Earthscan; 2009. p. 251–280.

DECHEN AR, NACHTIGALL GR. **Elementos requeridos à nutrição de plantas**. In: Novais RF, Alvarez v, VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves, JCL, editores. *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2007. p. 91 – 132.

DIONÍSIO, JA.; PIMENTEL, IC.; SIGNOR, D.; PAULA, AM.; MATTANA, AL.; MACEDA, A.; **Guia prático de biologia do solo**. Curitiba. SBCS/NEPAR, 2016. 152p.

DOAN, TT.; BOUVIER, C.; BETTAREL, Y.; BOUVIER, T.; HENRY-DESTUREAUX, T.; JANEAU, JL.; LAMBALLE, P.; NGUYEN, BV.; JOUQUET, P. Influence of buffalo manure, compost vermicopost and biochar amendments on bacterial and viral communities in soil and adjacent aquatic systems. *Applied Soil Ecology*, v. 73 p. 78-86, 2014.

DORAN, JW. **Soil quality and sustainability**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. CD Rom.. Rio de Janeiro: SBCS, 1997.

DOMENE, X., HANLEY, K., ENDERS, A., LEHMANN, J. Short-term mesofauna responses to soil additions of corn stover biochar and the role of microbial biomass. **Appl. Soil Ecol.**, v. 89, p. 10–17, 2015. doi:10.1016/ j.apsoil. 2014.12.005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ed. rev. ampl. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

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.

EL-HENDAWY, AA. Surface and adsorptive properties of carbons prepared from biomass. **Appl. Surf. Sci.**, 252:287-295, 2005.

Ertas, M.; Alma, M.H. Pyrolysis of laurel (*Laurus nobilis* L.) extraction residues in a fixed-bed reactor: characterization of bio-oil and bio-char. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, Amsterdam, v. 88, n, 1, p. 22-29, 2010.

Falcão NPS, Comerford N, Lehmann J. Determining nutrient bioavailability of Amazonian Dark Earth soils, methodological challenges. In: Lehmann J, Kern DC, Glaser B,

Woods WI, editores. *Amazonian Dark Earths; origin, properties, managements*. Dordrecht: **Kluwer Academic Publishers**; 2003. p. 255-270.

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O. e VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:991-996, 1999.

GAJDOS, R. Bioconversion of organic waste by the year 2010. To recycle elements and save energy. **Resources, conservation and Recycling**, v.23, p.67-86, 1998.

GATIBONI LC, BRUNETTO G, RHEINHEIMER DS, KAMINSKI J. *Fracionamento químico das formas de fósforo do solo: usos e limitações*. **Tópicos em Ciência do Solo**. 2013; 8:142-187.

GLASER, B.; BALASHOW, E.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. Black carbon in density fraction of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 31, p. 669-678, 2000.

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

GLASER, B. et al. **Potential of pyrolyzed organic matter in soil amelioration**. Beijing: People’s Republic of China Ministry of Water Resources; **Ministry of Water Resources**, 2002. 426 p.

GLASER, B. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model of sustainable agriculture in the twenty-first century. **Philosophical Transactions of Royal Society B**, United Kingdom, v. 362, p. 187-192, 2007.

GLASER, B.; BIRK, JJ.; State of scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (*Terra Preta de Índio*). **Geochimica and Cosmochimica Acta**. Kidlington, v. 82, p. 39-51, 2012.

GLIESSMAN, SR. Agroecologia: **Processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. 653p.

GLÓRIA, NA.; **Uso agrônomo de resíduos**. In: DECHEN, AR.; BOARETTO, AE.; COSTA, VERDADE, F. Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas, 22. Adubação, produtividade e ecologia/simpósios. Campinas, Fund. Cargill, 1992. p. 195-202.

GOMES, J. M; PAIVA, H. N. de. **Viveiros florestais: propagação sexuada**. 3ª ed., Viçosa: UFV, 116 p. 2004.

GRABER, E.R.; HAREL, Y.M.; KOLTON, M.; CYTRYN, E.; SILBER, A.; DAVID, D.R.; TSECHANSKY, L.; BORESHTEIN, 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.

GRANJEIRO, T.B.; CASTELLÓN, R.E.R.; ARAÚJO, F.M.M.C.; SILVA, S.M.S.; FREIRE, E.A.; CAJAZEIRAS, J.B.; ANDRADE NETO, M.; GRANJEIRO, M.B.; CAVADA, B.S. **composição bioquímica da semente**. In: FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A. DE A.; RIBEIRO, V.Q. (Eds.). *Feijão-caupi: avanços tecnológicos*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p.338-365.

GRANT CA, PLATEN DN, TOMAZIEWICZ DJ, SHEPPARD SC. *A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta*. Informações Agronômicas. Piracicaba: **Potafos**; 2001. (Encarte técnico, 95).

GROSSMAN, J.M.; SHEAFFER, C.; WYSE, D.; BUCCIARELLI, B.; VANCE, C.; GRAHAM, P.H. An assessment of nodulation and nitrogen fixation in inoculated *Inga oerstediana*, a nitrogen-fixing tree shading organically grown coffee in Chiapas, Mexico. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, p. 769-784, 2006.

GÜEREÑA, D.T., LEHMANN, J., THIES, J.E., ENDERS, A., KARANJA, N., NEUFELDT, H. Partitioning the contributions of biochar properties to enhanced biological nitrogen fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris*). **Biol. Fertil. Soils**, v. 51, p. 479–491, 2015. doi:10.1007/s00374-014-0990-z.

HECKENBERGER, MJ.; PETERSON, JB.; NEVES, EG.; Village size and performance in Amazonia: two archaeological examples from Brazil. **Latin American Antiquity**, Washington, v. 10, n. 4, p. 353-376, 1999.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO - IPA. **Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco**: 2ª aproximação. 3.ed. Recife, IPA, 2008. 212p.

ISLAM, K.R. e WEIL, R.R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biol. Fertil. Soils**, 27:408-416, 1998.

JARAMILLO, J.; SERRANO, V.G.; ALVAREZ, P.M. Enhanced adsorption of metal ions onto functionalized granular activated carbons prepared from cherry stones. **J. of Hazardous Materials**, v. 161, p. 670-676, 2009.

JEFFERY, S.; VERHEIJEN, F.G.A.; VAN DER VELDE, M.; BASTOS, A.C. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 144, p. 175-187, 2011.

JONES, D.; ROUSK, J.; EDWARDS-JONES, G.; DELUCA, T.; MURPHY, D. Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 45, p. 113-124, 2012.

KEILUWEIT, M.; NICO, PS.; JOHNSON, M. E KLEBER, M. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). **Environ. Sci. Technol.**, 44: 1247-1253, 2010.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 452p.

KNICKER, H. Pyrogenic organic matter in soil: Its origin and occurrence, its chemistry and survival in soil environment. *Quaternary International*, **Oxford**, v. 243; p. 251-263, 2011.

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

LAL, R.; PIRCE, FJ. The vanishing resource. In: LAL, R.; PIRCE, FJ. (Eds) *Soil management for sustainability*. Ankeny: **Soil and Water Conservation Society**, 1991. p.1-5.

LARSON, WE.; PIRCE, FJ. **The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management**. In: DORAN, JW. et al. (Eds) *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: ASA/SSSA, 1994. P.37-51.

LEE, Y.; PARK, J.; RYU, C.; GANG, K. S; YANG, W.; PARK, Y. K.; JUNG, J.; HYUN, S. Comparison of biochar properties from biomass residues produced by slow pyrolysis at 500 °C. **Bioresource Technology**, n. 148. p. 196-201, 2013.

LEHMANN, J., RONDON, M., 'Bio-char soil management on highly-weathered soils in the humid tropics', in N. Uphoff (ed.), **Biological Approaches to Sustainable Soil Systems**, Boca Raton, CRC Press. 2005.

LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems - a review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v.11, p.395-419, 2006. DOI: 10.1007/s11027-005-9006-5.

LEHMANN, J. Bio-energy in the black. **Frontiers in Ecology and the Environment**, Washington, v. 5, n. 7, p. 381-387, 2007.

LEHMANN, J. e STEPHEN J. Biochar for environmental management: science and technology. London: **Earthscan**, 2009, p. 1-12.

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, n. 9, p. 1812-1836, 2011.

LEHMANN J, JOSEPH S. Biochar for Environmental Management: An Introduction. In: *Biochar for Environmental Management - Science and Technology*, 2nd ed. Earthscan; 2015.

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

LIMA, A. B. **Influência da cobertura vegetal nas comunidades de bactérias em terra Preta de Índio na Amazônia Central Brasileira**. CENA/USP, Piracicaba, 2012. 116p. (Tese de Doutorado).

LONE, A.H., NAJAR, G.R., GANIE, M.A., SOFI, J.A., ALI, T. Biochar for Sustainable Soil Health: A Review of Prospects and Concerns. **Pedosphere**, v. 25, p. 639–653, 2015. doi:10.1016/S1002-0160(15)30045-X.

MACEDO, RS.; **Pedogênese e indicadores pedoarqueológicos em Terra Preta de Índio no município de Iranduba – AM**. Tese de doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2013. 177 p.

MADARI, B. E., COSTA, A. R., CASTRO, L. M., SANTOS, J. L. S., BENITES, V. M., ROCHA, A. O.; MACHADO, P. L. O. A. **Carvão vegetal como condicionador de solo para arroz de terras altas (cultivar primavera): Um estudo prospectivo**. Embrapa Arroz e Feijão. n. 125. 2006. 2p.

MADARI, BE.; CUNHA, T.J.F.; NOVOTNY, E.H.; MILORI, DMBP.; NETO, LM.; BENITES, VM.; COELHO, MR.; SANTOS, GA. **Matéria orgânica de solos antrópicos da Amazonia (Terra Preta de Índio): Suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo**. In: TEIXEIRA, WG.; KERN, DC.; MADARI, BE.; LIMA, HN.; WOODS, W. (Ed.). *As terras pretas de índio da Amazonia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. Cap. 2, p.172-188.

MACHADO, D.M. **Indicadores biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolo sob aplicação de biomassa carbonizada no leste de Mato Grosso**. Bom Jesus: UFPI, 2012. 82 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

MAIA, C.M.B.F.; MADARI, B.E.; NOVOTNY, E.H. Advances in biochar research in Brazil. **Dynamic soil**, Dynamic plant, v.5, p.53-58, 2011.

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 soil. **Plant Soil**, v.333, p.117-128, 2010.

MANGRICH, A.S.; VUGMAN, N.V. Vanadyl Ion “VO<sub>2</sub><sup>+</sup>” as a spectroscopic probe of metal binding to nitrohumic acid. **Fuel**, v. 69, p. 925-927, 1990.

MEILI, L.; SANTOS, LER.; DOS SANTOS, RR.; ANDRADE, GSA.; SOLETTI, JI. **Influência da temperatura nos rendimentos dos produtos da pirólise do endocarpo do ouricuri (*Syagrus coronata* (Mart) Becc.)**. In: Anais do XXXVII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados - ENEMP 2015 [=Blucher Engineering Proceedings]. São Paulo: Blucher, vol. 2 num. 1. 2015. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br/s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/enemp2015/TC-653.pdf>.

MANGRICH, A.S.; MAIA, C.M.B.F.; NOVOTNY, E.H. Biorcarvão: as terras pretas de índios e o sequestro de carbono. **Ciên. Hoje**, 47: 48-52, 2011.

MELO, L.C; COSTA, J.C, DA; PELOSO, M.J. DEL; FARIA, L.C. DE; DIAZ, J.L.C; CARVALHO, H.W.L. DE; WARWICK, D; RAVA, C.A. (*in memorian*); PEREIRA, H.S; SILVA, H.T. DA; SARTORATO, A; FARIA, J.C DE; BASSINELLO, P.Z; WENDLAND, A. BRS Agreste – cultivar de feijoeiro comum de grão mulatinho com alto potencial produtivo e porte ereto. In: **Comunicado técnico**. ISSN 1678-961X Santo Antônio de Goiás, GO – Dez, 2008.

MELLONI, R., MELLONI, E. G. P., ALVARENGA, M. I. N., VIEIRA, F. B. M., 2008. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. 32, 2461-2470.

MENDONÇA, E.S. e MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107p.

METE, F.Z., MIA, S., DIJKSTRA, F.A., ABUYUSUF, M., HOSSAIN, A.S.M.I. Synergistic Effects of Biochar and NPK Fertilizer on Soybean Yield in an Alkaline Soil. **Pedosphere**, v. 25, p. 713–719, 2015. doi:10.1016/S1002- 0160(15)30052-7

MEURER, EJ (2007). **Fatores que influenciam a crescimento e desenvolvimento das plantas**. In: Novais RF, Alvarez VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti R B e Neves J CL (Eds). Fertilidade do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.65-90.

MIYASAWA, M.; CHIERICE, GO.; PAVAN, MA. Amenização da toxicidade de alumínio às raízes do trigo pela complexação com ácidos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.209-215, 1992.

MUKOME, F.N.D.; ZHANG, X.; SILVA, L.C.R.; SIX, J.; PARIKH, S.J. Use of chemical and physical characteristics to investigate trends in biochar feedstocks. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.61, p.2196-2204, 2013. DOI: 10.1021/ jf3049142.

NAVARRETE, A. A.; CANNAVAN, F. S.; TAKETANI, R. G.; TSAI, S. M. A Molecular Survey of the Diversity of Microbial Communities in Different Amazonian Agricultural Model Systems. **Diversity**, v. 2, n. 5, p. 787-809, 2010.

NÓBREGA, I. P. C. **Efeitos do Biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: Sequestro de carbono no solo**. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 2011. Dissertação de mestrado. 46p.

NOVOTNY, EH.; AZEVEDO, ER.; BONAGAMBA, TJ.; CUNHA, TJF.; MADARI, BE.; BENITES, VM.; HAYES, MHB. Studies of the compositions of humic acids from Amazonian Dark Earth Soils. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 41, n. 2. 400-405, 2007.

NOVOTNY, EH.; HAYES, MHB.; MADARI, BE.; BONAGAMBA, TJ.; AZEVEDO, ER.; SOUZA, AA. DE; SONG, G.; NOGUEIRA, CM.; MANGRICH, AS. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon region for the utilisation of charcoal for soil amendment. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 20, n. 6, p. 1003-1010, 2009.

OGUNTUNDE, P. G., FOSU, M., AJAYI, A. E.; GIESEN, N. V. Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil. **Biol Fertil Soils**, n.39, p.295-299, 2004. doi: 10.1007/s00374- 003-0707-1

PAN, F.; LI, Y.; CHAPMAN, SJ.; 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.

PAVAN, MA.; BINGHAM, FT.; PRATT, PF. Chemical and mineralogical characteristics of selected acid soils of the state of Parana, Brazil. **Turrialba**, v.35, p.131-139, 1985.

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, FA. **Biomassa carbonizada como con-dicionador de solo: aspectos agronômicos e ambi-entais do seu uso em solos de cerrado**. 2010. 130p. Tese Doutorado (Doutorado em Produção Vegetal), Curso de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

PETTER, FA.; MADARI, B. E. Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.16, p.761-768, 2012.

PETTER, FA.; MADARI, B. E. Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian 23 savannah soils. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** [online]. 2012, vol.16, n.7, p.761-768. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662012000700009&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662012000700009&lng=en&nrm=iso)>.

PETTER, FA.; 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. [Sinop: SIMBRAS], 2016. p. 73-81. Disponível em <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1055986/1/2016MarinaSIMBRASBiocarvaoSolo.pdf> >Acesso em: 20 de Abr. 2017.

PIETIKÄINEN, J.; KIIKKILÄ, O.; FRITZE, H. Charcoal as a Habitat for Microbes and Its Effect on the Microbial Community of the Underlying Humus. **Oikos**, v. 89, n. 2, p. 231-242, 2000.

PIOTR, A.B.; AN-HUI, L.; JÖRG, J.N.; FERDI, S. Surface and pore structure modification of ordered mesoporous carbons via a chemical oxidation approach. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 108, p. 266-275, 2008.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, n. 5, p. 1-13, 2011.

PURAKAYASTHA, TJ.; KUMARI, S.; PATHAK, H. Characterization, stability, and microbial effects of four biochars produced from crop residues, **Geoderma** 239-240 (2015) 293-303.

QIAN, M., KUMAR, A., ZHANG, H., BELLMER, D., HUHNKE, R. (2015) Recent advances in utilization of biochar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42:1055-1064.

RAMOS JUNIOR, E. U.; LEMOS, L. B.; SILVA, T. R. B. Componentes da produção, produtividade de grãos e características tecnológicas de cultivares de feijão. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 75-82, 2005.

REZENDE, E.I.P.; ANGELO, L. C.; DOS SANTOS, S. S.; MANGRICH, A. S. Biocarvão (Biochar) e Sequestro de Carbono. **Rev. Virtual Quim.**, 3(5), 426-433, 2011.

REEVES, D.W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.43, p. 131-167, 1997.

RONDON, M. A.; LEHMANN, J.; RAMÍREZ, J.; HURTADO, M. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 43, n. 6, p. 699-708. 2006.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas**: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006.

RUFINO, M. U. L.; COSTA, J. T. M.; SILVA, V.A.; ANDRADE, L. H. C. **Conhecimento e uso do ouricuri (*Syagrus coronata*) e do babaçu (*Orbignya phalerata*) em Buíque, PE, Brasil.** Acta bot. bras., v. 22, n. 4, p. 1141-1149, 2008.

SALET, RL. **Toxidez de alumínio no sistema plantio direto.** Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Porto Alegre: UFRGS, 1998. 109f.

SANCHEZ, P. A.; UHERA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. **The role of phosphorus in agriculture.** Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1980. chap. 17, p. 471-514.

SANTOS, K. G. **Aspectos fundamentais da pirólise de biomassa em leito de jorro: fluidodinâmica e cinética do processo.** 2011. 235 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2011.

SCHMIDT, M. W. I.; NOACK, A. G. Black carbon in soils and sediments: analysis, distribution, implications, and current challenges (review). **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 14, p. 7-79, 2000.

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. 100–5, 2016.

SMERNIK, R. J.; SKJEMSTAD, J. O.; OADES, J. M. Virtual fractionation of charcoal from soil organic matter using solid state <sup>13</sup>C NMR spectral editing. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 38, p. 665-683, 2000.

SMIDER, B.; SINGH, B. Agronomic performance of a high ash biochar in two contrasting soils. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 191: 99-107, 2014.

SOMBROEK, W.G., NACHTERGAELE, F.O. e HEBEL, A. Amounts, dynamics and sequestrations of carbon in tropical and subtropical soils. **Ambio**. v. 22, p. 417-426. 1993.

SOMBROEK, W.; RUIVO, M. de L.; FEARNSIDE, P. M.; GLASER, B.; LEHMANN, J. **Amazonia dark earths as carbon stores and sinks.** In: LEHMANN, J. et al. (Ed). Amazonian dark earths. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 124-139.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils.** New York: Oxford University Press, 1989. 277p.

SPARLING, G. P. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: PANKHURST, C.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. (Eds.). **Biological indicators of soil health.** Cambridge: CAB International, 1997. p. 97-120.

SPARLING, G.P. e WEST, A.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C:Calibration in situ using microbial respiration and <sup>14</sup>C labelled cells. **Soil Biol. Biochem.**, 20:337-343, 1988.

STEINBEISS, S.; GLEIXNER, G.; ANTONIETTI, M. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. **Soil Biology and Biochemistry**, v.41, p. 1301-1310, 2009. DOI: 10.1016/j.soilbio.2009.03.016.

STEINER, C., TEIXEIRA, W. G., ZECH, W. Slash and Char: An Alternative to Slash and Burn Practiced in the Amazon Basin. In B. Glaser and W. I. Woods, editors. **Amazonian Dark Earths: Explorations in Space and Time**. Springer Verlag, Heidelberg, 2004.

TANG, J.; ZHU, W.; KOOKANA, R.; KATAMAYA, A. Characteristic of biochar and its application in remediation of contaminated soil. **Journal of Bioscience and Bioengineering**. 2013, 116, 653 - 659.

TAN, KH. **Principles of Soil Chemistry**. New York: Jonh Wile. 1994. 496p.

THENG, B.K.G; TATE, K.R; SOLLINS, P. **Constituents of organic matter in temperate and tropical soils**. In: COLEMAN, D.C et al. (Eds.) Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Honolulu: NifTAL Project, 1989. p.5-32.

TOPOLIANTZ, S.; PONGE, J. F.; BALLOF, S. Manioc peel and charcoal: a potential organic amendment for sustainable soil fertility in the tropics. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 41, n. 1, p. 15-21. 2005.

VACCARI, F. P.; BARONTI, E. L.; GENESIO, L.; CASTALDI, S.; FORNASIER, F.; MIGLIETTA, F. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. **European Journal of Agronomy**, 34: 231-238, 2011.

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

VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão: Aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**. 2.ed. Viçosa-MG, Universidade Federal de Viçosa, p. 600, 2006.

WANG, X.; SONG, D.; LIANG, G.; ZHANG, Q.; AI, C.; ZHOU, W.; Maize biochar addition rate influences soil enzyme activity and microbial community composition in a fluvo-aquic soil. **Applied Soil Ecology** 96 (2015) 265-272.

WESTERMAN, PW.; BICUDO, JR. Management considerations for organic waste use in agriculture. **Bioresource Technology**, v.96, p.215-221, 2005.

WILDMAN, J.; DERBYSHIRE, F. Origins and functions of macroporosity in activated carbons from coal and wood precursors. **Fuel**, p. 655-661, 1991.

WOODS, W.I. & McCANN, J.M. **The anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths**. Yearb. - Conf. Lat. Am. Geogr., v. 25, p.7-14. 1999.

YAO, F. X., ARBESTAIN, M. C., VIRGEL, S., BLANCO, F., AROSTEGUI, J., MACIA-AGULLO, J. A.; MACIAS, F. Simulated geochemical weathering of a mineral ash-rich biochar in a modified soxhlet reactor. **Chemosphere**, v.80, p.724-732, 2009. doi: 10.1016/j.chemosphere.2010.05.026.

YEOMANS, J.C. e BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Comm. Soil. Sci. Plant Anal.**, 19:1467-1476, 1988.

ZANETTI, M. et al. Uso de subprodutos de carvão vegetal na formação do porta-enxerto limoeiro 'cravo' em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 508-512, dez. 2003.