

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS JABOTICABAL

**BIOCHAR DE CAROÇO DE AÇAÍ COMO CONDICIONADOR
DE SOLO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE PIMENTA-DO-
REINO (*Piper nigrum* L.)**

Moisés de Souza Mendonça
Engenheiro Agrônomo

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS JABOTICABAL

**BIOCHAR DE CAROÇO DE AÇAÍ COMO CONDICIONADOR
DE SOLO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE PIMENTA-DO-
REINO (*Piper nigrum* L.)**

Moisés de Souza Mendonça

Orientador: Prof. Dr. Wanderley José de Melo

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

2019

M539b Mendonça, Moisés de Souza
Biochar de caroço de açaí como condicionador de solo na
produção de mudas de pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) /
Moisés de Souza Mendonça. -- Jaboticabal, 2019
65 p. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,
Jaboticabal
Orientador: Wanderley José de Melo

1. Biochar. 2. Resíduos orgânicos Reaproveitamento. 3.
Sustentabilidade. 4. Pimenta-do-reino. 5. Açaí. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: BIOCHAR DE CAROÇO DE AÇAÍ COMO CONDICIONADOR DE SOLO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE PIMENTA-DO-REINO (*Piper nigrum* L.)

AUTOR: MOISÉS DE SOUZA MENDONÇA

ORIENTADOR: WANDERLEY JOSÉ DE MELO

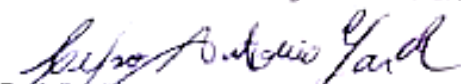
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora.



Prof. Dr. WANDERLEY JOSÉ DE MELO
Departamento de Tecnologia / FCAV/UNESP - Jaboticabal



Pós-doutorando FERNANDO GIOVANNETTI DE MACEDO
Departamento de Tecnologia / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. CELSO ANTONIO JARDIM
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza / FATEC - Jaboticabal/SP

Jaboticabal, 24 de junho de 2019

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

MOISÉS DE SOUZA MENDONÇA – Nascido em Governador Valadares, MG, em 17 de julho de 1981, filho de Lucio Mendonça da Fonseca e Eliete de Souza Mendonça. Coursou o ensino fundamental e médio em escolas públicas (1989-1999), se mudando para a cidade de Altamira, no Estado do Pará, no dia 28 de janeiro de 1998, ocasião em que acompanhou seus pais numa nova caminhada de trabalho. Em agosto de 2000 ingressou no curso de Licenciatura Plena em Ciências Agrárias, na Universidade Federal do Pará, Campus Altamira, ocasião em que teve que optar entre o serviço militar (51º Batalhão de Infantaria de Selva) e os estudos, tendo concluído o curso em julho de 2005. No ano de 2004 foi aprovado em concurso público para o cargo de auxiliar em administração no Ministério Público do Estado do Pará, serviço este que permaneceu até o dia 07 de dezembro de 2016. No dia 15 de janeiro de 2005, casou-se com Ayana dos Santos Teixeira de Lima Mendonça. Em agosto de 2006 ingressou em uma nova graduação, desta feita no curso de Administração, na Universidade Federal do Pará, Campus Altamira, tendo concluído em abril de 2011. No dia 19 de janeiro de 2009 nasceu sua primeira filha, Mileny de Lima Mendonça, e quatro anos depois, no dia 13 de janeiro de 2013 nasceu sua segunda filha, Manuely de Lima Mendonça. No ano de 2014 ingressou numa nova graduação, agora no curso de Engenharia Agrônoma, na Universidade Federal do Pará, Campus Altamira, tendo concluído em junho de 2017. Em 2015 prestou novo concurso público, tendo sido aprovado para o cargo de docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, tomando posse e entrando em exercício no dia 07 de dezembro de 2016, no Campus Castanhal/PA, local este onde desempenha suas funções até o momento atual. Em agosto de 2017 ingressou no curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Gestão de Agronegócios e Legislação Ambiental, concluindo em fevereiro de 2018. Ainda em fevereiro de 2018, ingressou no programa de pós-graduação *Stricto Sensu* (Mestrado) em Agronomia (Ciências do solo), pela Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Câmpus de Jaboticabal.

*“...devemos manejar a natureza, não explorá-la até que ela se sinta exaurida...
devemos cuidar do solo... Sem ele, não existe ar, nem água, nem plantas,
e portanto, alimento”.
(Ana Primavesi)*

À minha esposa Ayana dos Santos Teixeira de Lima Mendonça pelo apoio em todos os momentos, pelas orações, dedicação, carinho e amor.

Às minhas filhas Mileny de Lima Mendonça e Manuely de Lima Mendonça pelo amor dedicado a mim a cada deitar e a cada levantar.

Aos meus pais que se esforçaram e me proporcionaram condições para estudar, sempre me incentivando a seguir tais caminhos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À **DEUS**, pela vida, proteção, sustento e por mais um objetivo alcançado;

À minha **esposa** e às minhas **filhas** que sempre estiveram ao meu lado, sendo o meu alicerce e refúgio. A distância não foi fácil, mas não há verdadeira vitória sem lutas;

Aos meus **pais** por me apoiarem moralmente, sempre me incentivando a nunca desistir dos meus sonhos, pelas orações a mim dedicadas e pelo apoio;

Aos meus **irmãos** e meu **cunhado** com quem sempre tive o prazer de contar;

Ao **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará** e à **Universidade Estadual Paulista**, pela oportunidade dada;

Ao **Prof. Dr. Wanderley José de Melo**, pela orientação, ensinamentos, pela confiança e paciência em mim depositada;

Aos **Professores** do curso, pelo esforço, disponibilidade, ensino e amizade;

Aos **colegas** estudantes pelo convívio saudável e apoio a mim dispensado;

Aos **meus familiares (tios, primos e avós), amigos (as) e irmãos (ãs) em Cristo**, que me apoiaram e oraram por mim;

Enfim, a **todos** que de alguma maneira contribuíram para a conclusão desta etapa.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	03
2.1. Resíduos e a Amazônia.....	03
2.2. Açaí.....	04
2.3. Pimenta-do-Reino.....	06
2.4. Biochar.....	08
2.5. Enzimas.....	10
2.5.1. Celulase.....	11
2.5.2. Fosfatase.....	11
2.5.3. Arilsulfatase.....	12
2.5.4. Hidrólise de Diacetato de Fluoresceína (FDA).....	13
3. OBJETIVOS.....	14
3.1. Geral.....	14
3.2. Específicos.....	14
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
4.1. Local de Estudo.....	15
4.2. Plantas Teste.....	15
4.3. Coleta e Caracterização do Solo	16
4.4. Produção de Biochar.....	17
4.5. Caracterização do Biochar.....	17
4.6. Instalação e condução do experimento.....	18
4.6.1. Delineamento Experimental.....	18
4.6.2. Preparo dos tratamentos.....	18
4.6.3. Preparo das mudas e condução do experimento.....	19
4.7. Avaliações nas plantas e no solo.....	19
4.7.1. Variáveis do solo.....	19
4.7.2. Variáveis da planta.....	20
4.8. Amostragens da planta e de solo.....	20
4.9. Análise dos Resultados.....	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
5.1. Variáveis no solo.....	22
5.3. Variáveis das mudas de pimenta-do-reino.....	27
6. CONCLUSÕES.....	39
7. REFERÊNCIAS.....	40

BIOCHAR DE CAROÇO DE AÇAÍ COMO CONDICIONADOR DE SOLO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE PIMENTA-DO-REINO (*Piper nigrum* L.)

RESUMO – O biochar, biomassa carbonizada por processo de pirólise, foi aplicado na Amazônia, região com diversidade no extrativismo e agricultura, e constituída por exuberante mata espessa com solos bem drenados, pouco férteis e ácidos, com restrita camada de matéria orgânica na sua superfície. Este estudo avaliou a influência do biochar de caroço de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) como condicionador de solo na produção de mudas de pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.). O experimento foi conduzido com 17 tratamentos em esquema fatorial 4x4+1, sendo 4 granulometrias combinadas com 4 doses de biochar, mais um controle, com 5 repetições, num delineamento em blocos casualizados. Foram avaliados variáveis no solo e na planta. Os resultados foram submetidos à análise da variância pelo teste F, seguindo-se com a análise de regressão polinomial, quando o teste F foi significativo a no mínimo 5 % de probabilidade. O teste de Tukey foi aplicado para comparação de médias. Observou-se que a inserção do biochar de caroço de açaí possibilitou aumento da atividade enzimática do solo e maior desenvolvimento vegetativo das mudas, sendo a dose de 16 t ha⁻¹ e granulometrias de 5 mm o tratamento recomendado.

Palavras-chave: Açaizeiro, Biocarvão, Resíduos Orgânicos, Sustentabilidade

AÇAÍ LUMP BIOCHAR AS A SOIL CONDITIONER IN THE PRODUCTION OF BLACK PEPPER (*Piper nigrum* L.) SEEDLINGS

ABSTRACT – The biochar, carbonized biomass by pyrolysis process, was applied in Amazonia, a region with diversity in extractivism and agriculture, and constituted by an exuberant thick forest with well drained, little fertile and acidic soils with restricted layer of organic matter in its surface. This study evaluated the influence of açai lump biochar (*Euterpe oleracea* Mart.) as a soil conditioner in the production of black pepper (*Piper nigrum* L.) seedlings. The experiment was conducted with 17 treatments in a 4x4 + 1 factorial scheme, 4 particle sizes combined with 4 doses of biochar and a control, with 5 replications, in a randomized block design. Variables were evaluated in soil and plant. The results were submitted to analysis of variance by the F test, followed by polynomial regression analysis when the F test was significant at least 5 % probability. The Tukey test was applied for comparison of means. It was observed that the insertion of the biochar of the açai lump allowed to increase the enzymatic activity of the soil and greater vegetative development of the seedlings, being the dose of 16 t ha⁻¹ and particle sizes of 5 mm the recommended treatment.

Keywords: Açai tree, Biocarbon, Organic Waste, Sustainability

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Resultados da análise de variância (Teste F) e comparação das médias para as variáveis do solo.....	23
Tabela 2. Interação entre as médias de doses e granulometria para a atividade da hidrólise do diacetato de fluoresceína-FDA (mg de fluoresceína kg ⁻¹ TFSE h ⁻¹).....	26
Tabela 3. Resultados da análise de variância (Teste F) e comparação das médias para as variáveis da planta.....	29
Tabela 4. Interação entre as médias de doses e granulometria para altura (cm).	30
Tabela 5. Interação entre as médias de doses e granulometria para MS Raiz (%).....	31
Tabela 6. Interação entre as médias de doses e granulometria para MS Folha (%).....	32
Tabela 7. Quadro de Análise de Correlação e nível de significância entre as variáveis.....	35

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localização do município de Castanhal/PA.....	15
Figura 2 (A, B). Pimental sadio e estaca com 3 nós.....	16
Figura 3 (A, B e C). Forno rústico utilizado para confecção do biochar.....	17
Figura 4. Granulometria do biochar (3, 5, 7 e 12 mm, respectivamente a Figura).....	18
Figura 5. Equação de regressão expressando o efeito das doses de biochar dentro de cada granulometria para atividade enzimática da FDA.....	27
Figura 6. Equação de regressão expressando o efeito das doses de biochar dentro de cada granulometria para altura.....	28
Figura 7. Equação de regressão expressando o efeito das doses de biochar dentro de cada granulometria para MS Raiz.....	31
Figura 8. Equação de regressão expressando o efeito das doses de biochar dentro de cada granulometria para MS Folha.....	33

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento populacional e consequente crescimento no consumo de alimentos, houve intensificação na exploração dos recursos naturais, fortalecimento da indústria de transformação e aumento da manufatura de bens de consumo.

Tais atividades, por mais benéficas que sejam na geração de renda e emprego, podem ser nocivas, quando não atentam e priorizam questões ambientais, gerando cada vez mais aumento de produção, desperdício e acúmulo de resíduos, inclusive sólidos e orgânicos.

Tal realidade tem sido verificada na Amazônia brasileira, lugar originalmente formado por densas florestas, com ampla biodiversidade, porém, em sua maioria, com solos pouco férteis, ácidos e com baixo teor de matéria orgânica em sua superfície.

Diante da preocupação com a sustentabilidade nas produções agrícolas, buscam-se estratégias que gerem menor impacto ao meio ambiente, como a utilização da ecotecnologia do biochar, que permite reaproveitar os resíduos orgânicos da agricultura na própria agricultura.

Esse biochar é a confecção do biocarvão por meio da carbonização dos resíduos vegetais por meio da diminuição da oxigenação (pirólise), mantendo parte do carbono sequestrado do ar na formação da biomassa.

Uma possibilidade de matéria-prima para a confecção do biochar é o caroço de açaí, resíduo do fruto que movimenta mais de 3 bilhões de reais por ano e emprega mais de 300 mil pessoas só no Estado do Pará (Brasil, 2017), maior produtor nacional da polpa de açaí, responsável por mais de 95 % da produção brasileira, o que equivaleu a 1.274.056 t de fruto produzido (IBGE, 2018), no qual 73,5 % desse peso equivale ao caroço (endocarpo) (Carvalho e Müller, 2005; Oliveira et al., 2002).

No agronegócio paraense, tem-se ainda o cultivo da pimenta-do-reino, que em 2017 o Brasil fechou o balanço obtendo uma produção de mais de 79 mil toneladas de fruto, sendo o Estado do Pará o maior produtor do país, produzindo cerca de 49,86 % do montante nacional, com produção de 39.577 toneladas, em 16.289 ha (IBGE, 2018).

Este assunto não foi exaurido, pelo contrário, precisa avançar ainda mais nas pesquisas, pois existem variáveis limitantes quanto à qualidade do biochar usado na agricultura (Petter, 2010; Santos et al., 2013), bem como verificar a influência nas características físico-químicas do solo e as respostas em outras plantas quando esse material é misturado ao solo, em doses e granulometrias diferentes.

Para isso, dada à importância do açaí e da pimenta-do-reino para o Estado do Pará e Brasil, com a segurança do mercado crescente (nacional e internacional) (Duarte, 2004), a hipótese desse trabalho foi que o biochar do caroço de açaí possibilitará maior desenvolvimento vegetativo às mudas de pimenta-do-reino e aumento da atividade enzimática do solo.

Portanto, objetivou-se avaliar a influência da utilização de doses e granulometrias do biochar confeccionado com caroço de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) em atributos biológicos do solo e em características agronômicas na produção de mudas de pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.).

Assim, além de possibilitar o reaproveitamento do caroço do açaí, que costumeiramente é descartado de forma inadequada em vias públicas, matas, rios e lixões, este trabalho busca recomendar a utilização do biochar do caroço de açaí, diminuindo custos de produção e obtendo mais uma fonte alternativa de renda.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Resíduos e a Amazônia

Ao longo dos anos, a destinação correta dos resíduos industriais, urbanos e agrícolas tem sido tema de estudos e pesquisas que buscam soluções para suprir demandas de energia, água potável e alimento (Lucas Jr e Santos, 2000).

Um dos agentes influenciadores desta realidade é a agricultura, que, na busca por maior produtividade alimentar, intensifica a utilização de máquinas e insumos minerais, acendendo indagações quanto aos impactos ambientais gerados e se este é um modelo de desenvolvimento agrícola sustentável (Silva et al., 2005).

As conclusões que se tem chegado é que parte das atividades agropecuárias e do processamento de seus produtos, da forma que tem sido realizadas, têm ocasionado poluições no solo e água, apesar de, dentre esses, haverem resíduos ricos em material orgânico (Matos, 2005).

Diante dessa problemática, surge como alternativa a agricultura sustentável, pregando uma perspectiva de reaproveitamento dos resíduos agrícolas (Silva et al., 2005), ideia esta que ganha força num cenário nacional com problemas econômicos, que exige sistemas mais produtivos e a um menor custo (Morgado et al., 2000).

Apesar desse entendimento, na prática, com a expansão da agricultura na Amazônia, o descarte dos resíduos tem se tornado cumulativo, pois perpassa pela exploração dos recursos naturais, indústria de transformação e manufatura de bens de consumo (Gomes et al., 2014).

Nesta perspectiva, quando inadequada a coleta, disposição e destinação dos resíduos, seja nas áreas urbanas ou rurais, os danos são evidenciados na degradação do solo e na saúde humana (Lima et al., 2005).

A falta de um sistema eficiente de manejo dos resíduos se agrava com a contaminação da água, solo e dos próprios alimentos produzidos nas plantações, propiciando a proliferação de insetos e outros tipos de pragas. Na zona rural é comum que esses resíduos sejam queimados, apesar de grande parte serem orgânicos, o que poderia e deveria ter outra destinação (Martini et al., 2006).

Considerando que, em sua essência, os resíduos possuem valor econômico agregado, possibilitando o reaproveitamento no próprio processo produtivo, o que o diferencia de lixo (Darolt, 2002), os resíduos agrícolas são, sobretudo, fontes de

matéria orgânica, alternativa a ser explorada, refletindo na diminuição dos custos com a adubação mineral (Campos, 1986).

Diante dessa alternativa, tem-se o cenário da Amazônia, maior floresta equatorial do mundo, com exuberante mata espessa, solos profundos, bem drenados, pouco férteis e ácidos, com restrita camada de matéria orgânica na sua superfície (Freitas, 2013).

Essa camada superficial é composta por matéria orgânica: ativa, que se decompõe com a fermentação, formando o húmus, sendo fonte de nutrientes; e inativa ou humificada, que não possui decomposição acentuada, atuando sobretudo nas propriedades físico-químicas do solo (Galbiatti, 1992).

A matéria orgânica é constituída, dentre outras, por carboidratos, lipídeos, aminoácidos, proteínas, ligninas, ácidos nucleicos, pigmentos, ácidos orgânicos e ácidos fúlvicos, húmicos e huminas (Passos et al., 2007; Theng et al., 1989).

Em solos tipicamente amazônicos, a matéria orgânica é elemento primordial, pois favorece o aumento da capacidade de retenção de água no solo e disponibiliza nutrientes para as plantas, além de reduzir a densidade aparente e global, e aumentar a porosidade do meio (Cordell e Filer Junior, 1984).

Nessa realidade de solos, temos o Estado do Pará, que é um dos principais polos possuidores de diversidade no extrativismo, agricultura e pecuária brasileira. Dentre essa diversidade, está presente o extrativismo do açaí, produto regional de visibilidade internacional e de reconhecida importância socioeconômica (Souza e Bahia, 2010), e o cultivo da pimenta-do-reino, com crescente relevância no agronegócio paraense (Filgueiras et al., 2004).

2.2. Açaí

A *Euterpe oleracea* Mart., conhecida como açaizeiro, do tipo palmeira, pertence à família das Arecaceae (Pivetta e Luz, 2013). Originariamente, o açaí é de ocorrência natural em toda o estuário amazônico, desde as Guianas, Venezuela e Trinidad até os Estados do Maranhão, Amapá e Pará, acompanhando o vale do baixo Amazonas (Sant`Ana, 2006; Santana et al., 2012).

Frequentemente encontrado em terrenos de várzea e igapó, se diferencia de outras espécies por possuir perfilhamento (Yuyama et al., 2011), isto é, possui

caráter cespitoso, crescendo vários estipes oriundos de um mesmo centro, formando a touceira, o que dispensa à planta característica da capacidade de regeneração, facilitando sua exploração de forma sustentável (Canto, 2001).

O fruto dessa espécie possui características nutricionais e valor calórico que fortalece o seu mercado, sendo um alimento rico em fibras, lipídeos, proteínas, vitamina E, e minerais, como manganês, cobre, cromo e boro (Barcelos et al., 2017; Neves et al., 2015), além de elevado teor de ácidos graxos poli-insaturados, fibras e compostos antioxidantes (Cayres et al., 2010). Como fornecedores de energia para o corpo, a polpa possui teores de biomoléculas orgânicas como glicose, frutose e sacarose (Eto et al., 2010).

Este fruto é peculiar da região Amazônica, onde a planta é utilizada de variadas formas, entre elas: alimentação (vinho ou suco, polpa e palmito), construções rústicas (casas e pontes), produção de celulose (papel Kraft), remédios (vermífugo e antidiarreico), biojóias (colares, pulseiras etc.), ração animal, adubo, planta ornamental (paisagismo) etc. Apesar dessas inúmeras formas de utilização, sua maior importância cultural, econômica e social ainda está relacionada à produção de frutos e palmito para o consumo humano (Farias Neto et al., 2010).

No Estado do Pará, o açaí movimenta mais de 3 bilhões de reais por ano, envolvendo mais de 300 mil pessoas ao longo da sua cadeia produtiva (Brasil, 2017), sendo responsável por mais de 95 % da produção nacional de polpa de açaí, equivalendo a 1.274.056 t de fruto produzido (IBGE, 2018), o que representa 90 % da produção mundial (Adepará, 2017), no qual 73,5 % desse peso equivale ao caroço (endocarpo), portanto 936.431 t de resíduo gerado (Carvalho e Müller, 2005; Oliveira et al., 2002).

Só no Estado do Pará, há mais de 10 mil batedores artesanais de açaí (micro agroindústrias), gerando cerca de 30 mil empregos diretos, além de existir 100 agroindústrias do ramo cadastradas na Superintendência Federal de Agricultura do Pará, gerando mais quatro mil empregos diretos (Adepará, 2017).

A grande maioria desses batedores e agroindústrias estão localizadas próximos à cidade de Belém, gerando resíduos (caroço do açaí sem polpa) sem adequada destinação, conforme rege a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2011).

No Norte do Brasil, os resíduos do caroço do açaí estão presentes tanto na zona urbana quanto rural e na maioria das vezes não há destinação útil, sendo os mesmos despejados em vias públicas (Gantuss, 2006). Esse resíduo tem decomposição lenta, com elevado teor de lignina, além de ser fonte de carbono durante todo o processo de decomposição, servindo para a produção de adubo orgânico (Martins et al., 2009; Villachica et al., 1996).

2.3. Pimenta-do-reino

A pimenteira-do-reino, popularmente conhecida como pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.), pertence à família das Piperaceae, que compreende aproximadamente 1.400 espécies distribuídas no mundo (Soltis et al., 1999), sendo que, no Brasil, essa família é representada por quatro gêneros e cerca de 500 espécies (Arias et al., 2006; Magevski et al., 2011).

É uma planta de clima tropical, do tipo trepadeira, perene, arbustiva, que cresce fixando-se a tutores, apresentando frutos do tipo baga, com inflorescências formadas nos ramos plagiotrópicos (Duarte et al., 2004).

Essa espécie nativa das florestas de Malabar, Índia, é vastamente cultivada em regiões tropicais como Indonésia, Malásia, América do Sul e Índia Ocidental. Em termos de produção mundial, o Vietnã é o maior produtor, seguido pela Indonésia, Índia, Malásia e Brasil (IPC, 2016).

Por ser um condimento utilizado em todo o mundo, apresenta grande valor econômico, sendo a principal especiaria utilizada no preparo e processamento dos alimentos (Conab, 2015; Prabhakaran Nair, 2011).

A introdução desta cultura no Brasil se deu no século XVII com os portugueses, porém se estabeleceu como cultivo comercial em 1933, no Estado do Pará, com os imigrantes japoneses, no Município de Tomé-Açu, iniciando grandes plantios de pimenta-do-reino no país, destacando-se como genótipo mais cultivado a Cingapura, com cerca de 80 % dos plantios (Conab, 2015; Duarte et al., 2001).

Uma das cultivares que tem sido destaque em produtividade e comercialização é a laçará, apresentando características como folhas estreitas, de tamanho médio; flores em sua maioria hermafroditas; espigas de 10 cm e 8 g, com cerca de 40 frutos por espiga; produção média de 2,6 kg de pimenta-preta por

planta; rendimento de pimenta-preta de 2.500 kg/ha; alta resistência à murcha-amarela; etc., características essas que sobressaem à outras cultivares como a Cingapura (Poltronieri e Lemos, 2014).

Em 2017, o Brasil fechou o balanço de área destinada à colheita de quase 29 mil hectares de pimenta-do-reino (regiões Sudeste, Norte e Nordeste), obtendo uma produção de mais de 79 mil toneladas, sendo o Estado do Pará o maior produtor do país, produzindo cerca de 49,86 % do montante nacional, com uma produção de 39.577 t de fruto, em 16.289 ha, atingindo assim uma produtividade média de 2,452 t/ha (IBGE, 2018).

Com tamanha importância, os pipericultores se preocupam com os vários fatores que podem limitar a produtividade da cultura e levar até a morte precoce da planta. Dentre esses, destacam-se a má fertilização do solo e a fusariose (podridão-das-raízes), necessitando de pesquisas científicas que busquem combater tais problemáticas e divulguem os resultados aos produtores para que adotem o melhor manejo (Ventura e Costa, 2004).

Para a produção de mudas de pimenta-do-reino, recomenda-se plantas matrizes vigorosas e livres de problemas fitossanitário, com condução em espaldeiras com ambiente protegido. A melhor estacas para a produção de mudas são as herbáceas, devendo possuir de 2 a 3 nós, obtendo assim maior resistência e energia para o seu desenvolvimento vegetativo (Poltronieri e Lemos, 2014).

Para o desenvolvimento radicular, as estacas são colocadas em propagadores tipo canteiros, com sombreamento de 50 %, contendo como substrato areia branca, casca de arroz carbonizada ou vermiculita. As estacas devem ser irrigadas diariamente, evitando o encharcamento. Nesse canteiro as mudas permanecem de 15 a 30 dias para posterior transplântio para sacos plásticos pretos perfurados, onde permanecerão por 6 meses para posterior plantio em campo (Poltronieri e Lemos, 2014).

Para área de plantio, recomenda-se local levemente inclinado, com solos de textura média e, quando ácidos e pobres em nutrientes, devem ser calcariados, elevando a saturação por bases a 60 %, e adubados, no primeiro ano com 25 g planta⁻¹ de N, 20 g planta⁻¹ de P₂O₅ e 25 g planta⁻¹ de K₂O. Quando o teor de Mg for menor que 0,7 cmol_c dm⁻³, aplica-se sulfato de magnésio na dose correspondente a

1/3 da dose de KCl. Recomenda-se ainda aplicar adubo nitrogenado ou fosfatado contendo S (sulfato de amônio ou superfosfato simples) (Franzini et al., 2014).

2.4. Biochar

Sabe-se que os resíduos agrícolas são fontes de matéria orgânica, alternativa para redução de custos de produção, isto é, diminuição da quantidade utilizada de adubação mineral, fato constatado por Campos (1986).

No decorrer da história, povos indígenas utilizaram o biochar para aumentar a qualidade dos solos e a produtividade agrícola, sendo o biochar a biomassa carbonizada por processo de pirólise, ou seja, biocarvão, rico em carbono, formado da matéria orgânica aquecida em baixa atmosfera de oxigênio (Reinaud, 2017).

Estes resíduos, além de sequestrarem carbono do ar para formação da biomassa, ao sofrerem carbonização sob controle de oxigênio, contribuem para performance do solo, modificando estrutura física e química, aeração, retenção de água e permeabilidade (Steiner et al., 2007), propiciando ainda uma rica composição mineral (N, K, P, Ca, Mg, B, Si, Cl, Cu, Mn, Mo e Zn) (Freitas, 2013; Maekawa, 2002; Morales, 2010), além de aumentar a fauna microbiana do solo, o que influencia na fixação de nitrogênio e decomposição de matéria orgânica (Deluca et al., 2006).

Neste sentido, Lehmann e Joseph (2009) corroboram informando que o biochar é produzido por meio de diferentes biomassas de origem vegetal, podendo ser inserido puro ao solo e/ou fazer parte da composição de substrato com destinação para a agricultura.

Dentre os benefícios do biochar, temos ainda melhora nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, elevação dos níveis de pH (Freitas, 2013; Oguntunde et al., 2004), aumento da capacidade de troca de cátions, melhora na capacidade de agregação das partículas do solo (Kämpf et al., 2003; Liang et al., 2006; Oguntunde et al., 2004) e aumento do crescimento e vigor das plantas (Mendonça, 2017).

Além de melhorar a nutrição vegetal e do solo e substrato, o biochar enseja maior absorção de nutrientes e produção das culturas, reduzindo a lixiviação de minerais aplicados ao solo (Steiner et al., 2007). Esses benefícios ocorrem em consequência aos seus grupos carboxílicos aromáticos estáveis que diminuem a degradação química e microbiana da matéria orgânica (Glaser et al., 2001).

Freitas (2013) observou que os teores de N, P, K, Ca e Mg aumentaram no substrato na mesma proporção que aumentaram as doses do biochar. Morales (2010) reforça dizendo que tal composto possui poder de fertilização, sendo fonte de P, Ca, K, Mg, Mn, Zn e B, possuindo características químicas que alteram o pH e os sais do solo.

Outras características importantes do biochar são: melhora o equilíbrio nutritivo, reduz o uso de fertilizantes mineral (Gaskin et al., 2010), aumenta a capacidade de germinação e crescimento vegetativo (Madari et al., 2010) etc.

Apesar de tais informações, não há estudos sobre os efeitos no solo da adição de biochar confeccionado do caroço-de-açaí, tão pouco de seus benefícios e consequências na produção de mudas, havendo assim, uma lacuna no que diz respeito à sua inserção, enquanto condicionador de solo, sobretudo para o cultivo da pimenta-do-reino.

Outro espaço a ser preenchido está na não existência de normas de classificação quanto ao tamanho das partículas do material carbonizado, apesar de haver pesquisas com utilização do biochar na agricultura (ABNT, 2004). Essa inexistência dificulta a objetividade na condução dos experimentos, pois, segundo Mendonça (2017), a variação da dose e granulometria está diretamente relacionada nas interações do biochar com o solo.

Neste contexto, o que há quanto ao tamanho do material extraídos dos fornos, são nomes popularmente que se diferenciam em cada região. Entre eles, tem-se: moinha de carvão, que são grânulos maiores misturados e utilizados na composição do carvão comercial; fino de carvão, que são partículas de tamanho intermediário; e pó de carvão, que são os mais finos em granulometria, sendo ricos em cinzas (Mendonça, 2017).

Com tais terminologias, o uso da moinha é proveitoso para o agricultor devido possuir preço de mercado inferior ao carvão vegetal e outros fertilizantes, devendo ser separados e comercializados nas frações de pó, fino e granulado (Melo et al., 2005).

Numa tentativa de classificação, Zanetti et al. (2003) disseram que o fino de carvão é aquele resíduo com partículas maiores, de até 8 mm, sendo alternativa para melhorar as condições de crescimento de plantas. Por outro lado, defendem

que o pó de carvão, de tamanho inferior, quando misturado ao solo ou substrato, aumenta a porosidade, aeração e capacidade de retenção de água.

2.5. Enzimas

O solo é um dos instrumentos que permite a permanência da vida no planeta, pois nele ocorre a ciclagem de nutrientes por meio das enzimas que transformam a matéria orgânica, colaborando para a sustentabilidade dos ecossistemas e qualidade dos solos (Balota et al., 2013).

A qualidade do solo pode ser definida como “capacidade do solo de sustentar a diversidade biológica, regular o fluxo de água e solutos, degradar, imobilizar e detoxificar compostos orgânicos e inorgânicos e atuar na ciclagem de nutrientes e outros elementos” (Seybold et al., 1998), sendo os microrganismos um dos bioindicadores dessa qualidade, no qual sua atividade é alterada pelo o que ocorrem no ambiente (Araújo e Monteiro, 2007).

Um exemplo disso é a entrada de água no solo, que pode interferir na decomposição da matéria orgânica, o que poderá afetar a atividade das enzimas, devido sua alta sensibilidade às alterações no ambiente (Berg, 2000). Além disso, a atuação conjunta da água com a temperatura aumenta a influência na atividade enzimática, contribuindo para a atividade microbiana (Moreira e Siqueira, 2006).

Desta forma, a atividade microbiana total em um solo é indicador de medida da condição em que se encontra o solo no quesito matéria orgânica, pois mais de 90 % dos fluxo de energia passa por decomposição microbiana (Heal e Maclean Jnr., 1975).

Pensando na qualidade dos solos para a agricultura, as enzimas permitem que os microrganismos acessem os nutrientes presentes nos substratos, bem como são responsáveis pela decomposição e mineralização da matéria orgânica, promovendo a ciclagem por meio da disponibilização dos nutrientes às plantas (Melo, 1988).

A atividade enzimática nos informa sobre a qualidade dos solos, estando relacionada à formação de complexos com a matéria orgânica. Esta ainda nos indica qual a situação do solo quanto à estabilização da matéria orgânica e de propriedades estruturais associadas (agregação e porosidade) (Dick et al., 2011;

Green et al., 2007; Kandeler et al., 1999; Vallejo et al., 2010), fornecendo uma avaliação integrada do estado biológico do solo pela sua relação com a biota (Bandick e Dick, 1999; Kandeler et al., 1999).

Apesar disso, ainda não há valores de referência que permitam a interpretação da atividade enzimática como bioindicador, pois os diferentes sistemas de uso e manejo de solo modificam as condições ambientais, dificultando comparações. A solução para essa problemática pode ser o monitoramento de uma mesma área ao longo do tempo (Gil-Sotres et al., 2005; Tótola e Chaer, 2002; Trasar-Cepeda et al., 1998).

2.5.1. Celulases

No geral, o crescimento e sobrevivência dos microrganismos nos solos são dependentes do C contido na celulose (Deng e Tabatabai, 1994), na qual para a liberação do C como fonte de energia, faz-se necessário a degradação da celulose pela celulase em unidades com menor massa molecular (Eriksson et al., 1990).

Podendo ser de livre ocorrência no solo ou em complexos enzimáticos por meio de bactérias celulolíticas anaeróbias, a celulase é produzida por plantas e microrganismos (Bayer et al., 1998), sendo excretadas principalmente por fungos (Andersson et al., 2004) que reagem a diversas condições ambientais como: pH, temperatura, matéria orgânica e componentes minerais do solo (Doyle et al., 2006).

A atividade enzimática da celulase é induzida pela celulose, porém inibida pela glicose, sendo utilizada como mecanismo de informações sobre a decomposição do material orgânico adicionado ao solo (Melo, 1988), pois são importantes na decomposição do material vegetal (Štursová et al., 2012).

A atividade enzimática das celulases pode ser influenciada pela diversidade microbiana e pela atividade metabólica, na qual em solos úmidos os fungos são os principais microrganismos celulolíticos e em solos mais secos, as bactérias que são os principais decompositores (Cunha-Santino e Bianchini Jr., 2006).

2.5.2. Fosfatases

A fosfatase é formada por grandes grupos (fosfomonoesterases, fosfodiesterases, fosfotriesterases, metafosfatases e pirofosfatases) de enzimas

catalisadoras da hidrólise do éster e anidridos de fosfato, na qual pelas suas ações ocorrem a clivagem das moléculas orgânicas que apresentam fosfato como radical, liberando assim álcool e ácido fosfórico (Peixoto, 2010).

Dentre os grupos pertencente às fosfatases, as fosfomonoesterases tem se destacado devido sua importância na mineralização do P de compostos orgânicos e na disponibilização às plantas (Peixoto, 2010).

As fosfatases podem ser ácidas ou alcalinas, a depender do pH da atividade máxima das enzimas (Tabatabai, 1982), sendo sensíveis a alterações sazonais, na qual mostram maior atividade no período de chuva (Baldrian et al., 2013).

São produzidas por microrganismos (bactérias e fungos) relacionados à degradação de compostos orgânicos no solo, no qual, ao terem suas atividades estimuladas, sofrendo influência indireta do carbono e nitrogênio do solo (Salazar et al., 2011).

Sendo as fosfatases bons indicadores da fertilidade do solo (Balota et al., 2013), esse grupo de enzimas apresenta papel fundamental no ciclo do P nos solos, sendo correlacionadas à deficiência de P e ao crescimento das plantas (Skujins, 1967).

A atividade elevada das fosfatases pode estar relacionada aos baixos níveis de fosfatos inorgânicos (Skujins, 1967), sendo que em solos com baixos teores de P, aumenta-se a liberação de fosfatases, elevando a mineralização e remobilização do fosfato (Nannipieri et al., 1978).

2.5.3. Arilsulfatases

A arilsulfatase é formada por um grupo de enzimas catalisadoras da hidrólise de ésteres de aril sulfatos orgânicos, sendo encontrada em animais, plantas e microrganismos. É responsável por parte da ciclagem do enxofre nos solos, na qual mineraliza o S orgânico em sulfato (Tabatabai, 1994).

A arilsulfatase está presente em quase todos os solos. Sua atividade é influenciada por fatores ambientais (pH, umidade e temperatura), apresentando atividade máxima em ambientes com temperatura entre 20 °C e 40 °C e umidade relativa do solo igual ou superior a 60 % (Moreira e Siqueira, 2006).

A atividade da arilsulfatase é sensível à sazonalidade, no qual em períodos chuvosos sua atividade é maior em relação ao período de seca (Nogueira e Melo, 2003; Silva et al., 2012).

No geral, a atividade da arilsulfatase apresenta relação direta com o teor de matéria orgânica na superfície do solo, pois esta fornece o substrato (ésteres de sulfato) à aquela (Nogueira e Melo, 2003), sendo que a atividade dessa enzima é estimulada pela microbiota do solo a partir de maiores concentrações de N e C (Vong et al., 2004).

Nos solos, parte das arilsulfatases é secretada por bactérias em resposta à limitação do enxofre (Mcgill e Cole, 1981), na qual sua ocorrência está correlacionada à biomassa microbiana e ao nível de imobilização do S (Klose e Tabatabai, 1999).

2.5.4. Hidrólise do diacetato de fluoresceína – FDA

A hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) expressa a atividade de um grupo de enzimas (lipases, esterases, proteases), capazes de realizá-la (Balota et al., 2013), sendo que pode ser hidrolisado por algas, protozoários e tecidos animais, podendo a reação ser utilizada para colorir células microbianas metabolicamente ativas (Melo et al., 2010).

A FDA tem sido utilizada para avaliar a atividade microbiana nas amostras de solo (Alencar e Costa, 2000; Costa et al., 1996, 2000; Costa, 1995), sendo um instrumento eficaz como indicador da qualidade de solos em áreas degradadas, recuperadas e nativas (Godoi, 2001).

A atividade de hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) está associada ao processo oxidativo de moléculas orgânicas, refletindo o estado metabólico do solo (Fernández et al., 2009; Nannipieri et al., 1983; Trasar-Cepeda et al., 2008), no qual o pH na faixa de 7 a 8 é a condição ótima para a hidrólise do FDA (Melo et al., 2010).

3. OBJETIVOS

3.1. Geral

Avaliar a influência da dose e da granulometria do biochar de caroço-de-açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) sobre atributos biológicos do solo e sobre as características de mudas de pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.).

3.2. Específicos

- Caracterizar as propriedades químicas do biochar de caroço do açai;
- Averiguar a capacidade de retenção de água, carbono da biomassa microbiana, atividade enzimática e umidade dos solos com e sem a inserção do condicionador de solo produzido, detectando seu potencial de utilização;
- Comparar as características do solo submetido à diferentes doses e granulometrias do biochar confeccionado, avaliando os efeitos da aplicação do mesmo em solos arenoso, bem como quantificar e comparar os efeitos dessa interação (dose vs granulometria) sobre o desenvolvimento vegetativo de mudas de pimenta-do-reino (cv. laçará);
- Avaliar características agrônômicas na muda da pimenta-do-reino cultivada com e sem o biochar.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local do Estudo

O experimento foi conduzido ao ar livre, em área pertencente ao Instituto Federal do Pará - IFPA, Campus Castanhal/PA, situado à margem da BR 316, km 63, cujas coordenadas geográficas são 01°18'18" Sul e 47°56'52" Oeste (Figura 1), com altitude de 47 m. A classificação climática para a região, segundo Köppen-Geiger é Af, ou seja, clima equatorial. A precipitação e a temperatura média anual situam-se próximas de 2.432 mm e 26,5° C, respectivamente.



Figura 1. Localização do município de Castanhal/PA

Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Castanhal#/media/File:Para_Municip_Castanhal.svg

O solo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, distrófico concrecionário, A moderado, textura média/argilosa, relevo suave ondulado e ondulado dissecado (Paulo e Antônio, 1999).

4.2. Planta Teste

A planta teste foi a pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L) cv laçará (Figura 2A).

Para a produção das mudas, as estacas (Figura 2B) herbáceas de pimenta-do-reino foram obtidas junto a um viveiro certificado localizado na cidade de Castanhal, PA, sendo que a cultivar laçará foi selecionada por ser uma das mais

comuns e produtivas na região. Tais estacas foram retiradas de pimentais sadios, vigorosos, livres de sintomas de doenças e deficiência nutricional.



Figura 2 (A, B). Pimental sadio e estaca com 3 nós

4.3. Coleta e Caracterização do Solo

O solo utilizado no experimento foi coletado na camada 0 – 0,20 m na Fazenda Escola do IFPA, Campus Castanhal, em área próxima à mata secundária.

No início do experimento, amostra de solo foi analisada quimicamente para fins de fertilidade, de acordo com a metodologia escrita por Teixeira et al. (2017). Com base nos resultados, o solo foi submetido à calagem (1 t ha^{-1}) de acordo com Franzini et al. (2014), com calcário agrícola (PRNT: 75 à 82 %; CaO: 28 à 30 %; MgO: 18 à 20 %).

Após isso, o solo foi acondicionado em sacos plásticos de polietileno e deixado em descanso ao ar livre por 60 dias com precipitação média mensal de 90 mm. Posteriormente, houve a mistura com o biochar e em seguida o plantio das estacas de pimenta-do-reino.

A análise química e física do solo, após a calagem, foi realizada conforme metodologia indicada por Teixeira et al. (2017), obtendo-se: pH (H_2O): 6,1; Fósforo (P, método de Mehlich): 200 mg dm^{-3} ; Potássio (K^+): $0,583 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Cálcio (Ca^{2+}): $22,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Magnésio (Mg^{2+}): $6,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Enxofre (S): 36 mg dm^{-3} ; Alumínio (Al^{3+}): $0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$): $1,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Saturação por bases (V%): 95; Saturação por Alumínio (m%): 0; Capacidade de troca catiônica (CTC): $30,78 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Matéria orgânica (MO): 2,7 %; Ferro (Fe): 200 mg dm^{-3} ; Manganês (Mn): 36 mg dm^{-3} ; Boro (B): $0,2 \text{ mg dm}^{-3}$; Zinco (Zn): $2,3 \text{ mg dm}^{-3}$; Cobre (Cu): $4,6 \text{ mg dm}^{-3}$; Sódio (Na): 1 mg dm^{-3} ; Argila: 6 %; Silte: 2 %; Areia: 92 %.

4.4. Produção de Biochar

O caroço do açaí foi recolhido ao acaso, em uma micro agroindústria de açaí, localizada no município de Castanhal/PA, sendo acondicionado na parte interna de um forno rústico construído a partir de dois tambores de ferro com formato cilíndrico e capacidades de 50 L e 200 L (Figura 3A).

Para a montagem do forno, colocou-se o tambor menor dentro do maior, de tal forma que houvesse espaço entre as paredes dos cilindros. O caroço de açaí foi colocado dentro do tambor menor que em seguida foi fechado, limitando a oxigenação interna. No espaço existente entre as paredes dos dois tambores foram colocados outros resíduos encontrados no local, até preencher os espaços vazios, servindo estes como combustível para queima (Figura 3B).

Após a montagem do forno, foi ateado fogo nos resíduos colocados entre os tambores e fechou-se o tambor maior, deixando apenas uma chaminé para saída da fumaça (Figura 3C).



Figura 3 (A, B, C). Forno rústico utilizado para confecção do biochar

Por pirólise, o caroço de açaí passou pela queima indireta por 12 h, sendo carbonizado sem que as chamas tivessem contato com o resíduo estudado.

Após esfriar, o forno foi aberto, coletando-se o biochar produzido no interior do cilindro menor, obtendo-se um rendimento de 75 % em relação ao volume inicial, estando o mesmo pronto para o uso agrícola.

4.5. Caracterização do biochar

Após a obtenção do biochar do caroço de açaí, realizou-se a análise química conforme metodologia do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2017).

Os resultados obtidos para análise química do biochar foram: pH (H₂O): 6,9; Matéria orgânica (M.O.): 64,6 %; Umidade: 4,9 %; Nitrogênio (N): 1,4 %; Fósforo (P): 0,28 %; Potássio (K⁺): 1,04 %; Cálcio (Ca²⁺): 0,58 %; Magnésio (Mg²⁺): 0,08 %; Enxofre (S): 0,01 %; Cobre (Cu): 58 mg kg⁻¹; Ferro (Fe): 173 mg kg⁻¹; Manganês (Mn): 782 mg kg⁻¹; Zinco (Zn): 235 mg kg⁻¹.

4.6. Instalação e condução do experimento

4.6.1. Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 4x4+1, com um tratamento adicional, o controle (com somente solo).

Foram 4 granulometrias e 4 doses do biochar em 5 repetições. O tratamento controle não recebeu biochar. Portanto, foram 17 tratamentos e 85 unidades experimentais.

4.6.2. Preparo dos tratamentos

As granulometrias do biochar foram definidas por peneiras comerciais com malhas 3, 5, 7 e 12 mm.

O cálculo das doses de biochar foi feito, considerando-se a área dos recipientes usados no experimento, e, as quantidades utilizadas foram 4, 8, 16 e 32 g, equivalentes a 4, 8, 16 e 32 t ha⁻¹, base seca.

O solo e o biochar, nas suas granulometrias (Figura 4) e doses, foram misturados manualmente e acondicionados nos recipientes, obtendo as misturas desejadas de biochar e solo.

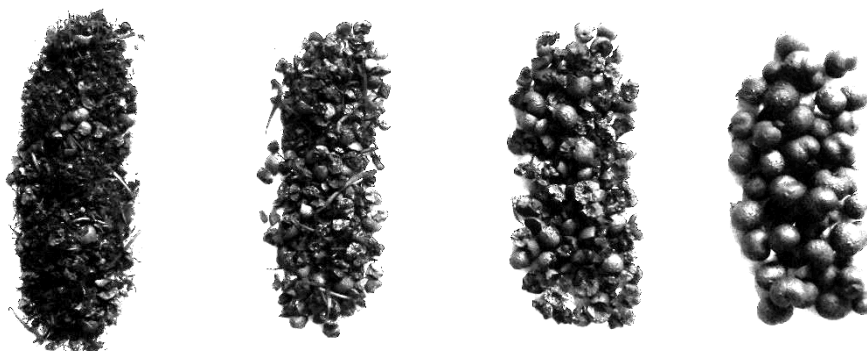


Figura 4. Granulometria do biochar (3, 5, 7 e 12 mm, respectivamente a Figura)

4.6.3. Preparo das mudas e condução do experimento

Aos 45 dias de ação do calcário no solo, realizou-se, nas espaldeiras, o corte das estacas de pimenta-do-reino com 3 nós (Figura 2B). Conforme recomendação técnica, em seguida as mergulhou em solução antifúngica (150 g de Ridomil, 100 mL de Carbomax, 50 mL de Nativo e 250 L água) para posterior plantio no viveiro enraizador com areia lavada.

As estacas foram colocadas na posição vertical, ligeiramente inclinadas, com os três nós enterrados, permanecendo visível apenas uma folha, cortada ao meio para diminuir a transpiração, condição que permaneceu durante 15 dias.

As estacas foram protegidas do sol com sombreamento de 50 % e regadas diariamente sem o encharcamento da areia, evitando assim o apodrecimento das raízes e morte das plantas (Lemos e Poltronieri, 2014).

Após 15 dias no enraizador, as estacas foram novamente mergulhadas em solução fúngica e em seguida transplantadas para sacos de plásticos preto perfurados (27 cm x 17 cm x 0,10 cm = 6 dm³), preenchidas com o solo e as misturas de biochar.

Em seguida, as mudas foram acondicionadas em viveiro com laterais abertas e cobertura que proporcionou sombreamento de 50 %. As plantas ficaram neste viveiro por 6 meses, sendo que durante o período do experimento não houve adubação, apenas a calagem inicial como correção e preparo do solo.

A irrigação durante o período em que estiveram no enraizador e nos dois primeiros meses após o plantio em sacola foi realizada diária e manualmente, por meio de regador, não havendo diferenciação entre os tratamentos. A partir do terceiro mês após o plantio nos sacos de plásticos, por se tratar de período com chuvas regulares, com precipitação média mensal de 400 mm, deixou-se de irrigar.

4.7. Avaliações nas plantas e no solo

4.7.1. Variáveis do solo

- Umidade: quantificada pela diferença de peso da amostra de solo antes e depois de secagem em estufas a 105 °C, por 24 h (Teixeira et al., 2017).

- Capacidade de retenção de água (CRA): aplicou-se a metodologia indicada por Kämpf et al. (2006). A amostra de solo foi umedecida por capilaridade até a

saturação e submetida à livre drenagem até que parasse de gotejar. Em seguida determinou-se a umidade como descrito anteriormente.

- Carbono da biomassa microbiana (BMS-C): os valores foram estimados pelo método da extração-fumigação (De-Polli e Guerra, 1997; Jenkinson e Powlson, 1976; Silva et al., 2007).

- Atividade enzimática: verificou-se atividades de enzimas do solo associadas ao ciclo do: carbono (celulase), determinada de acordo com Pancholy e Rice (1973); carbono e nitrogênio (hidrólise do diacetato de fluoresceína-FDA), determinada pelo método proposto por Schnurer e Rosswall (1982); fósforo (fosfatase ácida), avaliada pela metodologia indicada por Eivazi e Tabatabai (1977); e enxofre (arilsulfatase), pelo método proposto por Melo et al. (2010) e Tabatabai e Bremner (1970).

4.7.2. Variáveis da planta

- Altura das plantas: utilizou-se régua graduada em milímetros, com precisão de 0,25 mm, tomando por base de medida a distância vertical entre a superfície do solo e a gema apical da planta;

- Diâmetro do caule: foi utilizado um paquímetro digital, medindo o lado mais grosso do caule, tomando por base de medida o nível do solo;

- Número de folhas: contou-se o número de folhas totalmente abertas;

- Área foliar da última folha totalmente expandida (cm²): fotografou-se a última folha totalmente expandida com uma régua graduada em milímetros ao lado e posterior tratamento da imagem no software AFSOft (Jorge e Silva, 2009);

- Quantidade de espigas: contou-se o número de espigas nascidas;

- Massa seca - MS (folhas; caule e ramos; raízes): as plantas foram lavadas (Prado, 2008) e separadas em folhas, caules e ramos, e raiz; foram colocadas em sacos de papel; pesadas; secas em estufa com circulação forçada de ar a temperatura de 65 °C até peso constante (72 h) e novamente pesadas.

4.8. Amostragens da planta e de solo

Durante a pesquisa, todas as 85 plantas foram avaliadas, e ao final foram retiradas dos sacos plásticos, lavadas, secas, trituradas e analisadas, tendo em seguida removido o solo, direcionando-o parte para análises imediatas de umidade e

CRA, e parte colocado em bandejas para secar ao ar e à sombra, para posteriormente ser destorroado, peneirado (2 mm), acondicionado e analisado.

4.9. Análise dos Resultados

Para avaliação dos resultados obtidos foi realizada a análise de variância, com a aplicação de teste F (Ferreira, 2011). Quando o teste F foi significativo a no mínimo 5 % de probabilidade, realizou-se análise de regressão polinomial e a comparação de médias pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Para isso, utilizou-se o software AgroEstat (Barbosa e Maldonado Jr., 2015).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Variáveis no solo

Dentre as variáveis avaliadas no solo, a umidade apresentou diferença estatística tanto para doses quanto para granulometrias (Tabela 1), apresentando intervalo de variação de 23,38 % no solo com dose 16 t ha⁻¹ e granulometria 12 mm a 34,11 % no solo com dose 4 t ha⁻¹ e granulometria 5 mm, valores semelhantes aos encontrados em solos do Estado de São Paulo (Bononi, 2016).

Os tratamentos com doses 8 e 32 t ha⁻¹ e/ou granulometrias 3, 5 e 7 mm apresentaram maior umidade (solo), sendo influenciado pela maior capacidade de retenção de água, alteração da drenagem e menor evaporação de água (Tabela 1).

A diferença entre granulometrias (3, 5, 7 e 12 mm) reforça os resultados encontrados neste trabalho, pois a inserção do biochar pode ter afetado o espaço de aeração do solo e, conseqüentemente, a distribuição dos poros, responsáveis pelo armazenamento de ar (Abad et al., 2004; Richards et al., 1986).

Granulometria maiores do biochar proporciona aumento nos valores de espaço de aeração, devido à diminuição da superfície de contato entre as partículas, porém diminui a umidade no solo, podendo ocasionar deficiências hídricas às plantas em virtude de valores elevados de aeração (Zorzeto, 2011), justificando o menor resultado nos tratamentos compostos pela maior granulometria estudada.

As menores granulometrias tendem a apresentar menores valores de espaço de aeração, podendo dificultar o desenvolvimento radicular em condições de altas lâminas de irrigação (Zorzeto, 2011).

Os espaços de aeração que permitem a respiração do solo são indicativo para avaliar a atividade biológica dos organismos (Dinesh et al., 2004; Ros et al., 2006; Vanhala et al., 2005), refletindo no aumento da qualidade e mineralização da matéria orgânica do solo (MOS) e, conseqüentemente, desenvolvimento da planta.

A umidade do solo, juntamente com a temperatura, provavelmente melhoraram a atividade microbiana (Giannakis et al., 2014; Oliveira e Ferreira, 2014), além de influenciar na alta acidez do solo e rápida decomposição da matéria orgânica.

Tabela 1. Resultados da análise de variância (Teste F) e comparação das médias para as variáveis do solo

Causas de Variação	GL	F							
		Umidade	CRA	BMS-C	Celulases	Fosfatases	Arilsulfatases	FDA	
Dose	3	3,58*	4,30**	0,99NS	1,23NS	1,46NS	1,39NS	2,05NS	
Granulometria	3	5,71**	2,69*	0,80NS	1,89NS	2,78*	1,96NS	2,45NS	
Ef. Interação DxG	9	1,22NS	0,92NS	0,94NS	1,00NS	0,62NS	1,99NS	2,35*	
(Fatorial)	15	2,59**	1,95*	0,92NS	1,22NS	1,22NS	1,86*	2,31*	
Trat.Controle vs Fatorial	1	0,24NS	1,34NS	1,04NS	3,36NS	5,77*	5,06*	6,20*	
(Tratamentos)	16	2,44**	1,91*	0,93NS	1,36NS	1,51NS	2,06*	2,55**	
Blocos	4	2,71*	5,70**	0,31NS	1,80NS	0,92NS	4,03**	6,51**	
Resíduo	64	-	-	-	-	-	-	-	
Total	84	-	-	-	-	-	-	-	
CV (%)	-	6,67	5,12	63,29	63,55	40,08	34,00	9,07	
Dose									
4		28,88 b	27,94 b	18,13 a	0,86 a	271,72 a	196,75 a	441,25 a	
8		30,58 a	28,56 ab	25,15 a	0,80 a	283,07 a	208,20 a	455,80 a	
16		28,83 b	27,78 b	20,57 a	0,80 a	329,71 a	240,06 a	461,54 a	
32		29,13 ab	29,26 a	20,71 a	0,59 a	335,23 a	226,14 a	473,06 a	
Granulometria									
3		29,83 a	28,94 a	24,20 a	0,77 a	315,65 ab	234,35 a	463,39 a	
5		30,40 a	28,58 ab	17,77 a	0,70 a	346,11 a	222,31 a	474,24 a	
7		29,24 ab	28,35 ab	21,13 a	0,63 a	316,16 ab	229,91 a	440,22 a	
12		27,95 b	27,67 b	21,45 a	0,96 a	241,81 b	184,58 a	453,81 a	
Média dos Fatoriais		29,35 a	28,38 a	21,14 a	0,76 a	304,93 a	217,79 a	457,92 a	
Média do Trat. Controle		28,91 a	27,61 a	14,95 a	0,37 a	173,00 b	142,58 b	410,54 b	
DMS (5%)		1,63	1,21	10,97	0,39	99,35	60,52	34,44	

Significância do teste F: ** = (P<0,01); * = (P<0,05); NS = (P>0,05). Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo Teste de Tukey (5%)

Em situações de vaso, com raízes concentradas em volume restrito, o movimento do potássio ocorreu pelo fenômeno de fluxo de massa, de modo que a umidade do solo afetou o contato com a raiz e a sua absorção (Rosolem et al., 2003). Mantendo níveis adequados de umidade, poderá ocorrer aumento da absorção de potássio, refletindo em maior produção da massa seca (Muraishi, 2008).

Os níveis de umidade do solo permitem melhor entender os porquês dos resultados concernentes à parte aérea da planta, pois essa umidade favoreceu a mineralização da MOS, bem como a difusão dos nutrientes no solo (Malavolta et al., 1997; Martinez e Maia, 2010; Maynard e Hochmuth, 2007; Raij et al., 1997).

A adição do biochar do caroço de açaí melhorou a capacidade de retenção de água (CRA) do solo, apresentando diferença estatística entre doses e granulometria (Tabela 1), com intervalo de variação de 25,34 % no solo com dose 16 t ha⁻¹ e granulometria 12 mm a 36,09 % no solo com dose 32 t ha⁻¹ e granulometria 3 mm.

Assim, o maior valor do CRA foi com a composição do biochar com maior dose e menor granulometria (Tabela 1), índice importante para calcular os volumes de água a serem usados nos sistemas de irrigação.

Esses resultados evidenciam a importância e utilidade do biochar em regiões com períodos grandes de estiagem, servindo este de condicionador de solo como ferramenta para aumentar a reserva e disponibilidade de água para a planta.

Os resultados da análise de variância para os dados de capacidade de retenção de água indicaram que houve significância ($P < 0,01$) entre doses, ou seja, o experimento dá certeza de 99 % de que o uso de doses de biochar do caroço de açaí trouxe mudanças significativas quanto ao atributo CRA, havendo tratamentos com maior e menor CRA.

Pesquisas indicam que a incorporação de matéria orgânica melhora as propriedades físicas do solo, refletindo no desempenho produtivo das culturas (Berton et al., 1989; Galbiatti, 1992; Nuvolari et al., 1996).

Henin et al. (1976) relacionaram esse efeito com o regime de água. Melhorando a capacidade de infiltração, acelera-se o processo dinâmico da água no solo, ocasionando melhoria na estrutura do solo com maior desenvolvimento das raízes.

Quanto ao carbono da biomassa microbiana, a análise de variância demonstrou não haver diferença entre os fatores analisados (Tabela 1), variando de 13,95 mg C microbiano kg^{-1} no solo com dose 4 t ha^{-1} e granulometria 12 mm a 30,54 mg C microbiano kg^{-1} no solo com dose 8 t ha^{-1} e granulometria 3 mm.

Os tratamentos constituídos com doses de 8 e 32 t ha^{-1} e menores granulometrias (3 e 5 mm) foram os que resultaram em maiores valores quanto a umidade e capacidade de retenção de água.

As doses e granulometrias do biochar não causaram diferença estatística entre os tratamentos no que se refere à atividade enzimática das celulasas (Tabela 1), apresentando intervalo de variação de 0,01 mg de glicose kg^{-1} TFSE h^{-1} no solo com dose 32 t ha^{-1} e granulometria 7 mm a 2,17 mg de glicose kg^{-1} TFSE h^{-1} no solo com dose 4 t ha^{-1} e granulometria 12 mm, valores abaixo dos encontrados em solos dos Estados de Rondônia (Donha et al., 2016) e São Paulo (Peixoto, 2010).

As fosfatases apresentaram significância estatística entre as granulometrias e entre todos tratamentos com a aplicação do biochar em relação ao tratamento controle (Tabela 1).

O intervalo de variação apresentado pelas fosfatases foi de 18,81 mg de p-nitrofenol kg^{-1} TFSE h^{-1} no solo com dose 4 t ha^{-1} e granulometria 12 mm a 801,80 mg de p-nitrofenol kg^{-1} TFSE h^{-1} no solo com dose 32 t ha^{-1} e granulometria 12 mm, valores semelhantes aos encontrados em solos do Estado de Mato Grosso (Matsuoka et al., 2003), porém maiores aos encontrados no Estado de São Paulo (Peixoto, 2010).

Quanto às granulometrias, que apresentaram diferenças estatísticas, os tratamentos com as menores partículas (3, 5 e 7 mm) possibilitaram maior umidade e capacidade de retenção da água, o que pode ter possibilitado aumento da atividade enzimática das fosfatases (Tabela 1).

Os tratamentos que obtiveram adição do biochar apresentaram maior atividade das fosfatases em relação ao tratamento controle, indicando que a adição do biochar possivelmente aumentou a qualidade do solo (Tabela 1).

Por serem enzimas produzidas por microrganismos e estarem relacionadas à degradação de compostos orgânicos no solo, ao estimular a atividade dos microrganismos, estas sofrem influência indireta do carbono e nitrogênio (Salazar et

al., 2011), sendo que, de acordo com Skujins (1967), os tratamentos que apresentaram maior atividade de fosfatases são consequência, entre outras coisas, de baixos níveis de fosfatos inorgânicos.

A atividade da enzima arilsulfatase não demonstrou significância estatística quanto à dose, granulometria ou interação desses fatores. Houve diferença apenas entre os tratamentos com biochar e o tratamento controle (Tabela 1).

O intervalo de variação apresentado pela arilsulfatase foi de 20,57 mg de p-nitrofenol kg^{-1} TFSE h^{-1} no solo com dose 4 t ha^{-1} e granulometria 12 mm a 422,43 mg de p-nitrofenol kg^{-1} TFSE h^{-1} no solo com dose 4 t ha^{-1} e granulometria 3 mm, valores maiores do que os encontrados em solos do Estado de São Paulo (Nogueira e Melo, 2003; Peixoto, 2010).

Quanto à hidrólise do diacetato de fluoresceína – FDA, que também expressa a atividade de um grupo de enzimas (lipases, esterases, proteases), essa foi a que apresentou maior atividade nos tratamentos, demonstrando que a inserção do biochar aumentou a atividade enzimática da FDA.

As doses e granulometrias estudadas não apresentaram diferença estatística quando analisadas isoladamente (Tabela 1), porém houve significância na interação dos fatores, demonstrando que os fatores não agem de forma isolada, mas sim interligados (Tabela 2), bem como dos fatores em relação ao tratamento controle.

Tabela 2. Interação entre as médias de doses e granulometria para a atividade da hidrólise do diacetato de fluoresceína-FDA (mg de fluoresceína kg^{-1} TFSE h^{-1})

Dose (t ha^{-1})	Granulometria (mm)			
	3	5	7	12
4	453,32 A a	453,04 A ab	432,80 A a	425,82 A a
8	451,49 A a	443,34 A b	450,28 A a	478,10 A a
16	451,23 ABa	517,24 A a	405,04 Ba	472,67 ABa
32	497,50 A a	483,37 A ab	472,75 A a	438,63 A a
DMS (5%) = 68,88				

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na linha e médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O efeito significativo das doses foi demonstrado apenas quanto à granulometria 5 mm, assim como a interação das granulometrias houve diferença apenas na dose 16 t ha^{-1} , porém com base na equação de regressão (Figura 5), o melhor resultado para a atividade das enzimas FDA foi encontrado no tratamento em

que houve a combinação da dose 21 t ha⁻¹ e da granulometria 5 mm, confirmando que maiores quantidades de biochar melhoram o teor de matéria orgânica, o que aumenta a atividade enzimática, servindo a FDA como instrumento para estimar a atividade microbiana do solo (Alencar e Costa, 2000; Costa et al., 1996, 2000; Costa, 1995).

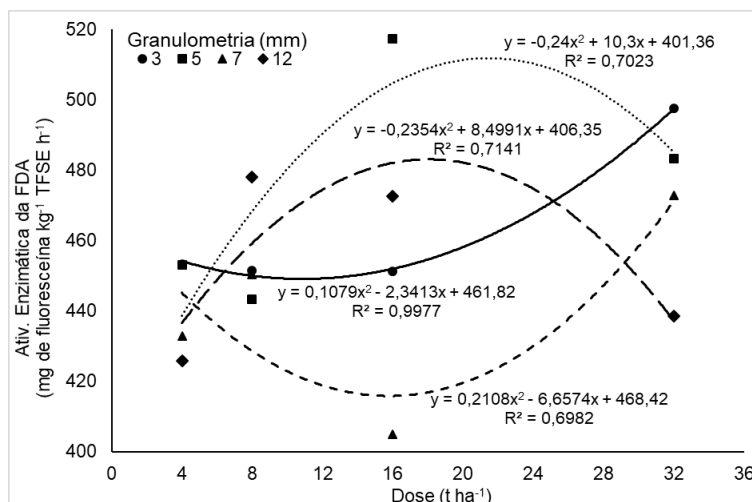


Figura 5. Equação de regressão expressando o efeito das doses de biochar dentro de cada granulometria para atividade enzimática da FDA

Isso é possível devido a FDA estar associada ao processo oxidativo de moléculas orgânicas, refletindo o estado metabólico do solo (Fernández et al., 2009; Nannipieri et al., 1983; Trasar-Cepeda et al., 2008), reforçando a ideia de Godoi (2001) que afirma ser o método de diacetato de fluoresceína um instrumento eficaz como indicador da qualidade de solos.

O intervalo de variação das enzimas FDA foi de 315,61 mg de fluoresceína kg⁻¹ TFSE h⁻¹ no solo com dose 4 t ha⁻¹ e granulometria 5 mm a 556,45 mg de fluoresceína kg⁻¹ TFSE h⁻¹ no solo com dose 16 t ha⁻¹ e granulometria 5 mm, valores acima dos encontrados em solos dos Estados de São Paulo (Peixoto, 2010) e Sergipe (Silva et al., 2004).

5.2. Variáveis das mudas de pimenta-do-reino

Analisando os dados das características da planta, observou-se que, todos os tratamentos com adição do biochar influenciaram no desenvolvimento das mudas. Houve tratamentos em que o efeito foi positivo, enquanto que em outros foi negativo.

As granulometrias avaliadas do biochar causaram diferença estatística entre os tratamentos no que se refere à altura (Tabela 3), sendo que uma das possíveis

causas do efeito negativo em granulometrias maiores está no fato de possuir menor superfície de contato, enquanto a menor fração do biochar, ao se misturar com o solo, ocupar os espaços vazios que há entre as partículas, reduzindo o espaço de aeração, causando problemas de drenagem e trocas gasosas.

Menores granulometrias são propensas à precipitação e lixiviação, o que afeta diretamente a disponibilização do biochar e ação na planta, como ocorrido nos experimentos de Mendonça (2017), Miyasaka et al. (2001) e Zanetti et al. (2003).

Houve ainda significância na relação das doses dentro das granulometrias e das granulometrias dentro das doses, na qual a combinação dose 16 t ha⁻¹ e granulometria 5 mm apresentou maior resultado, indicando que um fator é influenciado e está interligado ao outro (Tabela 4).

A interação das doses com a granulometria é justificada por haver relação diretamente proporcional da quantidade de biochar aplicado com a aeração do solo e a disponibilização de nutrientes à planta, o que permite à planta alocar mais energia e fotossintatos em seu crescimento, como apresentado por Souchie et al. (2011) em seu experimento com carvão vegetal de *Eucalyptus* sp. no cultivo de tachi-branco (*Tachigali vulgaris*) e por Silva (2016) com a utilização do biochar da casca e da borra do café (*Coffea*) na produção de milho e feijão.

O efeito dessas relações, reforçada pela equação de regressão (Figura 6), reafirma que o melhor resultado no desenvolvimento em altura foi o tratamento com dose 22 t ha⁻¹ e da granulometria 5 mm (Figura 6).

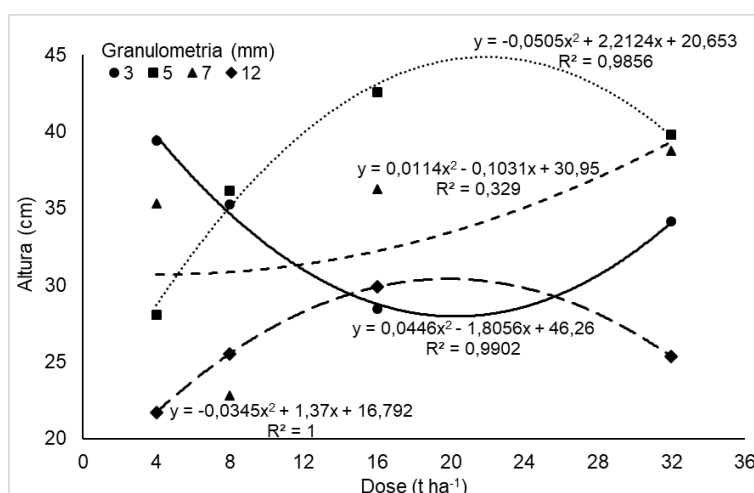


Figura 6. Equação de regressão expressando o efeito das doses de biochar dentro de cada granulometria para altura

Tabela 3. Resultados da análise de variância (Teste F) e comparação das médias para as variáveis da planta

Causas de Variação	GL	F								
		Altura	Diâmetro	Nº Folhas	Área Foliar	Nº Espigas	Raiz	Folha	Caule e Ramos	Total
Dose	3	1,92NS	0,63NS	0,89NS	1,13NS	0,44NS	2,24NS	2,30NS	3,70*	3,09*
Granulometria	3	8,35**	0,75NS	4,53**	5,40**	0,98NS	2,40NS	5,31**	0,18NS	1,54NS
Ef. Interação DxG	9	3,08**	1,78NS	1,94NS	1,84NS	0,65NS	3,11**	2,18*	0,55NS	1,26NS
(Fatorial)	15	3,90**	1,34NS	2,25*	2,41**	0,68NS	2,83**	1,10NS	1,68NS	2,83**
Trat.Controle vs Fatorial	1	7,56**	0,05NS	6,55*	0,38NS	1,52NS	0,10NS	0,22NS	2,22NS	0,10NS
(Tratamentos)	16	4,13**	1,26NS	2,52**	2,28*	0,73NS	2,66**	1,05NS	1,71NS	2,66**
Blocos	4	1,22NS	4,51**	4,22**	0,10NS	2,47NS	1,71NS	1,81NS	2,21NS	1,71NS
Resíduo	64	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	84	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	23,16	15,89	33,63	40,18	186,95	26,46	42,63	26,68	26,46
Dose										
4		31,14 a	8,66 a	18,05 a	19,80 a	0,55 a	16,41 a	26,83 a	36,12 a	79,35 a
8		29,94 a	8,59 a	16,40 a	19,38 a	0,95 a	15,13 a	21,70 a	25,54 b	62,37 b
16		34,31 a	9,11 a	17,95 a	16,16 a	0,60 a	19,14 a	24,13 a	27,09 ab	70,36 ab
32		34,52 a	8,99 a	19,45 a	17,20 a	0,85 a	18,28 a	23,28 a	25,03 b	66,60 ab
Granulometria										
3		34,32 a	8,44 a	17,35 ab	15,22 b	0,35 a	15,50 a	21,70 b	29,98 a	67,18 a
5		36,67 a	9,06 a	21,45 a	15,27 b	0,90 a	16,47 a	21,80 b	27,45 a	65,72 a
7		33,29 a	8,95 a	18,40 ab	18,77 ab	1,00 a	17,12 a	23,80 ab	27,77 a	68,69 a
12		25,63 b	8,89 a	14,65 b	23,28 a	0,70 a	19,87 a	28,66 a	28,58 a	77,11 a
Média dos Fatoriais		32,48 a	8,84 a	17,96 a	18,14 a	0,74 a	17,24 a	23,99 a	28,44 a	69,67 a
Média do Trat. Controle		23,10 b	8,69 a	11,00 b	20,21 a	0,00 a	8,15 b	23,06 a	25,83 a	57,05 a
DMS (5%)		6,17	1,17	4,92	6,12	1,08	4,51	5,28	10,06	15,34

Significância do teste F: ** = (P<0,01); * = (P<0,05); NS = (P>0,05). Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo Teste de Tukey (5%)

Tabela 4. Interação entre as médias de doses e granulometria para altura (cm)

Dose (t ha ⁻¹)	Granulometria (mm)			
	3	5	7	12
4	39,40 A a	28,10 AB b	35,33 A a	21,73 Ba
8	35,28 A a	36,16 A ab	22,79 B b	25,53 ABa
16	28,47 Ba	42,60 A a	36,26 ABa	29,90 Ba
32	34,15 ABa	39,80 A ab	38,78 A a	25,35 Ba
DMS (5%) = 12,34				

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na linha e médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao final do experimento a altura apresentou intervalo de variação de 21,72 cm com dose 4 t ha⁻¹ e granulometria 12 mm a 42,60 cm com dose 16 t ha⁻¹ e granulometria 5 mm.

O desenvolvimento aéreo em diâmetro não apresentou diferença estatística (Tabela 3), variando entre o intervalo de 5,30 cm ao nível do solo o tratamento composto por dose 16 t ha⁻¹ e granulometria 7 mm a 12,92 ao nível do solo o tratamento composto por dose 16 t ha⁻¹ e granulometria 5 mm.

A variável número de folhas obteve significância estatística ao final do experimento quanto às granulometrias (Tabela 3), na qual as menores partículas apresentaram maiores resultados, de igual forma ao atributo altura, sendo que uma das possíveis causas para esse efeito está na superfície de contato, pois ao misturar maiores frações do biochar com o solo, aumenta o espaço de aeração e perda de umidade.

O atributo número de folhas apresentou intervalo de variação de 11 folhas por planta com solos compostos por dose 4 t ha⁻¹ e granulometria 12 mm a 24 folhas por planta com solos compostos por dose 8 t ha⁻¹ e granulometria 5 mm.

Quanto ao atributo área foliar da última folha totalmente expandida, demonstrou significância apenas na granulometria (Tabela 3), variando de 4,42 cm² no tratamento composto por dose 8 t ha⁻¹ e granulometria 5 mm a 41,85 cm² no tratamento composto por dose 4 t ha⁻¹ e granulometria 12 mm.

Comportamento semelhante ao atributo diâmetro, observou-se no número de espigas, não apresentando significância entre os tratamentos (Tabela 3), variando de 0 unidades no tratamento controle (dose 0 t ha⁻¹ e granulometria 0 mm) a 5 unidades no tratamento com dose 4 t ha⁻¹ e granulometria 7 mm, resultado

justificado pela própria fisiologia da planta, que naturalmente inicia a produção comercial entre o segundo e o terceiro ano após o plantio (Lemos et al., 2014).

Considerando-se a produção de matéria seca, verificou-se a massa seca da planta total e de suas partes (folha, caule e ramos, e raiz) isoladamente (Tabela 3).

Na avaliação do desenvolvimento da massa seca das raízes, quanto às doses e às granulometrias, não houve diferença entre os tratamentos, porém a interação entre doses e granulometrias foi significativa a 1 %, indicando que o fator dose é influenciado e está interligado à granulometria, não agindo sozinho no desenvolvimento da massa seca das raízes, mas havendo interação entre os fatores (Tabela 5).

Tabela 5. Interação entre as médias de doses e granulometria para MS Raiz (%)

Dose (t ha ⁻¹)	Granulometria (mm)			
	3	5	7	12
4	14,63 A a	14,81 A a	21,22 A a	14,96 A b
8	12,23 Ba	11,35 Ba	10,73 B b	26,23 A a
16	18,24 A a	19,72 A a	17,92 A ab	20,61 A ab
32	16,91 A a	19,97 A a	18,55 A ab	17,70 A ab
DMS (5%) = 9,03				

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na linha e médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com base na equação de regressão, o efeito das doses de biochar dentro das granulometrias para massa seca da raiz mostra que o tratamento com dose 18 t ha⁻¹ e da granulometria 12 mm (Figura 7) foi o maior.

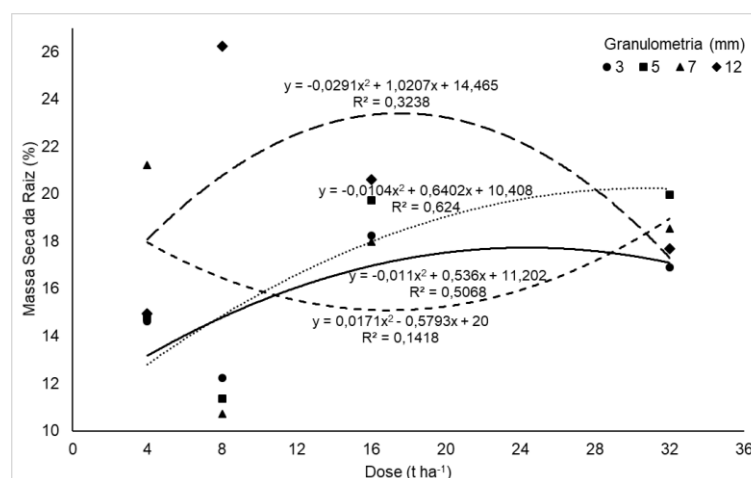


Figura 7. Equação de regressão expressando o efeito das doses de biochar dentro de cada granulometria para MS Raiz

O intervalo de variação apresentado pela massa seca da raiz foi de 8,16 % na planta controle, ou seja, dose 0 t ha⁻¹ e granulometria 0 mm, a 26,23 % com dose 8 t ha⁻¹ e granulometria 12 mm.

Vários autores encontraram aumento na biomassa com adição de biochar (Agegnehu et al., 2016; Purakayastha et al., 2016; Zhang et al., 2016), sendo que o aumento do efeito ocorre em maior espaço de tempo (Major et al., 2009).

Esses dados servem de índice eficiente e seguro para quantificar a qualidade das mudas (Parviainen, 1981), sobretudo em viveiros de mudas.

Na massa seca das folhas, as granulometrias avaliadas do biochar causaram diferença significativa a 1 % (Tabela 3), havendo ainda interação entre os fatores a 5 % de significância, indicando que os fatores influenciam um ao outro, pois agem em conjunto (Tabela 6).

Dentre o intervalo de doses estudadas, o maior resultado no efeito da interação dose e granulometria na massa seca das folhas foi no tratamento com dose 4 t ha⁻¹ e da granulometria 12 mm (Tabela 6), o que foi confirmado pela equação de regressão (Figura 8).

Tabela 6. Interação entre as médias de doses e granulometria para MS Folha (%)

Dose (t ha ⁻¹)	Granulometria (mm)			
	3	5	7	12
4	23,15 Ba	19,30 Ba	28,00 ABa	36,88 A a
8	18,99 ABa	17,25 Ba	21,02 ABa	29,53 A ab
16	22,76 A a	27,54 A a	21,66 A a	24,57 A b
32	21,85 A a	23,11 A a	24,51 A a	23,66 A b
DMS (5%) = 10,56				

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na linha e médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Uma das possíveis causas desse efeito está ligada à superfície de contato das granulometrias, pois a menor fração do biochar preenche os espaços vazios que há entre as partículas do solo, reduzindo o espaço de aeração e trocas gasosas.

Tal interação é justificada pela aeração do solo e a disponibilização de nutrientes à planta, o que pode ser influenciado pela quantidade, tamanho de partícula e composição do substrato.

Para essa variável, o intervalo de variação foi de 17,25 % com dose 8 t ha⁻¹ e granulometria 5 mm a 36,87 % com dose 4 t ha⁻¹ e granulometria 12 mm.

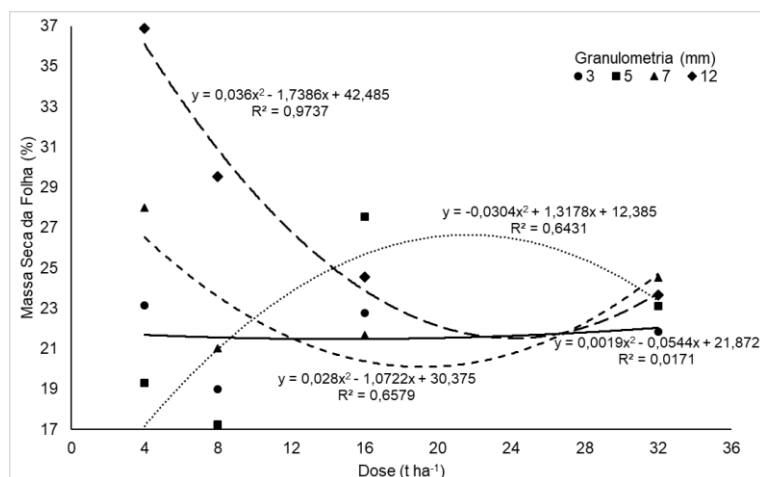


Figura 8. Equação de regressão expressando o efeito das doses de biochar dentro de cada granulometria para MS Folha

Para caule e ramos, as diferentes doses estudadas apresentaram diferença estatística quando analisadas isoladamente, tendo a dose de 4 t ha⁻¹ proporcionado o maior valor para essa característica. Não houve significância na granulometria e nem na interação dos fatores (Tabela 3).

O intervalo de variação da massa seca dos caules/ramos foi de 19,88 % com dose 8 t ha⁻¹ e granulometria 5 mm a 42,08 % com dose 4 t ha⁻¹ e granulometria 3 mm.

Assim, as plantas que apresentaram maiores desempenhos foram as com menores doses de biochar, demonstrando que, dependendo do que se avalia, pode haver excesso de nutriente e até toxidez às mudas.

Quanto a massa seca total, constatou-se que, semelhante à massa seca dos caules/ramos, houve diferença significativa apenas entre doses (Tabela 3), com melhor desenvolvimento nos tratamentos compostos por menor dose (4 t ha⁻¹), comprovando o potencial do biochar do caroço de açaí em favorecer macro e micronutrientes, matéria orgânica e a ação em reduzir o Al⁺³ no solo.

Assim como ocorre com os adubos minerais, o uso exagerado de biochar pode ocasionar prejuízos ao desenvolvimento da planta, pois o excesso de um nutriente pode inibir a ação de outros.

O intervalo de variação da massa seca total foi de 48,48 % com dose 8 t ha⁻¹ e granulometria 5 mm a 87,63 % com dose 8 t ha⁻¹ e granulometria 12 mm.

Após verificado cada atributo, tem-se ainda as correlações obtidas entre eles, de modo que, reforçando a significância nos resultados, a umidade apresentou

correlação positiva com CRA ($R^2=0,57^{**}$), indicando que quanto maior foi a capacidade de retenção de água no solo maior a umidade do solo (Tabela 7).

Correlacionando o desenvolvimento vegetativo da parte aérea, das raízes e a umidade do solo, Carneiro (1995), evidenciou que o excesso de umidade favorece a lixiviação de nutrientes, além de criar condições desfavoráveis para a circulação do ar, afetando diretamente a eficiência do sistema radicular, pois a energia usada no processo de crescimento é obtida pelas raízes por meio da respiração.

Desta forma, prejudicando a aeração do solo com excesso de umidade, o desenvolvimento radicular da planta pode ficar prejudicado, o que pode ter ocorrido com os tratamentos com granulometrias menores de biochar (Tabela 3).

As fosfatases apresentaram correlação positiva com a atividade da arilsulfatase ($R^2=0,72^{**}$) e FDA ($R^2=0,53^*$), além de correlação com o desenvolvimento aéreo da planta em altura ($R^2=0,64^{**}$) e em número de folhas ($R^2=0,56^*$) (Tabela 7), o que explica a expressiva atividade das fosfatases nos tratamentos com maiores doses (16 e 32 t ha⁻¹) e menores granulometrias (3, 5 e 7 mm) (Tabela 1).

Portanto, quanto maior a atividade enzimática da arilsulfatase e FDA, maior será a atividade das fosfatases ácidas, pois haverá um ambiente mais propício ao seu desenvolvimento (Baldrian et al., 2013), afetando positivamente no desenvolvimento aéreo em altura e número de folhas da planta.

A enzima arilsulfatase apresentou correlação com as fosfatases ácidas ($R^2=0,72^{**}$), reforçando o encontrado por Tabatabai (1982), bem como correlação positiva com o desenvolvimento aéreo em altura ($R^2=0,57^*$) e em número de folhas ($R^2=0,58^*$) da planta (Tabela 7).

Tais resultados são justificados devido à arilsulfatase ser produzida por microrganismos e plantas, com a função de mineralizar o enxofre orgânico, que é a maior parte do enxofre total do solo e maiores teores de C orgânico evidenciam maior atividade enzimática da arilsulfatase (Nogueira e Melo, 2003).

Apesar de não ter havido correlação dessa enzima com a umidade, fatores ambientais como pH, umidade e temperatura influenciam a atividade das arilsulfatases (Nogueira e Melo, 2003; Silva et al., 2012), de modo que quanto maior o teor de MOS, maior será a atividade dessa enzima (Nogueira e Melo, 2003).

Tabela 7. Quadro de Análise de Correlação e nível de significância entre as variáveis

Variável	Umidade	CRA	BMS-C	Celulase	Fosfatase	Arilsulfatase	FDA	Altura	Diâmetro	Nº de Folhas	Área Foliar	Nº de Espigas	MS Raiz	MS Folhas	MS Caule/Ramos
CRA	0,571922*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,0165	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BMS-C	0,12800NS	0,26794NS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,6244	0,2984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Celulase	-0,2189NS	-0,2438NS	-0,0280NS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,3986	0,3457	0,9149	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fosfatase	0,32770NS	0,43451NS	0,28949NS	-0,4474NS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,1991	0,0814	0,2597	0,0718	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arilsulfatase	0,13705NS	0,33244NS	0,27292NS	-0,2183NS	0,72259**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,5999	0,1923	0,2892	0,4000	0,0011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FDA	0,23686NS	0,41620NS	0,23865NS	-0,1546NS	0,534116*	0,33436NS	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,3600	0,0966	0,3563	0,5536	0,0272	0,1896	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Altura	0,27950NS	0,18178NS	-0,2255NS	-0,2759NS	0,63648**	0,573852*	0,489086*	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,2773	0,4850	0,3842	0,2838	0,0060	0,0160	0,0463	-	-	-	-	-	-	-	-
Diâmetro	-0,0585NS	0,09418NS	0,23838NS	-0,3357NS	0,44732NS	0,35475NS	0,514567*	0,33406NS	-	-	-	-	-	-	-
	0,8234	0,7192	0,3568	0,1877	0,0718	0,1624	0,0346	0,1900	-	-	-	-	-	-	-
Nº de Folhas	0,17094NS	0,24776NS	-0,3192NS	-0,2328NS	0,561925*	0,578660*	0,46354NS	0,81490**	0,33128NS	-	-	-	-	-	-
	0,5118	0,3377	0,2118	0,3685	0,0189	0,0149	0,0609	< 0,0001	0,1940	-	-	-	-	-	-
Área Foliar	-0,2086NS	-0,0248NS	0,02712NS	0,10459NS	-0,1584NS	-0,2274NS	-0,0507NS	-0,4677NS	0,10207NS	-0,2876NS	-	-	-	-	-
	0,4216	0,9246	0,9177	0,6895	0,5436	0,3801	0,8468	0,0583	0,6967	0,2631	-	-	-	-	-
Nº de Espigas	0,09630NS	0,25016NS	0,08073NS	-0,2013NS	0,23406NS	0,32317NS	0,29351NS	0,29009NS	0,44467NS	0,591913*	0,09622NS	-	-	-	-
	0,7131	0,3329	0,7581	0,4386	0,3659	0,2058	0,2529	0,2587	0,0737	0,0123	0,7133	-	-	-	-
MS Raiz	-0,1948NS	-0,0888NS	0,01521NS	0,01803NS	0,22554NS	0,22803NS	0,46150NS	0,42067NS	0,20426NS	0,589206*	-0,1002NS	0,47700NS	-	-	-
	0,4537	0,7346	0,9538	0,9452	0,3841	0,3787	0,0622	0,0927	0,4316	0,0128	0,7019	0,0529	-	-	-
MS Folhas	-0,57660*	-0,54258*	-0,3110NS	0,30880NS	-0,51176*	-0,55845*	0,03607NS	-0,1565NS	-0,1272NS	-0,0914NS	0,22031NS	0,03743NS	0,44792NS	-	-
	0,0154	0,0244	0,2243	0,2278	0,0357	0,0198	0,8907	0,5486	0,6265	0,7272	0,3955	0,8866	0,0714	-	-
MS Caule/Ramos	-0,2479NS	-0,2447NS	-0,0026NS	0,12126NS	-0,0578NS	0,11021NS	0,01004NS	0,01949NS	0,29988NS	0,04799NS	0,25365NS	-0,0350NS	0,20951NS	0,29253NS	-
	0,3374	0,3439	0,9920	0,6429	0,8255	0,6737	0,9695	0,9408	0,2422	0,8549	0,3259	0,8940	0,4196	0,2545	-
MS Total	-0,4557NS	-0,3953NS	-0,1284NS	0,20216NS	-0,1550NS	-0,0878NS	0,21320NS	0,11843NS	0,18454NS	0,23131NS	0,18279NS	0,19717NS	0,71687**	0,76582**	0,72594**
	0,0660	0,1163	0,6234	0,4365	0,5525	0,7377	0,4113	0,6508	0,4783	0,3717	0,4826	0,4481	0,0012	0,0003	0,001

Significância do teste F: ** = (P<0,01); * = (P<0,05); NS = (P>0,05).

Portanto, esses resultados fornecem informações sobre a mineralização e a transformação dos compostos de enxofre no solo, sendo um indicador indireto de biomassa fúngica, pois apenas os fungos possuem ésteres de sulfato, substrato para arilsulfatase (Bandick e Dick, 1999).

A atividade enzimática da hidrólise do diacetato de fluoresceína-FDA apresentou correlação com as fosfatases ácidas ($R^2=0,53^*$), bem como com o desenvolvimento em altura ($R^2=0,49^*$) e diâmetro ($R^2=0,51^*$) (Tabela 7).

As enzimas transformam a matéria orgânica em nutrientes e os disponibilizam às plantas, servindo como bioindicadores da qualidade do solo (Melo, 1988), portanto, quanto maior a atividade enzimática, maior qualidade esse solo poderá ter, sendo que na camada mais superficial é que ocorre maior atividade enzimática, apresentando correlações positivas com o teor de C total e a biomassa microbiana.

A atividade microbiana total em um solo é indicador de medida da condição em que se encontra o solo em termos de matéria orgânica, pois mais de 90 % do fluxo de energia passa por decomposição microbiana (Heal e Maclean Jnr., 1975).

A dose e a granulometria do biochar e o arranjo das partículas favoreceram o armazenamento de água e sua disponibilidade à planta. O efeito físico, químico e biológico causado pelo biochar no solo influenciou no desenvolvimento da pimenteira.

Henin et al. (1976) reforçam que esta melhoria está relacionada, entre outras coisas, com o regime de água, o que melhora a capacidade de infiltração, acelera o processo dinâmico da água no solo e ainda constitui um fator positivo para o desenvolvimento das raízes.

O atributo altura das mudas apresentou correlação com o número de folhas ($R^2=0,81^{**}$), além de correlação positiva com as atividades da fosfatase ($R^2=0,64^{**}$), arilsulfatase ($R^2=0,57^*$) e FDA ($R^2=0,49^*$), conforme encontrado por Souchie et al. (2011) (Tabela 7).

A relação com o número de folhas é explicada devido as plantas com maior quantidade de folhas possuírem maior área fotossintética, influenciando na captação de energia luminosa e na produção de fitomassa, além da eficiência na produção de fotoassimilados (Evans, 1972), portanto, quanto menor o número de folhas, menor será a área fotossintética total, refletindo linearmente no desenvolvimento da planta.

Quanto às atividades enzimáticas, uma vez que aumenta a qualidade do solo, com maior disponibilidade nutricional, a planta tende a responder com mais vigor e maior desenvolvimento, seja vegetativo, seja produtivo.

O atributo diâmetro apresentou correlação positiva com a atividade das FDA ($R^2=0,51^*$) (Tabela 7), o que se justifica devido esse grupo de enzimas, quando em ambiente propício, melhorar a qualidade do solo, refletindo no desenvolvimento vegetativo (Schnurer e Rosswall, 1982).

O número de folhas apresentou correlação com o número de espigas ($R^2=0,59^*$), massa seca das raízes ($R^2=0,59^*$) e altura da planta ($R^2=0,81^{**}$), além de com as atividades da fosfatase ($R^2=0,56^*$) e arilsulfatase ($R^2=0,58^*$) (Tabela 7), na qual as relações positivas com o desenvolvimento vegetativo são justificadas pela correlação com as atividades enzimáticas, que proporcionaram maior qualidade de solo.

A variável área foliar não apresentou correlação com outro atributo (Tabela 7).

O número de espigas confirmou correlação com o número de folhas ($R^2=0,59^*$) (Tabela 7), demonstrando que quanto maior a superfície da planta, poderá ser maior a taxa fotossintética, o que poderá refletir na produção.

A massa seca da raiz apresentou correlação positiva com o número de folhas ($R^2=0,59^*$) e com a massa seca total da planta ($R^2=0,72^{**}$) (Tabela 7), na qual quanto maior o crescimento em número de folhas e massa seca da planta, maior será a massa seca das raízes, isto é, maior crescimento radicular, o que possibilita maior nutrição e superfície de contato com os nutrientes.

A massa seca das folhas apresentou correlação positiva apenas com a massa seca total da planta ($R^2=0,77^{**}$), sendo que, de igual modo, a massa seca dos caules/ramos apresentou correlação positiva apenas com a massa seca total da planta ($R^2=0,72^{**}$), tendo a massa seca total só apresentado correlação positiva com as massas secas da raiz ($R^2=0,72^{**}$), das folhas ($R^2=0,77^{**}$) e do caule/ramos ($R^2=0,72^{**}$) (Tabela 7).

De forma geral, observa-se que a aplicação do biochar no solo melhorou o desenvolvimento da planta, porém o aumento de dose só é benéfico até certo ponto, a exemplo do ocorrido com Kishimoto e Sugira (1985) na produtividade de soja e milho ao usarem altas doses de carvão, com Mendonça (2017) no desenvolvimento

de cenouras, com Souchie et al. (2011) no cultivo de tachi-branco (*Tachigali vulgaris*) e com Petter e Madari (2012) no desenvolvimento do *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla*.

Tais ocorrências podem ser justificadas pelo aumento progressivo de nutrientes no solo, bem como maior capacidade de retenção de água e umidade, favorecendo o desenvolvimento microbiológico do solo.

6. CONCLUSÕES

Tratamentos com adição do biochar de caroço de açaí proporcionaram maiores resultados nas variáveis analisadas no solo e na planta.

Todos os tratamentos com biochar obtiveram maiores atividades enzimáticas das fosfatases, arilsulfatase e FDA, bem como maiores desenvolvimentos em altura, número de folhas e massa seca da raiz de mudas de pimenta-do-reino, em comparação ao tratamento controle, sem adição de biochar.

Para a produção de mudas de pimenta-do-reino, dentre os tratamentos estudados, o que apresentou melhor resultado geral foi o com dose 16 t ha⁻¹ e granulometria 5 mm.

7. REFERÊNCIAS

- Abad MB, Noguera PM, Carrión CB (2004) Los sustratos en los cultivos sin suelo. In: URRESTARAZU, M. G. (Ed.). **Tratado de cultivo sin suelo**. Madrid: MundiPrensa. p. 113–158.
- ABNT (2004) **Resíduos sólidos – Classificação**. Segunda ed. Rio de Janeiro: CENWEB. v. 18.
- Adepará (2017). **Açaí: riqueza do Pará com mercado garantido dentro e fora do Brasil**. Disponível em: <<http://www.adepara.pa.gov.br/artigos/açaí-riqueza-do-pará-com-mercado-garantido-dentro-e-fora-do-brasil>>. Acesso em: 26 maio. 2018.
- Agegnehu G, Nelson PN, Bird MI (2016) Crop yield, plant nutrient uptake and soil physicochemical properties under organic soil amendments and nitrogen fertilization on Nitisols. **Soil and Tillage Research**, v. 160, p. 1–13.
- Alencar FCN, Costa JLS (2000) Impacto da fungigação na biomassa e atividade microbológica dos solos. In: **Fitopatologia Brasileira**. Brasília - DF: In: Congresso Brasileiro de Fitopatologia. v. 25, p. 1-359.
- Andersson M, Kjøller A, Struwe S (2004) Microbial enzyme activities in leaf litter, humus and mineral soil layers of European forests. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, n. 10, p. 1527–1537.
- Araújo ASFde, Monteiro RTR (2007) Biological indicators of soil quality. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66–75.
- Arias T, Posada RC, Bornstein A (2006) New Combinations in Manekia, an Earlier Name for Sarcorrhachis (Piperaceae). **Novon**. v. 16, n. 4, p. 530–532.
- Baldrian P, Šnajdr J, Merhautová V, Dobiášová P, Cajthaml T, Valášková V (2013) Responses of the extracellular enzyme activities in hardwood forest to soil temperature and seasonality and the potential effects of climate change. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 56, p. 60–68.
- Balota EL, Nogueira MA, Mendes IC, Hungria M, Fagotti DSL, Melo GMP, Melo RCS, Melo WJde (2013) Enzimas e seu papel na qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, n. 8, p. 189–249.
- Bandick AK, Dick RP (1999) Field management effects on soil enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, n. 11, p. 1471–1479.
- Barbosa JC, Maldonado Jr W (2015) **Experimentação Agronômica & AgroEstat: Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos**. Jaboticabal/SP: Gráfica Multipress Ltda. p. 1-396.
- Barcelos IB, Valiatti TB, Almeida FKVde, Prazeres PFLdos, Calegari GM, Silva WMC, Sobral FdeOS, Romão NF (2017) Qualidade Microbiológica de Polpas de Açaí Comercializadas no Município de Ji-Paraná, RO. **Uniciências**, v. 21, n. 1, p. 21.

Bayer EA, Shimon LJW, Shoham Y, Lamed R (1998) Cellulosomes - Structure and ultrastructure. **Journal of Structural Biology**, v. 124, n. 2–3, p. 221–234.

Berg B (2000) Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. **Forest Ecology and Management**, v. 133, p. 13–22.

Berton RS, Camargo OA, Valadares JMAS (1989) Absorção de nutrientes pelo milho em resposta a adição do lodo de esgoto a cinco solos paulistas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, n. 1, p. 187–192.

Bononi L (2016) **Impacto da umidade do solo sobre a estrutura das comunidades bacterianas e sobre as atividades enzimáticas em solos da Caatinga e da Mata Atlântica**. Dissertação. Piracicaba. Universidade de São Paulo. p. 1-84.

Brasil (2011) **Resolução Nº 430, DE 13 DE MAIO DE 2011**. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 25 de janeiro de 2018.

Brasil (2017) **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília - DF: Secretaria de Defesa Agropecuária. p. 1-240.

Brasil (2017) **Produção de açaí deve ter mais assistência técnica e investimentos**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Fev. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/noticias/producao-de-acai-deve-ter-mais-assistencia-tecnica-e-investimentos>. Acesso em: 25 de janeiro de 2018.

Campos LAA (1986) A influência de profundidade de semeadura e substratos no desenvolvimento inicial de sibipiruna (*Caesalpinia peltrochoroides* Benth). **Científica**, v. 14, p. 101–103.

Canto SAE (2001) **Processo Extrativista do Açaí: Contribuição da Ergonomia com Base na Análise Postural Durante a Coleta dos Frutos**. Dissertação. Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina. p. 1-114.

Carneiro JGdeA (1995) **Producao e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF. p. 1-451.

Carvalho JEU, Müller CH (2005) Biometria e Rendimento Percentual de Polpa de Frutas Nativas da Amazônia. Belém/PA. **Embrapa Amazônia Oriental - Comunicado Técnico**, v. 139, p. 1–3.

Cayres CA, Penteado AL, Pereira KS, Soares CM (2010) Avaliação microbiológica de polpa de açaí congelada comercializada na cidade do rio de janeiro. **II Simpósio em ciência e tecnologia de alimentos e I congresso do instituto nacional de frutos tropicais**, p. 1016–1019.

Conab (2015) **Conjuntura pimenta-do-reino no Espírito Santo**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_08_26_16_06_06_conjuntura_de_pimenta-doreino_2015_.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2017.

Cordell CE, Filer Junior TH (1984) Integrated nursery pest management. In: LANDZ, C. W. (Ed.). **Southern Pine Nursery Handbook**. Atlanta, USDA: Forest Service, Southern Region. p. 1–17.

Costa JLDS, Menge JA, Casale WL (1996) Investigations on some of the mechanisms by which bioenhanced mulches can suppress *Phytophthora* root rot of avocado. **Microbiological Research**, v. 151, n. 2, p. 183–192.

Costa JLDS, Menge JA, Casale WL (2000) Biological control of *Phytophthora* root rot of avocado with microorganisms grown in organic mulches. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 31, n. 4, p. 239–246.

Costa JLS (1995) **Inducing suppressiveness to *Phytophthora* root of avocado by using bioenhanced mulches**. University of California. p. 1-154.

Cunha-Santino MB, Bianchini Jr. I (2006) The aerobic and anaerobic decomposition of *Typha domingensis* Pers. **Acta Limnológica Brasiliensia**, v. 18, n. 3, p. 321–334.

Darolt MR (2002) Lixo Rural: Entraves, Estratégias e Oportunidades. **IAPAR-Instituto Agrônomo do Paraná**. Ponta Grossa.

De-Polli H, Guerra JGM (1997) **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: método da fumigação-extração**. Seropédica/RJ: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia-CNPAB. p. 1-10.

DeLuca TH, MacKenzie MD, Gundale MJ, Holben WE (2006) Wildfire-Produced Charcoal Directly Influences Nitrogen Cycling in Ponderosa Pine Forests. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 2, p. 448–453.

Deng SP, Tabatabai MA (1994) Cellulase activity of soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 26, n. 10, p. 1347–1354.

Dick RP, Burns RG, Dick RP (2011) A Brief History of Soil Enzymology Research. **Soil Science Society of America**, n. 9, p. 1–34.

Dinesh R, Chaudhuri SG, Ganeshamurthy AN, Pramanik SC (2004) Biochemical properties of soils of undisturbed and disturbed mangrove forests of South Andaman (India). **Wetlands Ecology and Management**, v. 12, n. 5, p. 309–320.

Donha RMA, Delarica DdeL, Melo WJde, Longo RM, Araújo ASFde (2016) Atividade da enzima celulase e matéria orgânica em solos degradados por mineração em recuperação. **Ciência e Tecnologia**, v. 8, p. 1–8.

Doyle J, Pavel R, Barnes G, Steinberger Y (2006) Cellulase dynamics in a desert soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 2, p. 371–376.

Duarte MLR (2004) **Cultivo da pimenteira-do-reino na Região Norte**. Belém/PA: Embrapa Amazônia Oriental. p. 1-185.

Duarte MLR, Albuquerque FC, Albuquerque PSB (2005) Doenças da pimenteira-do-reino (*Piper nigrum*). In: KIMATI, H. et al. (Eds.). **Manual de fitopatologia: doenças de plantas cultivadas**. São Paulo: Agronômica Ceres. p. 507–516.

Duarte MLR, Albuquerque FC, Poltronieri LS (2001) Podridão do pé da pimenteira-do-reino (*Piper nigrum* L.). In: LUZ, E. D. M. N. et al. (Eds.). **Doenças causadas por Phytophthora no Brasil**. Itabuna, Bahia: Livraria Editora Rural. CEPLAC, Centro de pesquisa do cacau.

Eivazi F, Tabatabai MA (1977) Phosphates in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 9, n. 1969, p. 167–172.

Eriksson KEL, Blanchette RA, Ander P (1990) **Microbial and Enzymatic Degradation of Wood and Wood Components**. Springer S ed. Syracuse, NY: Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. p. 1-407.

Eto DK, Kano AM, Borges MTMR, Brugnaro C, Ceccato-Antonini SR, Verruma-Bernardi MR (2010) Microbiological quality and physical-chemical characteristics of the frozen pulp and blended açaí. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 69, n. 3, p. 304–310.

Evans GC (1972) **The quantitative analysis of plant growth**. Edição: St ed. London: Oxford: University of California Press. p. 1-734.

Farias Neto JTde, Vasconcelos MAM, Silva FCFda (2010) Cultivo, processamento, padronização e comercialização do açaí na Amazônia. **Anais**. Fortaleza. Instituto de Desenvolvimento da Fruticultura e Agroindústria – Frutal. p.113.

Fernández JM, Plaza C, García-Gil JC, Polo A (2009) Biochemical properties and barley yield in a semiarid Mediterranean soil amended with two kinds of sewage sludge. **Applied Soil Ecology**, v. 42, n. 1, p. 18–24.

Ferreira DF (2011) Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039–1042.

Filgueiras GC, Santos MASdos, Santana ACde, Homma AKO (2004) Fontes de crescimento da produção de pimenta-do-reino no Estado do Pará no período de 1979 a 2001. **Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural**, p. 1-14.

Franzini VI, Silva ARBE, Botelho SM (2014) **Pimenta-do-reino: Área de plantio, calagem e adubação**. Belém/PA. p. 1-2.

Freitas AFde (2013) **Adição de carvão vegetal no substrato para formação de mudas de leguminosas arbóreas**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA. p. 1-106.

Galbiatti JA (1992) **Efeito do uso contínuo de efluente de biodigestores sobre algumas características físicas do solo e o comportamento do milho (*Zea Mays* L.)**. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. p. 1-212.

Gantuss CAR (2006) **Caracterização física e química de locais de ocorrência do Açaizeiro (*Euterpe oleracea*, mart) no Estado do Amapá e sua relação com o rendimento e qualidade do fruto**. Universidade Federal da Paraíba. p. 1-95.

Gaskin JW, Speir RA, Harris K, Das KC, Lee RD, Morris LA, Fisher DS (2010) Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 2, p. 623–633.

Giannakis GV, Kourgialas NN, Paranychianakis NV, Nikolaidis NP, Kalogerakis N (2014) Effects of municipal solid waste compost on soil properties and vegetables growth. **Compost Science and Utilization**, v. 22, n. 3, p. 116–131.

Gil-Sotres F, Trasar-Cepeda C, Leirós MC, Seoane S (2005) Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, n. 5, p. 877–887.

Glaser B, Haumaier L, Guggenberger G, Zech W (2001) The “Terra Preta” phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, v. 88, n. 1, p. 37–41.

Godoi LCL (2001) **Propriedades microbiológicas de solos em áreas degradadas e recuperadas na região dos cerrados goianos**. Universidade Federal de Goiás. p. 1-87.

Gomes MHSC, Oliveira EC, Bresciani LP, Pereira RdaS (2014) Política Nacional de Resíduos Sólidos: Perspectivas de Cumprimento da Lei 12.305/2010 pelos municípios brasileiros, paulistas e da região do ABC. **Revista de Administração da UFSM**, v. 7, n. 0, p. 93–110.

Green VS, Stott DE, Cruz JC, Curi N (2007) Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 92, n. 1–2, p. 114–121.

Heal OW, Maclean Jnr. SF (1975) Comparative productivity in ecosystems-secondary productivity. **Unifying concepts in ecology - The Hague and Centre for agricultural publishing and documentation**, p. 89–108.

Henin S, Gras R, Monnier G (1976) **Os solos agrícolas**. Rio de Janeiro: Frense-Universitaria. p. 1-327.

IBGE (2018) **Produção Agrícola Municipal 2017: Produção Agrícola – Lavoura Permanente**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/15/11863?localidade1=15&localidade2=32>>. Acesso em: 27 mar. 2019.

IPC (2016) Production and Processing. **Jakarta**, p. 1-124.

Jenkinson DS, Powlson DS (1976) The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—V. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, n. 3, p. 209–213.

Jorge LAdeC, Silva DJdaCB (2009) **AFSOFT: Manual de Utilização**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária. p. 1-22.

Kämpf AN, Siqueira PTVde, Takane RJ (2006) **Floricultura: técnicas de prepare de substratos**. Brasília - DF: LK Editora e Comunicações. p. 1-132.

Kämpf N, Woods WI, Sombroek W, Kern DC, Cunha TJF (2003) Classification of Amazonian Dark Earths in the Brazilian Amazon. In: LEHMANN, J. et al. (Eds.). **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p. 77–102.

Kandeler E, Palli S, Stemmer M, Gerzabek MH (1999) Tillage changes microbial biomass and enzyme activities in particle-size fractions of a Haplic Chernozem. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, n. 9, p. 1253–1264.

Kishimoto S, Sugira G (1985) Charcoal as a soil condition. **Symposium On Forest Product Research International: Achievements And The Future**, v. 5, p. 22–26.

Klose S, Tabatabai MA (1999) Arylsulfatase Activity of Microbial Biomass in Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, n. 3, p. 569–574.

Lehmann J, Joseph S (2009) **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**. London - Sterling,VA: Earthscan. p. 271-282.

Lemos OFde, Poltronieri MC (2014) **Pimenta-do-reino: Produção de mudas**. Belém/PA. Embrapa Amazônia Oriental. p. 1-2.

Lemos OF, Tremalcodi CR, Poltronieri MC, Bari AdeJ, Silva ARB, Menezes AJEde, Botelho SM, Franzini Vlde, Lemos WdeP (2014) **Boas práticas agrícolas para aumento da produtividade e qualidade da pimenta-do-reino no Estado do Pará**. Brasília - DF: Embrapa Amazônia Oriental. p. 1-54.

Liang B, Lehmann J, Solomon D, Kinyangi J, Grossman J, O'Neill B, Skjemstad JO, Thies J, Luizão FJ, Petersen J, Neves EG (2006) Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 5, p. 1719–1730.

Lima AAde, Farias MSSde, Lira VMde, Franco ES, Silva MBRda (2005) Lixo Rural: O Caso do Município de João Alfredo (PE). **Revista Caminhos de Geografia**, v. 1, n. 16, p. 1–5.

Lucas Jr Jde, Santos TMB (2000) Aproveitamento de resíduos da indústria avícola para produção de biogás. **Simpósio sobre Resíduos da Produção Avícola**, p. 27–43.

Madari BE, Cunha TJF, Novotny EH, Milori DMBP, Martin Neto L, Benites VdeM, Coelho MR, Santos GA (2010) Matéria Orgânica dos Solos Antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): Suas Características e Papel na Sustentabilidade da Fertilidade do Solo. **Embrapa Arroz e Feijão**, p. 172–188.

Maekawa K (2002) **Curso sobre produção de carvão, extrato pirolenhoso e seu uso na agricultura**. Botucatu/SP.

Magevski GC, Czepak MP, Schmildt ER, Alexandre RS, Fernandes AA (2011) Vegetative propagation of wild species of the genus *Piper*, with potential for use as rootstocks in black pepper (*Piper nigrum*). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 13, n. SPE, p. 559–563.

Major J, Steiner C, Downie A, Lehmann J (2009) Biochar Effects on Nutrient Leaching. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Eds.). **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**. London: Earthscan. p. 271–282.

Malavolta E, Vitti GC, Oliveira AS (1997) **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2ª edição ed. Piracicaba/SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. p. 1-319.

Martinez HEP, Maia JT (2010) **Diagnose foliar na cultura da alface**. (R. M. Prado et al., Eds.) **Nutrição de Plantas: diagnose foliar de hortaliças**. p. 253-278.

Martini R, Costa CD, Boteon M (2006) Gestão do lixo: um estudo sobre as possibilidades de reaproveitamento do lixo de propriedades hortícolas. **XLIV Congresso da Sober**, p. 1–11.

Martins MA, Mattoso LHC, Pessoa JDC (2009) Comportamento térmico e caracterização morfológica das fibras de mesocarpo e caroço do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 4, p. 1150–1157.

Matos ATde (2005) Tratamento de Resíduos Sólidos. **Fundação Estadual do Meio Ambiente**, p. 1-34.

Matsuoka M, Mendes IC, Loureiro MF (2003) Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 425–433.

Maynard DN, Hochmuth GJ (2007) **Knott's Handbook for Vegetable Growers**. Fifth ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. v. 83. p. 1-630.

Mcgill WB, Cole CV (1981) Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. **Geoderma**, v. 26, p. 267–286.

Melo WJde (1988) Enzimas no solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 365–378.

Melo FAdeO, Silva JNda, Silva JSe, Donzeles SML, Paula ALT (2005) Avaliação de uma fornalha para aquecimento direto de ar utilizando moinha de carvão. **Engenharia na Agricultura**, v. 13, p. 124–128.

Melo WJde, Melo GMPde, Araújo ASFde, Melo VPde (2010) Avaliação da atividade enzimática em amostras de solo. **Biotecnologia aplicada à agricultura**. Textos de apoio e protocolos experimentais, p. 153–187.

Mendonça AR (2017) **Crescimento de cenoura em solo com diferentes combinações de doses e granulometrias de carvão vegetal**. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. p. 1-51.

Miyasaka S, Ohkawara T, Nagai K, Yazaki H, Sakita MN (2001) Técnicas de produção e uso do Fino de Carvão e Licor Pirolenhoso. **Encontro de Processos de Proteção de Plantas: Controle ecológico de pragas e doenças**, v. 1, p. 161–176.

Morales MM (2010) **Efeito do biocarvão sobre o comportamento da matéria orgânica e do fósforo em solo degradado**. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. p. 1-88.

Moreira FMS, Siqueira JO (2006) Ecologia do solo. In: **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2a edição ed. Lavras: UFLA. p. 1-729.

Morgado IF, Carneiro JGdeA, Leles PSdosS, Barroso DG (2000) Resíduos agroindustriais prensados como substrato para a produção de mudas de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 4, p. 709–712.

Muraishi RI (2008) **Compostos orgânicos como substratos na formação de mudas de Ipê Amarelo [Tabebuia chrysotricha (Mart. ex DC.) Standl.] irrigado com água residuária**. Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”. p. 1-47.

Nannipieri P, Johnson RL, Paul EA (1978) Criteria for measurement of microbial growth and activity in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 10, n. 3, p. 223–229.

Nannipieri P, Muccini L, Corridoni V (1983) Microbial Biomass and Enzyme Activities: Production and persistence. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 15, n. 6, p. 679–685.

Neves LTBC, Campos DCdosS, Mendes JKS, Urnhani CO, Araújo KGMde (2015) Quality of fruits manually processed of acai (*Euterpe oleracea* MART.) and bacaba (*Oenocarpus bacaba* MART.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 3, p. 729–738.

Nogueira MA, Melo WJ (2003) Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 655–663.

Nuvolari A, Fadini PS, Coraucci-Filho B (1996) Ensaio de respirometria na aplicação de lodo de esgoto doméstico no solo: uso de respirômetro alternativo. **Conbea** 25, p. 1-14.

Oguntunde PG et al. (2004) Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 39, n. 4, p. 295–299.

Oliveira MdoSPde, Carvalho JEUde, Nascimento WMOdo, Müller CH (2002) Cultivo do Açaizeiro para Produção de Frutos. Belém/PA. **Embrapa Amazônia Oriental. Circular técnica**, v. 26, p. 1-18.

Oliveira SM, Ferreira AS (2014) Change in Soil Microbial and Enzyme Activities in Response to the Addition of Rock-Phosphate-Enriched Compost. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, n. 21, p. 2794–2806.

Pancholy SK, Rice EL (1973) Soil Enzymes in Relation to Old Field Succession: Amylase, Cellulase, Invertase, Dehydrogenase, and Urease. **Soil Science Society of America**, v. 37, p. 47–50.

Parviainen JV (1981) Qualidade e avaliação da semente de mudas florestais. In: **Seminário de sementes e viveiros florestais**. FUPEF ed. Curitiba: Anais. p. 59–90.

Passos RR, Ruiz HÁ, Mendonça EdeS, Cantarutti RB, Souza APde (2007) Substancias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 1119–1129.

Paulo S, Antônio S (1999) **Mapa de solos do Município de Castanhal/PA**. Embrapa Amazônia Oriental. p. 1.

Peixoto FGT (2010) **Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos do estado de São Paulo sob vegetação nativa e cultivados**. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. p. 1-83.

Petter FA (2010) **Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agrônômicos e ambientais do seu uso em solos de cerrado**. Universidade Federal de Goiás. p. 1-130.

Petter FA, Madari BE (2012) Biochar: agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 761–768.

Pivetta KFL, Luz PBda (2013) Efeito da Temperatura e Escarificação na Germinação de Euterpe oleracea (MART.) (Arecaceae). **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 13, n. 1, p. 83–88.

Poltronieri MC, Lemos OFde (2014) **Pimenta-do-reino: Cultivares**. Belém/PA. Embrapa Amazônia Oriental. p. 1-2.

Prabhakaran Nair KP (2011) **Agronomy and economy of black pepper and cardamom. The “King” and “Queen” of Spices**. London: Elsevier Science Publishing. p. 1-366.

Prado RdeM (2008) **Nutrição de plantas**. São Paulo: UNESP. p. 1-407.

Purakayastha TJ, Das KC, Gaskin J, Harris K, Smith JL, Kumari S (2016) Effect of pyrolysis temperatures on stability and priming effects of C3 and C4 biochars applied to two different soils. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 107–115.

Raij BV, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC (1997) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. B. Técnico ed. Campinas/SP: Instituto Agrônomo/IAC. p. 1-128.

Reinaud G (2017) **Biochar, A Terceira Revolução Verde**. Pró Natura Internacional. p. 1-5. Disponível em: <http://www.pronatura.org/?page_id=521&lang=pt>. Acesso em: 27 out. 2017.

Richards D, Lane M, Beardsell DV (1986) The influence of particle-size distribution in pinebark:Sand:Brown coal potting mixes on water supply, aeration and plant growth. **Scientia Horticulturae**, v. 29, p. 1–14.

Ros M, Klammer S, Knapp B, Aichberger K, Insam H (2006) Long-term effects of compost amendment of soil on functional and structural diversity and microbial activity. **Soil Use and Management**, v. 22, n. 2, p. 209–218.

Rosolem CA, Silva RHda, Esteves JAdeF (2003) Potassium supply to cotton roots as affected by potassium fertilization and liming. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 5, p. 635–641.

Salazar S, Sánchez LE, Alvarez J, Valverde A, Galindo P, Igual JM, Peix A, Santa-Regina I (2011) Correlation among soil enzyme activities under different forest system management practices. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 8, p. 1123–1131.

Sant`Ana KCTde (2006) **Mercado justo e solidário como contribuição ao desenvolvimento sustentável: um estudo das representações econômico-sociais do comércio do açaí pelo município de Codajás**. Universidade Federal do Amazonas – UFAM. p. 1-156.

Santana ACde, Pessoa JDC, Santana ÁLde (2012) O mercado de açaí e os desafios tecnológicos da Amazônia. In: Pessoa, JDC, Teixeira, GHdeA (Eds.). **Tecnologias para inovação nas cadeias euterpe**. Brasília/DF: Embrapa Instrumentação. p. 21–39.

Santos RCdos, Carneiro AdeCO, Pimenta AS, Castro RVO, Marinho IV, Trugilho PF, Alves ICN, Castro AFNM (2013) Energy potential of species from forest management plan for the Rio Grande do Norte State. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, p. 491–502.

Schnurer J, Rosswall T (1982) Fluorescein Diacetate Hydrolysis as a Measure of Total Microbial Activity in Soil and Litter. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 43, n. 6, p. 1256–1261.

Seybold CA, Herrick JE, Bredja JJ (1998) Soil resilience: A fundamental component of soil quality. **Soil Science**, v. 164, n. 4, p. 224–234.

Silva CFda, Pereira MG, Miguel DL, Feitora JCF, Loss A, Menezes CEG, Silva EMRda (2012) Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1680–1689.

Silva EEda, Azevedo PHSde, De-Polli H (2007) **Determinação do Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (BMS-C)**. Seropédica/RJ. Embrapa Agrobiologia. p. 1-6.

Silva MA, Melo e Souza R, Souza RR (2005) Biodegradação de resíduos agrícolas como alternativa à redução de riscos ambientais no Semi-Árido Sergipano. **Encontro da ANPPAS**, p. 1-16.

Silva M, Siqueira ER, Costa JLdaS (2004) Hidrólise de diacetato de fluoresceína como bioindicador da atividade microbiológica de um solo submetido a reflorestamento. **Ciência Rural**, v. 34, n. 5, p. 1493–1496.

Silva WDM (2016) **Aplicação do biochar de resíduos de café em Neossolo Regolítico: efeitos nas características químicas e biológicas e na produção de milho e feijão**. Universidade Federal Rural de Pernambuco. p. 1-56.

Skujins J (1967) Enzymes in soil. **Soil biochemistry**, p. 371–414.

Soltis PS, Soltis DE, Chase MW (1999) Angiosperm phylogeny inferred from multiple genes as a tool for comparative biology. **Nature**, v. 402, n. 6760, p. 402–404.

Souchie FF, Marimon Junior BH, Petter FA, Madari BE, Marimon BS, Lenza E (2011) Carvão pirogênico como condicionante para substrato de mudas de *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima. **Ciencia Florestal**, v. 21, n. 4, p. 811–821.

Souza JEODE, Bahia PQ (2010) Gestão logística da cadeia de suprimentos do açaí em Belém do Pará: uma análise das práticas utilizadas na empresa Point do açaí. **VII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, p. 1–15.

Steiner C, Teixeira WG, Lehmann J, Nehls T, Macêdo JLVde, Blum WEH, Zech W (2007) Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. **Plant and Soil**, v. 291, n. 1–2, p. 275–290.

Štursová M, Žifčáková L, Leigh MB, Burgess R, Baldrian P (2012) Cellulose utilization in forest litter and soil: Identification of bacterial and fungal decomposers. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 80, n. 3, p. 735–746.

Tabatabai MA, Bremner JM (1970) Arylsulfatase Activity of Soils. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, v. 34, p. 225–229.

Tabatabai MA (1982) **Methods of soil analysis: Chemical and Microbiological Properties**. Second Edition. Madison, Wisconsin USA: American Society of Agronomy. p. 903-947.

Tabatabai MA (1994) Soil enzymes. In: Weaver, RW et al. (Eds.). **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America. p. 775–833.

Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A, Teixeiras WG (2017) **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª edição ed. Brasília - DF: Embrapa Solos. p. 1-573.

Theng BKG, Tate KR, Sollins P (1989) Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: Coleman, DC, Oades, JM, Uehara, G (Eds.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii: NifTAL Project. p. 5–32.

Tótola MR, Chaer GM (2002) Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. **Tópicos em ciência do solo**, v. 2, p. 195–276.

Trasar-Cepeda C, Leiro´s C, Gil-Sotres F, Seoane S (1998) Towards a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties. **Biol Fertil Soils**, v. 26, p. 100–106.

Trasar-Cepeda C, Leirós MC, Gil-Sotres F (2008) Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 40, n. 9, p. 2146–2155.

Vallejo VE, Roldan F, Dick RP (2010) Soil enzymatic activities and microbial biomass in an integrated agroforestry chronosequence compared to monoculture and a native forest of Colombia. **Biology and Fertility of Soils**, v. 46, n. 6, p. 577–587.

Vanhala P, Tamminen P, Fritze H (2005) Relationship between basal soil respiration rate, tree stand and soil characteristics in boreal forests. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 101, n. 1–3, p. 85–92.

Ventura JA, Costa H (2004) **Manejo da fusariose da pimenta-do-reino no Estado do Espírito Santo**. Vitória, ES: Incaper. p. 1-22.

Villachica H, Carvalho JE, Ude, Muller CH, Diaz SC, Almanza M (1996) **Frutales y hortalizas promisorios de la Amazonia**. Lima, Peru: Tratado de Cooperacion Amazonica. Secretaria Pro-tempore. p. 1-367.

Vong PC, Dedourge O, Guckert A (2004) Immobilization and mobilization of labelled sulphur in relation to soil arylsulphatase activity in rhizosphere soil of field-grown rape, barley and fallow. **Plant and Soil**, v. 258, n. 1–2, p. 227–239.

Yuyama LKO, Aguiar JPL, Filho DFS, Yuyama K, Varejão MdeJ, Fávaro DIT, Vasconcellos MBA, Pimentel AS, Caruso MSF (2011) Caracterização físico-química do suco de açaí de Euterpe precatoria Mart. oriundo de diferentes ecossistemas amazônicos. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 4, p. 545–552.

Zanetti M, Cazetta JO, Júnior DdeM, Carvalho SAde (2003) Uso de subprodutos de carvão vegetal na formação do porta-enxerto limoeiro “cravo” em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 508–512.

Zhang H, Chen C, Gray EM, Boyd SE, Yang H, Zhang D (2016) Roles of biochar in improving phosphorus availability in soils: A phosphate adsorbent and a source of available phosphorus. **Geoderma**, v. 276, p. 1–6.

Zorzeto TQ (2011) **Caracterização física e química de substratos para plantas e sua avaliação no rendimento do morangueiro (Fragaria x ananassa Duch.)**. Instituto Aronômico. p. 1-110.