

WENDSON DE MORAES SILVA

**APLICAÇÃO DE BIOCHAR DE RESÍDUOS DE CAFÉ EM NEOSSOLO
REGOLÍTICO: EFEITOS NAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E
BIOLÓGICAS E NA PRODUÇÃO DE MILHO E FEIJÃO**

GARANHUNS, PERNAMBUCO - BRASIL

JULHO - 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO AGRÍCOLA

**APLICAÇÃO DE BIOCHAR DE RESÍDUOS DE CAFÉ EM NEOSSOLO
REGOLÍTICO: EFEITOS NAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E
BIOLÓGICAS E NA PRODUÇÃO DE MILHO E FEIJÃO**

WENDSON DE MORAES SILVA

SOB ORIENTAÇÃO DO PROFESSOR

JOSÉ ROMUALDO DE SOUSA LIMA

CO-ORIENTADORES

Dr. CLAUDE HAMMECKER

Profa. Dra. ÉRIKA VALENTE DE MEDEIROS

Dissertação apresentada à
Universidade Federal Rural de
Pernambuco, como parte das
exigências do Programa de Pós-
Graduação em Produção agrícola, para
obtenção do título de *Mestre*.

GARANHUNS
PERNAMBUCO - BRASIL
JULHO – 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO AGRÍCOLA

**APLICAÇÃO DE BIOCHAR DE RESÍDUOS DE CAFÉ EM NEOSSOLO
REGOLÍTICO: EFEITOS NAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E
BIOLÓGICAS E NA PRODUÇÃO DE MILHO E FEIJÃO**

WENDSON DE MORAES SILVA

GARANHUNS
PERNAMBUCO - BRASIL
JULHO – 2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Ariano Suassuna, Garanhuns-PE, Brasil

S586a

Silva, Wendson de Moraes

Aplicação do biochar de resíduos de café em Neossolo
Regolítico: efeitos nas características químicas e biológicas
e na produção de milho e feijão/ Wendson de Moraes
Silva. – 2016.

57 f.: il.

Orientador: José Romualdo de Oliveira Lima

Co-Orientadores: Erika Valente de Medeiros, Claude Hammecker
de OliveiraDissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Produção Agrícola
, Recife, BR-PE, 2016.

Inclui referências.

1. Manejo do solo 2. Biocarvão 3. Adubação orgânica
4. Drenagem do solo. 5. Efeito estufa I. Lima, José Romualdo de
Oliveira. orient. II. Medeiros, Erika Valente de co-orient. III.
Hammecker, Claude coorient. IV. Título

CDD 631.4

**APLICAÇÃO DE BIOCHAR DE RESÍDUOS DE CAFÉ EM NEOSSOLO
REGOLÍTICO: EFEITOS NAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E
BIOLÓGICAS E NA PRODUÇÃO DE MILHO E FEIJÃO**

WENDSON DE MORAES SILVA

APROVADO EM: 28 de JULHO de 2016

ANTONIO RICARDO SANTOS DE ANDRADE

(Membro Externo)

GUSTAVO PEREIRA DUDA

(Membro interno)

JOSÉ ROMUALDO DE SOUSA LIMA

(Orientador)

DEDICO

A meus pais Maria e Guilhermino (in Memoriam) que sinto muita falta.

E a minha avó Amara Felix (in Memoriam) que fez de tudo para que não faltasse minha educação.

A minha família: primos, tios e avô, em especial meu irmão Wildson de Moraes Silva por ser meu braço forte na falta de nossos pais.

A minha namorada (Jamilly Alves de Barros) pelo carinho, cumplicidade, amizade e Amor!!!

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG/UFRPE), pela formação de Engenheiro Agrônomo, e pela oportunidade e suporte para a realização do Mestrado em Produção Agrícola.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos e pelos recursos financeiros por meio do projeto “Estudo das transferências de água e de nutrientes em solos da região semiárida do Nordeste”, processo PVE/Capes 88881.065001/2014-01, no âmbito do Programa Ciência sem Fronteiras – CsF.

Ao Prof. Dr. José Romualdo de Sousa Lima, pela orientação e amizade durante estes dois anos de convívio. Um exemplo de dedicação e empenho ao ensino e à pesquisa que levarei por toda minha carreira.

Ao Prof. Dr. Claude Hammecker do IRD/França, por também me orientar e está sempre disposto a passar experiência, ensinamento e conselhos.

A Professora Dra. Érika Valente de Medeiros, por toda orientação dada durante a minha graduação e Mestrado.

Ao Professor Dr. Gustavo Pereira Duda pela ajuda nas análises químicas do solo, especialmente por todo esforço despendido para realizar pessoalmente as análises de carbono e nitrogênio.

A Professora Dra. Keila Moreira, pela contribuição e ensinamentos no laboratório.

Ao Professor Dr. Marcelo Metri Corrêa pela ajuda durante as fases iniciais do trabalho, com críticas e sugestões.

Ao setor de transporte da UAG/UFRPE, na pessoa do Sr. Amadeu e todos os motoristas, pelo suporte para as atividades de campo e viagens para coletar material.

Aos meus amigos da época de graduação, a galera do fundão: Marcos Fernandes, Vanessa Mano, Jéssica Moraes, Albedson Miranda, Uemeson José.

Aos amigos do Laboratório de Biotecnologia: Amós, Argemiro, Ana Alice, Jennifer, Osmar, Mateus, Rodrigo, Alan, Eduardo, Maria Eugênia e Jonatas, Mayara, Carol, Mauro, Talita Camila, Alana e Melry.

Aos amigos do Laboratório de Química Agrícola e Ambiental, Raquel, Erika, Marise, Luciana, Francisco, Aline,

Enfim, a todos e todas que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

Senhor Deus!

Estou aqui para agradecer por tudo que tenho conquistado em minha vida.

Agradeço também por me mostrar que não se chega a lugar algum sozinho e que o compartilhamento é primordial para o sucesso.

Senhor, se eu tivesse só um minuto para te pedi algo, apenas iria agradecer todas as graças que colocasse em minha vida, família, amigos, colegas.

Obrigado...

BIOGRAFIA

WENDSON DE MORAES SILVA, filho de Maria José da Silva e Guilhermino de Moraes Silva, nascido em 06 de abril de 1985, em Barreiros-PE. Ingressou no Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG/UFRPE), em agosto de 2009, graduando-se em julho de 2014. Ingressou no mestrado em Produção Agrícola da UFRPE em agosto de 2014.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	
LISTA DE FIGURAS	
RESUMO.....	15
SUMMARY.....	17
1. INTRODUÇÃO.....	19
19. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
2.1 Caracterização da área experimental.....	22
2.2 Produção dos biochars.....	22
2.3 Caracterização da área superfície específica (ASE) dos biochars.....	25
2.4 Isotermas de adsorção e dessorção de fósforo (P).....	26
2.5 Composição química dos tipos de biochars.....	26
2.6 Coleta do solo para o experimento.....	27
2.7 Caracterização química e física do solo antes da incorporação do biochar.....	27
2.8 Delineamento Experimental.....	28
2.9 Caracterização do pH e condutividade elétrica (CE) da solução do solo água.....	29
2.10 Evapotranspiração, produção de biomassa e eficiência do uso da água.....	29
2.11 Atividades microbiológicas do solo.....	30
2.12 Análise estatística.....	30
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
3.1 Características químicas do solo após 45 dias da adição de biochar (CC e BC) ..	34
3.2 Caracterização do pH e Condutividade elétrica (CE) da solução do solo.....	38
3.3 Atividades microbiológicas do solo.....	40
3.4 Componentes de produção, evapotranspiração e eficiência no uso de água.....	43
3.5 Análise multivariada dos componentes principais.....	46
4. CONCLUSÕES.....	51
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas dos biochars de casca de café (CC) e borra de café (BC).....	26
Tabela 2. Atributos químicos do Neossolo Regolítico usado no experimento.....	27
Tabela 3. Atributos físicos do Neossolo Regolítico usado no experimento.....	28
Tabela 4. Composição química do Neossolo Regolítico após 45 dias da adição de biochar (CC e BC) em cultivo de milho.....	35
Tabela 5. Composição químicas de Neossolo Regolítico sob a influência de dois tipos biochar: biochar de casca de café (CC) e biochar de borra de café (BC) após 45 dias de cultivo de feijão em vasos.....	37
Tabela 6. Análise de pH e condutividade elétrica (CE) da água percolada em Neossolo Regolítico sob a influência de dois tipos biochar: biochar de casca de café (CC) e biochar de borra de café (BC) após 45 dias de cultivo de milho em vasos.....	38
Tabela 7. Análise de pH e condutividade elétrica (CE) da água percolada em Neossolo Regolítico sob a influência de dois tipos biochar: biochar de casca de café (CC) e biochar de borra de café (BC) após 45 dias de cultivo de feijão em vasos.....	39
Tabela 8. Atividade microbiana em um Neossolo Regolítico sob a influência de dois tipos biochar: biochar de casca de café (CC) e biochar de borra de café (BC) após 45 dias de cultivo de milho em vasos.....	40
Tabela 9. Atividade microbiana em um Neossolo Regolítico sob a influência de dois tipos biochar: biochar de casca de café (CC) e biochar de borra de café (BC) após 45 dias de cultivo de feijão em vasos.....	42
Tabela 10. Análise de altura, diâmetro, evapotranspiração, produção e eficiência do uso de água na produção de milho em um Neossolo Regolítico.....	43

Tabela 11. Análise de altura, diâmetro, evapotranspiração, produção e eficiência do uso de água na produção de feijão em um Neossolo Regolítico.....	45
Tabela 12. Análise dos atributos químicos, microbianos, eficiência do uso de água e produção de milho analisados para cada componente principal (CP) obtidos em Neossolo Regolítico sob adição de biochars.....	46
Tabela 13. Análise dos atributos químicos, microbianos, eficiência do uso de água e produção de feijão analisados para cada componente principal (CP) obtidos em Neossolo Regolítico sob adição de biochars.....	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação do forno utilizado para produção dos biochars.....	23
Figura 2. Resíduos de casca de café (A), que foi obtida no IPA de Brejão, e de borra de café, obtida numa cafeteria de Garanhuns-PE.....	24
Figura 3. Curva da adsorção do azul de metileno para o biochar da casca de café (CC) e biochar da borra de café (BC).....	25
Figura 4. Isotermas de adsorção e dessorção de P em biochar de CC (A) e em biochar de BC (B).....	33
Figura 5. Diagrama de ordenação dos componentes principais dos atributos químicos, microbiológicos, eficiência do uso de água e produção da cultura do milho em Neossolo Regolítico.....	48
Figura 6. Diagrama de projeção dos vetores dos atributos químicos, microbiológicos, eficiência do uso de água e produção da cultura do feijão em Neossolo Regolítico.....	50

SILVA, Wendson de Moraes. **APLICAÇÃO DE BIOCHAR DE RESÍDUOS DE CAFÉ EM NEOSSOLO REGOLÍTICO: EFEITOS NAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E BIOLÓGICAS E NA PRODUÇÃO DE MILHO E FEIJÃO**. 2016. 58 p. Dissertação (Mestrado em Produção Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Garanhuns, GARANHUNS, PE. 2016.

RESUMO

Vários estudos estão sendo realizados em todo no Brasil e no mundo utilizando a aplicação de biochar, com a finalidade de se encontrar alternativas de manejo para aumentar o teor de matéria orgânica do solo. Dentre essas alternativas, o uso do biochar na agricultura vem se tornando cada vez mais uma técnica bastante interessante para mitigar os efeitos das mudanças climáticas, sendo uma importante ferramenta no sequestro de carbono que também tem potencial de proporcionar diversas melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Assim, o presente trabalho teve o objetivo de caracterizar dois biochars, produzidos a partir de dois tipos de resíduos (casca e borra de café), além de avaliar o efeito destes nas características químicas e biológicas de um Neossolo Regolítico cultivado com milho e feijão. O trabalho foi conduzido na área experimental da Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAG/UFRPE). Inicialmente foi realizada a produção dos dois biochar um de casca de café (CC) e outro da borra de café (BC), que foi realizada por meio da combustão em um pequeno forno térmico caseiro. Após a produção destes, foram determinadas a superfície específica (ASE), a capacidade de adsorção e dessorção do fósforo por colorimetria, e realizada a análise da composição química de cada biochar. Para implantação do experimento em casa de vegetação foi coletado solo na camada de 0-20 cm numa área proveniente de mata nativa, na fazenda Riacho do Papagaio, na mesorregião do Agreste Meridional do Estado de Pernambuco, município de São João, sendo este classificado como Neossolo Regolítico eutrófico típico. Também foram realizadas análises para caracterizar as propriedades químicas e físicas do solo. O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado (DIC) ao acaso. Os tratamentos consistiram de solo com adubação mineral (NPK) e adubação orgânica com esterco de curral, ambas segundo a recomendação indicada para cada cultura, e dois tipos de Biochar, com 4 repetições. Quatro sementes de milho e de feijão, foram colocadas por

vasos, sendo que cinco dias após a emergência (DAE) foi realizado um desbaste, deixando-se uma planta por vaso. Foram medidos os valores de pH e de condutividade elétrica (CE) da água de drenagem do solo, e realizada a medição da evapotranspiração (ET). E no final do experimento, 45 DAE, realizou-se a determinação da produção de biomassa fresca (BF) e seca (BS) da parte aérea. No solo foram determinadas as análises do carbono da biomassa microbiana do solo (CBM), da respiração basal (RBS), do carbono orgânico total (COT), da matéria orgânica do solo (MO), do quociente metabólico (qCO_2) e do quociente microbiano ($qmic$). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) por meio do teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, e os dados foram submetidos à análise multivariada de componentes principais (ACP). O biochar de BC foi mais efetivo em liberar P que o CC, o que pode estar relacionado com a menor ASE do BC em relação ao CC, uma vez que maior ASE pode fazer com que o P fique adsorvido às partículas do CC. Independentemente do tipo de biochar (CC ou BC), as maiores doses (16 Mg ha^{-1}) promoveram alterações nas propriedades microbiológicas do solo, aumentando o CBM, o COT e o $qMIC$ e diminuindo o qCO_2 . O tratamento com biochar de borra de café (dose de 16 Mg ha^{-1}) promoveu maior eficiência no uso de água, consumindo 45,6 e 47% menos água nas culturas do milho e feijão, respectivamente. O uso de biochar de resíduos de café (CC e BC) promoveram mudanças nas propriedades químicas do solo, aumentando o pH e os teores de P e K.

Palavras-chave: Biocarvão, Condicionador, *Phaseolus vulgaris*, *Zea mays*.

SILVA, Wendson de Moraes. COFFEE WASTE BIOCHAR APPLICATION ENTISOL: EFFECTS IN CHEMICAL AND BIOLOGICAL FEATURES AND CORN PRODUCTION AND BEAN. 2016. 55 p. Dissertation (Master of Agricultural Production). Federal Rural University of Pernambuco, Academic Unit of Garanhuns, GARANHUNS, PE. 2016.

SUMMARY

The use of biochar in agriculture is a practice widely used, in order to improve soil characteristics, being of great importance and contributing to soil structure, increase the carbon content in the soil, it is becoming an increasingly important tool in soil conditioning. Several studies are being conducted throughout in Brazil and in the world using the application of biochar in order to find management alternatives to increase the content of soil organic matter. Thus, this study aimed to characterize two biochars produced from two types of waste (peel and coffee grounds), and to evaluate the effect of these in the chemical and biological characteristics of an Entisol cultivated with corn and beans. The work was conducted in the experimental area of the Academic Unit of Garanhuns Federal Rural University of Pernambuco (UAG/UFRPE). Initially it was conducted to produce the two biochar a coffee pods (CC) and other coffee grounds (BC), which was carried out by means of combustion heat in a small home oven. After production of these were determined specific surface area (SSA), the adsorption capacity and desorption of phosphorus by colorimetric and performed the analysis of chemical composition of each biochar. For implementation of the experiment in greenhouse was collected soil at 0-20 cm in an area from native forest, the farm Riacho kite in mesoregion South Agreste of Pernambuco, São João, which is classified as Entisol typical eutrophic. Also analyzes were performed to characterize the chemical and physical properties of the soil. The experiment was conducted in a completely randomized design (CRD) at random. Treatments consisted of soil with mineral fertilizers (NPK) and organic fertilization with cattle manure, both according to the recommendations indicated for each crop, and two types of Biochar, with 4 repetitions. Four seeds of maize and beans were placed on vessels, five days after emergence (DAE) was carried out thinning, leaving one plant per pot. The pH and conductivity were measured (EC) soil water drainage and held measuring

evapotranspiration (ET). And at the end of the experiment, 45 DAE was held to determine the production of fresh biomass (BF) and dry (BS) of the shoot. On the ground it was determined carbon analysis of soil microbial biomass (CBM), the basal respiration (RBS), total organic carbon (TOC), soil organic matter (OM), metabolic quotient (qCO_2) and the quotient microbial (QMIC). Data were submitted to analysis of variance (ANOVA) by F test and means were compared by Tukey test at 5% probability, and the data were subjected to multivariate principal component analysis (PCA). The biochar BC was more effective in releasing the CC P, which may be related to the lower ASE BC with respect to DC, since higher SEA can cause the P becomes adsorbed to the particles of CC. Whatever type of biochar (CC or BC), the highest dose (16 Mg ha⁻¹) promoted changes in the microbiological properties of the soil, increasing the CBM, TOC and $qMIC$ and decreasing qCO_2 . Treatment with coffee grounds of biochar (16 Mg ha⁻¹ dose) promoted greater efficiency in water use, consuming 45.6 and 47% less water in crops of corn and beans, respectively. The use of biochar coffee waste (CC and BC) promoted changes in soil properties, increasing pH, P and K levels.

Keywords: Biochar, conditioner, *Phaseolus vulgaris*, *Zea mays*.

1. INTRODUÇÃO

O uso de biochar na agricultura é uma prática bastante utilizada, com intuito de melhorar as características do solo, pois este carvão vegetal pode contribuir com o aumento dos teores de carbono no solo, melhorando assim a sua estrutura, e vem se tornando cada vez mais uma importante ferramenta como condicionador de solo. Vários estudos estão sendo realizados em todo o mundo, no Brasil estão desenvolvendo pesquisas utilizando a aplicação de biochar, com a finalidade de se encontrar alternativas de manejo para aumentar o teor de matéria orgânica do solo (Kim et al., 2013; Wang et al., 2015; Pan et al., 2016).

O biochar é um produto rico em carbono, obtido do processo de pirólise através da queima de diferentes tipos de biomassa, que pode ser de origem animal ou vegetal, como casca e borra de café, bagaço e palha de cana-de-açúcar, palhas de arroz e de milho e cama de aviário, são alguns dos resíduos orgânicos que podem ser utilizados para produção de biochar. Este, pode ser produzido por dois tipos de pirólise: sendo uma rápida e outra lenta, ambas caracterizadas pela decomposição térmica da biomassa (Kim et al., 2013). A pirólise lenta é realizada sob ausência total ou parcial de oxigênio no pirólizador em alta temperatura e por um longo período de tempo (Danish et al., 2014), o que maximiza o rendimento do carvão, diminuindo assim as quantidades de outros produtos como bio-óleo e gás. A temperatura da pirólise influencia diretamente no pH do biochar produzido, tornando esse produto alcalino (Agegnehu et al., 2016). Purakayastha et al. (2016) encontraram que temperaturas superiores a 400 °C são responsáveis também pela estabilidade de biochar no solo.

Após a pirólise, o produto fica com uma coloração preta e com alto teor de carbono (C), apresentando um tempo maior para se decompor, diferente da biomassa da matéria-prima (Purakayastha et al., 2016), viabilizando assim, o uso desse resíduo na agricultura (Hossain et al., 2010). As características químicas e físicas do biochar dependem não somente da matéria-prima e condições de pirólise, mas, também, do manuseio antes e depois da carbonização (Downie et al., 2009).

A incorporação de biochar ao solo tem o potencial de proporcionar diversas melhorias em suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Nas propriedades físicas do solo pode provocar aumento da porosidade, melhorando a aeração e reduzindo assim

a densidade do solo (Herath et al., 2013), além de aumentar a condutividade hidráulica e a capacidade de retenção de água (Liu et al., 2016). Nas propriedades químicas tem o potencial de alterar o pH, devido realizar a correção de solos ácidos, aumentar a capacidade de troca catiônica (CTC) levando assim a uma maior disponibilidade de nutrientes, provocando melhorias na fertilidade do solo (Lima et al., 2015), que contribuirá no desenvolvimento das plantas (Deenik & Cooney, 2016). Nas propriedades biológicas o biochar pode influenciar a composição, a diversidade e a atividade microbiana no solo (Doan et al., 2014; Purakayastha et al., 2015; Wang et al., 2015; Pan et al., 2016).

O potencial do biochar em melhorar as propriedades físicas do solo é devido o mesmo apresentar elevada área superficial específica e, conseqüentemente, alta porosidade, podendo aumentar significativamente a capacidade de retenção de água (Ibrahim et al., 2013), especialmente em solos de textura arenosa. Sendo assim, uma estratégia importante para melhorar a estabilidade da produção agrícola em épocas de pouca disponibilidade de água (Carvalho et al., 2014). Segundo Lehman & Joseph (2009), a alta porosidade deste material também pode influenciar na adsorção de nutrientes e servir de abrigo para microrganismos do solo.

Na região semiárida nordestina, a escassez de água é um dos fatores que mais limitam à obtenção de elevadas produtividades das culturas agrícolas (Antonino et al., 2000), aliado a isto, os solos desta região apresentam-se arenosos, os quais possuem reduzida capacidade de retenção de água e baixa fertilidade, devido à reduzida disponibilidade de N e P (Sampaio et al., 2005; Menezes & Silva, 2008). Por este motivo, a fertilidade dos solos dessa região depende, sobretudo, do manejo da matéria orgânica do solo (Nascimento et al., 2003; Silva & Menezes, 2007; Menezes & Silva, 2008). Desse modo, a utilização de técnicas de manejo que aumentem a retenção de água e a fertilidade nesses solos é de fundamental importância para aumentar a produtividade das culturas nessa região.

O Neossolo Regolítico é um tipo de solo que apresenta textura arenosa e baixa capacidade de adsorção de nutrientes, quando comparado com solos argilosos (Tito et al., 1997). Este solo, naturalmente, possui baixos teores de matéria orgânica e bases trocáveis, alta macroporosidade e baixa capacidade de retenção de água (Santos et al., 2012).

A região do Agreste Meridional de Pernambuco apresenta um grande potencial na produção de esterco animal (bovino, caprino e de aves), sendo este, a principal fonte de matéria orgânica utilizada pelos produtores dessa região para a melhoria das propriedades físicas e químicas do solo. No entanto, a quantidade de esterco aplicada é, em geral, insuficiente para suprir a demanda das culturas agrícolas.

A incorporação de esterco bovino ao solo é uma prática utilizada por pequenos produtores como fonte de nutrientes, exercendo forte influência nas características físicas, químicas e biológicas do solo. A adubação orgânica pode aumentar os teores de matéria orgânica em solos arenosos (Menezes & Silva, 2008), e também proporcionar aumento das atividades dos microrganismos do solo (Doan et al., 2014). No entanto, solos com esse tipo de textura podem acelerar o processo de decomposição do material orgânico adicionado, seja este, de origem vegetal ou animal (Padilha et al., 2014).

As principais culturas alimentícias na região semiárida brasileira são o feijão e o milho, sendo que o cultivo das mesmas, geralmente, é realizado no sistema de sequeiro, com pouca ou nenhuma tecnologia, principalmente, por pequenos produtores. Além disso, existe o problema da variabilidade interanual da precipitação pluvial, sendo que, em alguns anos, o suprimento de água às plantas é suficiente para atingir altas produtividades, enquanto em outros anos, a falta de suprimento adequado, pode levar a perda total das colheitas (Lima et al, 2011).

Neste contexto, a utilização de técnicas de manejo como a aplicação do biochar, que tem potencial para aumentar a retenção de água e a fertilidade dos solos dessa região, é de fundamental importância para elevar a produtividade dessas culturas.

Assim, o presente trabalho teve o objetivo de caracterizar dois biochars, produzidos a partir de dois tipos de resíduos (casca e borra de café), além de avaliar o efeito desses biochars na produção de milho e feijão, bem como nas características químicas e biológicas de um Neossolo Regolítico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental

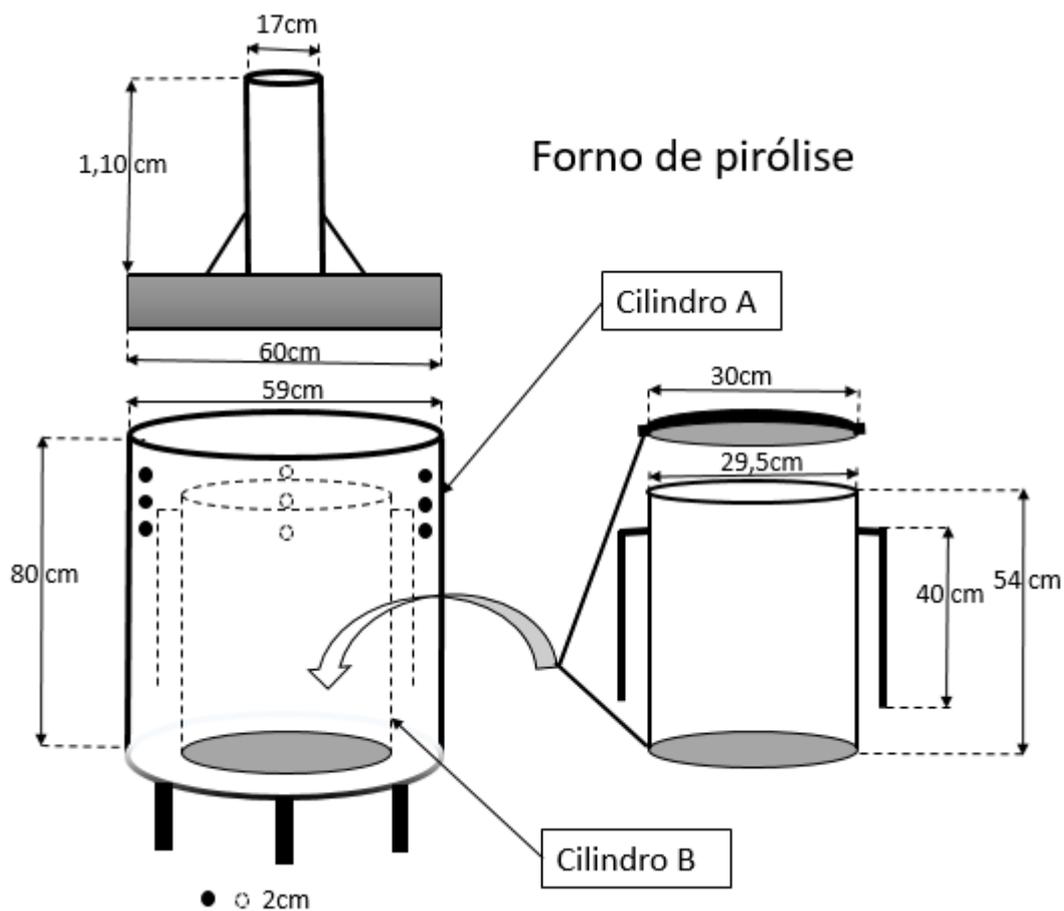
O trabalho foi conduzido em vasos na casa de vegetação (estufa agrícola) na área experimental da Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAG/UFRPE), localizada em Garanhuns, na região do agreste meridional de Pernambuco (8° 53' S, 36° 31' O, 823 m) no período compreendido entre os meses de dezembro de 2015 a janeiro de 2016.

De acordo com Borges Júnior et al. (2012), o clima é tropical chuvoso, com verão seco; a estação chuvosa se inicia no mês de maio e vai até outono. As médias anuais de temperatura e umidade relativa do ar são, respectivamente, 21,1°C e 82,5%, com precipitação pluvial de 897 mm anuais, sendo os meses mais chuvosos maio, junho, julho e agosto.

2.2 Produção dos biochars

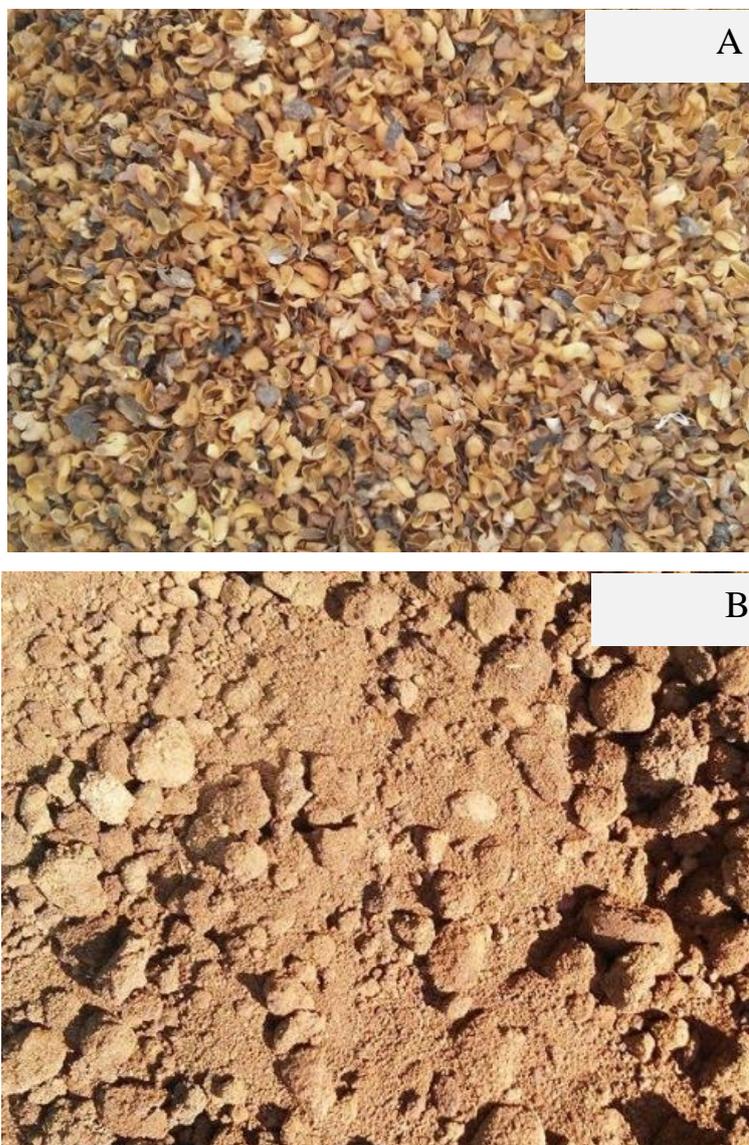
A produção do biochar foi realizada por meio da combustão incompleta pelo processo chamado de pirólise lenta, em um pequeno forno térmico caseiro com dois cilindros: cilindro A e cilindro B (Figura 1), o qual foi baseado num modelo amplamente utilizado pelos agricultores tailandeses (Prakongkep et al., 2015).

Figura 1. Representação do forno utilizado para produção dos biochars



Para a produção dos biochars foram utilizados dois diferentes tipos de biomassa, casca de café (CC) (Figura 2A) e borra de café (BC) (Figura 2B). A escolha desses resíduos se deu pelo fato da alta disponibilidade na região e no Brasil.

Figura 2. Resíduos de casca de café (A), que foi obtida no IPA de Brejão, e de borra de café, obtida numa cafeteria de Garanhuns-PE



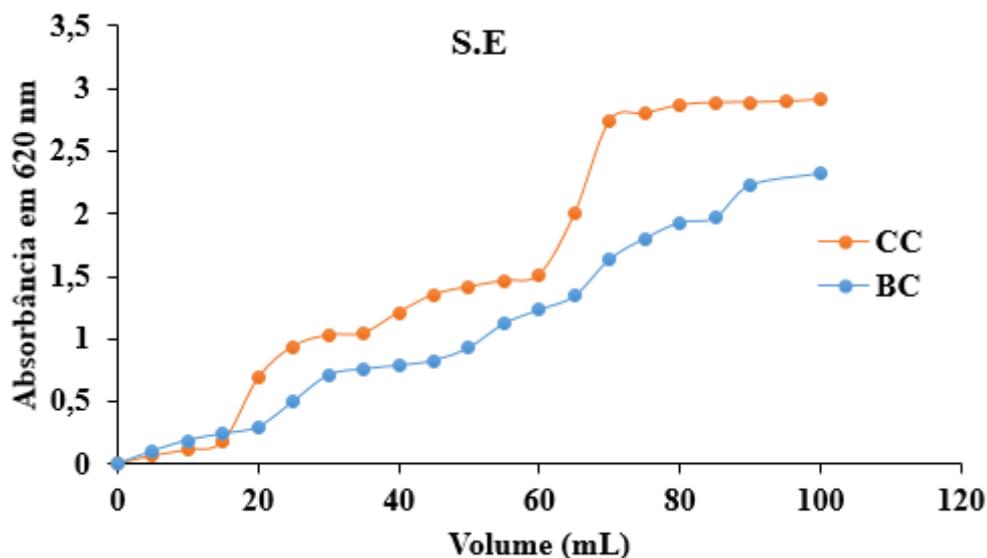
Os dois tipos de biochars foram produzidos por meio do processo de combustão incompleta dos resíduos, colocando-se os mesmos (CC e BC) no cilindro B interno que tem 54 cm de altura e diâmetro de 29,5 cm, o qual depois foi fechado. Após isso, o segundo cilindro A externo que tem altura de 80 cm e diâmetro de 59 cm, foi preenchido com madeira, a qual tem por objetivo a geração de calor no forno térmico (Figura 1).

2.3 Caracterização da área superfície específica (ASE) dos biochars

Para a determinação da superfície específica dos biochars foi utilizado a metodologia do azul de metileno via método colorimétrico, de acordo com metodologia de Kahr & Madsen (1995). O azul de metileno foi escolhido porque tem uma adsorção geralmente em mono capa na superfície de sólidos, tais como nas argilas. Conhecendo-se a superfície ocupada por uma molécula de Azul de Metileno ($1,30 \text{ E}^{-18} \text{ m}^2$) se pode calcular a superfície específica total.

O procedimento para determinação da área superficial específica (ASE) consistiu em se colocar, em tubos falcon de 50 mL, 0,2 g de biochar de casca de café (CC) e 6 g de biochar de borra de café (BC). Em seguida, fez-se a adição de 10 mL de água destilada, adicionando-se volumes crescentes (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 e 100 mL) de azul de metileno com concentração de $0,0025 \text{ Mol L}^{-1}$. Logo após as amostras foram colocadas para agitação por 16 horas num agitador de Wagner e em seguida os tubos foram colocados numa centrífuga (rotação de 12.000 rpm), por 10 minutos, obtendo-se, assim, o sobrenadante e os pontos crescentes, que dão origem a uma curva. Quando se chega a um volume de equilíbrio visualização na figura 3 (platô na curva), usa-se o mesmo para calcular a ASE. Na Figura 3, como exemplo, é apresentada a curva para o biochar da casca de café (CC) e borra de café (BC).

Figura 3. Curva da adsorção do azul de metileno para o biochar da casca de café (CC) e biochar da borra de café (BC).



2.4 Isotermas de adsorção e dessorção de fósforo (P) dos biochars

A determinação dos valores da capacidade de adsorção e dessorção de fósforo (P) foi realizada em amostras de 2 g de cada biochar. Esse material foi macerado em almofariz, para se obter um material bem fino. Após isso, em amostras em triplicata de cada biochar, foram adicionados 25 mL de uma solução de CaCl_2 de 0,01 M, contendo 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 mg L^{-1} de P na forma de KH_2PO_4 . Depois, essas amostras foram agitadas por 72 horas, à temperatura ambiente, e após o período de agitação, a suspensão foi centrifugada a 4.500 rpm e filtrada. A concentração de fósforo foi determinada por colorimetria. Para dessorção, colocaram-se 25 ml de CaCl_2 e as amostras foram agitadas por 72 horas, à temperatura ambiente. Após a agitação, a suspensão foi centrifugada a 4.500 rpm e filtrada e a concentração de P foi determinada por colorimetria.

2.5 Composição química dos tipos de biochar

Na caracterização química dos biochars foram determinados o pH em água e os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , K^+ , Na^+ , P e acidez potencial (Tabela 1), conforme metodologia contida em Embrapa (2011). Com os resultados obtidos das análises, foram calculadas a soma de bases (SB), a percentagem de saturação por bases (V), a saturação por alumínio e capacidade de troca catiônica (CTC).

Tabela 1. Características químicas dos biochars de casca de café (CC) e borra de café (BC)

	pH 1:5	P mg kg^{-1}	Ca	Mg	K	Al	Na	SB	CTC	C	N	C/N	ASE $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$
			----- cmolc kg^{-1} -----							-----%-----			
CC	10,31	470,65	0,14	0,12	22,17	0,00	0,06	22,49	22,54	67,11	2,05	32,7	244,0
BC	9,65	311,46	1,56	0,72	2,68	0,00	0,50	5,5	5,56	68,81	4,30	16,0	23,5

SB=Somas de bases, CTC=capacidade de troca de cátions, C=carbono, N=nitrogênio, C/N=relação carbono/nitrogênio e ASE= Área superficial específica.

2.6 Coleta do solo para o experimento

O solo utilizado no experimento foi coletado na camada de 0-20 cm numa área proveniente de mata nativa, na fazenda Riacho do Papagaio, na mesorregião do Agreste Meridional do Estado de Pernambuco, município de São João (08° 48' 34,2'' S, 36° 24' 29,3'' O, com altitude de 705 m). O solo da área é classificado como Neossolo Regolítico eutrófico típico (Santos et al., 2012).

2.7 Caracterização química e física do solo antes da incorporação do biochar

Na caracterização do solo química foram determinados o pH em água e os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , K^+ , Na^+ , P e acidez potencial (Tabela 2), conforme metodologia recomendada pela Embrapa (2011). Com os resultados obtidos das análises, foram calculadas a soma de bases (SB), a percentagem de saturação por bases (V), a saturação por alumínio e capacidade de troca catiônica (CTC).

Tabela 2. Atributos químicos do Neossolo Regolítico usado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.

pH	P	Mg	Ca	K	Al	Na	H+Al	SB	CTC	V	C	N	C/N
1:2,5	mg kg ⁻¹	-----				cmolc kg ⁻¹	-----			-----	%-----		
5,1	16,6	0,8	0,8	0,15	0,15	0,28	1,8	2,18	3,98	54,8	1,61	0,24	6,7

* SB Somas de bases, CTC capacidade de troca de cátions, C carbono, N nitrogênio, C/N relação carbono/nitrogênio.

Os teores de carbono (C) e nitrogênio (N) foram determinados via combustão a uma temperatura de 925 °C em analisador elementar CHNS-O (Perkin Elmer PE-2400). Para realização da análise foi utilizado aproximadamente 3 mg de amostra de solo. O padrão de referência utilizado foi a acetonalamida (C= 71,09%, H= 6,71%, N= 10,36%), sendo o equipamento padronizado a cada vinte amostras. Essas análises foram realizadas na Central de Laboratórios de Garanhuns (CENLAG) da UAG/UFRPE.

As características químicas dos dois biochars (Tabela 1), encontra-se os resultados quais de pH, e os teores de P, C, N, Mg, Ca, K, Al e H+Al, foram determinados pelos métodos usados na análise de solo, como mencionado acima. No entanto, para a determinação do pH foi usada uma relação de 1:5 (biochar: água). Os teores de C e N dos biochars também foram determinados da mesma forma que os teores do solo, como descrito anteriormente.

Na caracterização física do solo (Tabela 3), foram determinadas a composição granulométrica pelo método do densímetro com modificações (Ruiz, 2005); a umidade na capacidade de campo (CC), pelo extrator de Richards, a densidade do solo (Ds) e a porosidade total (PT), de acordo com a metodologias citadas em Embrapa (1997).

Tabela 3. Atributos físicos do Neossolo Regolítico usado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.

Areia	Argila	Silte	Ds	PT	CC
-----g kg ⁻¹ -----			Mg m ⁻³	m ³ m ⁻³	g g ⁻¹
880	40	80	1,50	0,433	0,09

Ds= densidade do solo; PT= porosidade total; CC= capacidade de campo.

2.8 Delineamento Experimental

O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado (DIC) ao acaso. Os tratamentos consistiram de solo com adubação mineral (NPK) e adubação orgânica com esterco de curral, ambas segundo a recomendação do IPA (2008), e dois tipos de Biochar (borra e casca de café), com 4 repetições. T1 - químico (NPK) N 0,2g P 0,4g e K 0,1g, T2 – Orgânico esterco bovino (E.B) 15 m³ ha⁻¹, T3 – CC4 biochar de casca de café 4 Mg ha⁻¹ 8g, T4 – CC8 biochar de casca de café 8 Mg ha⁻¹ 16g, T5 – CC12 biochar de casca de café 12 Mg ha⁻¹ 24g, T6 – CC16 biochar de casca de café 16 Mg ha⁻¹ 32g, T7- BC4 biochar de borra de café 4 Mg ha⁻¹ 8g, T8 – BC8 biochar de borra de café 8 Mg ha⁻¹ 16g, T9 – BC12 biochar de borra de café 12 Mg ha⁻¹ 24g, e T10 - BC16 biochar de borra de café 16 Mg ha⁻¹ 32g.

As sementes do milho, (variedade comercial 1058) comum da região e previamente tratadas com fungicida, foram semeadas no dia 16 de dezembro de 2015, colocando-se 4 sementes por vasos, sendo que cinco dias após a emergência (DAE) foi realizado um desbaste, deixando-se uma planta por vaso. A adubação com fósforo (P) e potássio (K) foi realizada em fundação no dia do plantio, já o nitrogênio (N) foi aplicado 21 dias após o plantio.

As sementes do feijão, da variedade BRS estilo e bastante cultivada na região, foram semeadas no dia 16 de dezembro de 2015, colocando-se 4 sementes por vasos. Do mesmo modo que na cultura do milho, também se realizou o desbaste. A adubação com P e K foi do mesmo modo que a realizada no milho, sendo que não houve adubação com N, uma vez que as sementes foram inoculadas com rizóbios.

2.9 Caracterização do pH e condutividade elétrica (CE) da solução do solo

O experimento foi irrigado com água destilada colocando-se o solo sempre na capacidade de campo (CC). Os valores de pH e de condutividade elétrica (CE) foram medidos na água de drenagem do solo, entre os intervalos de 15, 30 e 45 dias após a emergência (DAE). Para se obter essa água de drenagem foi adicionada, nessas datas, 20% a mais de água que a necessária para o solo ficar na CC. Após 24 h dessa aplicação, coletou-se a água drenada e realizou-se as medidas de pH e CE.

2.10 Evapotranspiração, produção de biomassa e eficiência do uso da água

A medição da evapotranspiração (ET) do milho e do feijão foi obtida por meio da diferença de massa, por meio da pesagem diária dos vasos. Com a quantidade (volume) de água necessária para o solo chegar à CC, e a área do vaso, obteve-se a ET.

Ao final do experimento, 45 DAE, realizou-se a determinação da produção de biomassa fresca (BF) e seca (BS) da parte aérea. Para isto, a parte aérea do milho e do feijão foi cortada rente ao solo, acondicionada em saco plástico e pesada para obtenção de BF. Após isso, esse material foi acondicionado em saco de papel e, em seguida, colocada em estufa de circulação forçada de ar por 72 horas a 70 °C, e em seguida pesada para a determinação da BS.

A eficiência do uso da água (EUA) foi obtida por meio da equação (1):

$$EUA = \frac{BS}{ET} \quad \text{g/mm} \quad (1)$$

Sendo: BS, a biomassa seca (g) e ET, a evapotranspiração (mm).

2.11 Atividades microbiológicas do solo

A avaliação da atividade dos indicadores biológicos do solo foi realizada por meio da determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (CBM), da respiração basal (RBS), do carbono orgânico total (COT), da matéria orgânica do solo (MO), do quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) e do quociente microbiano (q_{mic}).

A determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (CBM) foi realizada pelo processo de irradiação, conforme Mendonça & Matos (2005). A quantificação do CBM foi feita pela metodologia de Vance et al. (1987) e Tate et al. (1988), utilizando-se como extrator K_2SO_4 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, sendo colocado 80 ml dessa solução em 20 g de solo, a determinação por colorimetria (Barlett Ross, 1988).

A respiração basal do solo (RBS) foi quantificada pelo CO_2 evoluído a partir de 30 g de solo, incubado durante 72 horas, extraído com solução de NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e titulado com HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ (Isermeyer, 1952).

O carbono orgânico total (COT) foi determinado conforme Yeomans & Bremner (1988), por meio do princípio da oxidação a quente com dicromato de potássio, e posterior titulação do dicromato remanescente com sulfato ferroso amoniacal. A matéria orgânica do solo foi determinada multiplicando o valor do COT por 1,724.

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) é resultante da razão entre a RBS e o CBM expresso em microgramas de C-CO_2 por micrograma de CBM por dia (Anderson & Domsch, 1993). Já o quociente microbiano (q_{mic}), é obtido pela relação CBM/COT , de acordo com Sparling (1992).

2.12 Análise estatística

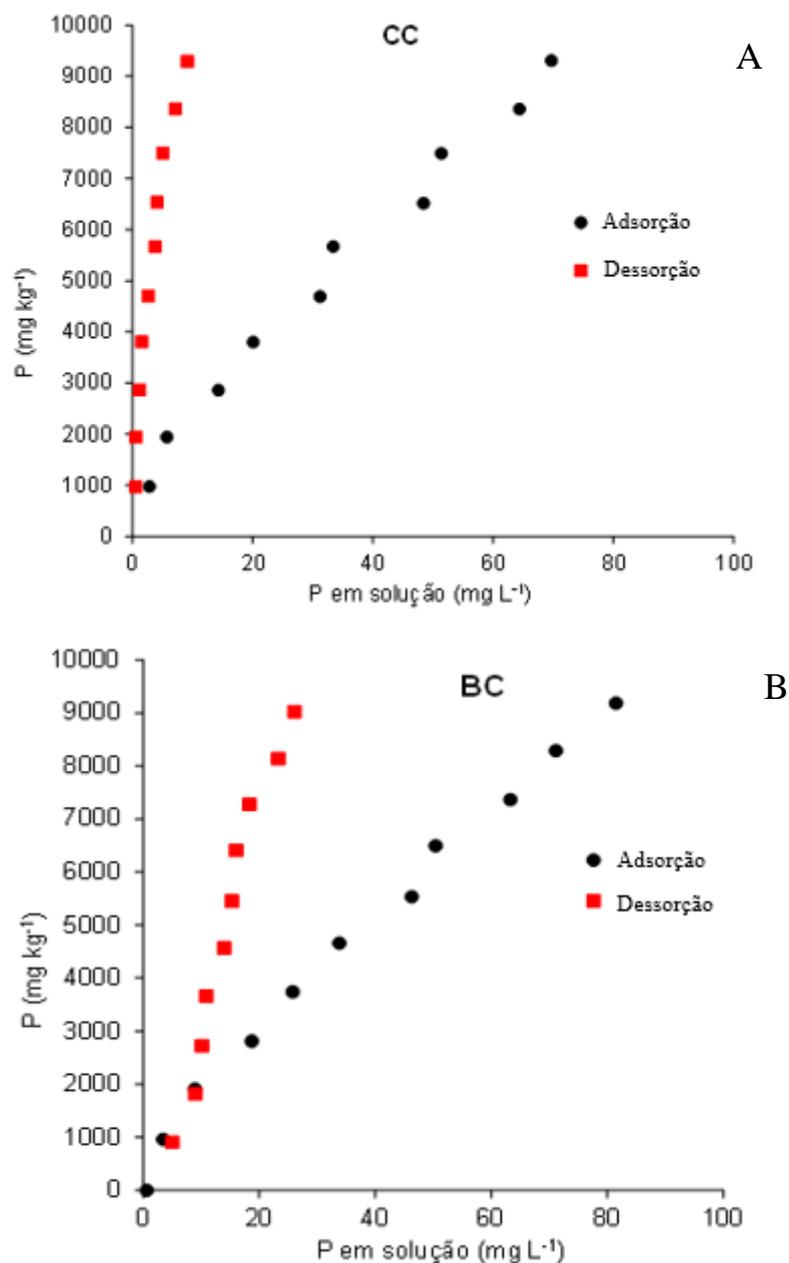
Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) por meio do teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, usando-se

o programa estatístico ASSISTAT versão 7.7 Beta (Silva e Azevedo, 2009). Visando determinar quais as variáveis que são os maiores responsáveis pela produção de biomassa das duas culturas do milho e feijão, os dados foram submetidos à análise multivariada de componentes principais (ACP).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observa-se, em relação a adsorção, que os dois biochars se comportaram de maneira semelhante. No entanto, com relação à dessorção de P, o biochar feito com a borra de café (BC) teve maior valor que o biochar feito com a casca de café (CC). Assim, o BC foi mais efetivo em liberar P que o CC, o que pode estar relacionado com a menor ASE do BC em relação ao CC (Tabela 3), uma vez que maior ASE pode fazer com que o P fique adsorvido às partículas do CC.

Figura 4. Isotermas de adsorção e dessorção de P em biochar de CC (A) e em biochar de BC (B).



Este resultado indica que a adição de biochar de BC pode contribuir para uma maior disponibilidade de P para a solução do solo, atuando na melhora dos teores de P no solo. Vale salientar, que a disponibilidade de P no biochar tem relação direta com o tipo de material utilizado na produção do biochar.

3.1 Características químicas do solo após 45 dias da adição de biochar

As características químicas do solo, 45 dias após a aplicação dos biochars sob o cultivo do milho, são apresentadas na Tabela 5.

De forma geral, observa-se que a adição de biochar aumentou o pH do solo, sendo que os tratamentos com BC (doses de 8, 12 e 16 Mg ha⁻¹) foram significativamente superiores aos tratamentos CC, E.B e NPK. O aumento do pH do solo pode ter sido provocado pelo fato dos biochars se apresentarem alcalino (Tabela 3), pois quando biochars são aplicados em solos ácidos pode exercer a função de corretivo do solo. Nossos resultados corroboram os de Hossain et al. (2011), Purakayastha et al. (2016), os quais encontraram que a adição de biochar aumentou o pH do solo. Apesar do CC possuir maior pH e maior CTC que o BC (Tabela 3), o mesmo teve menor efeito na mudança do pH do solo, possivelmente devido a sua maior ASE.

Em relação aos teores de K no solo, verificou-se que o tratamento BC apresentou valores mais elevados, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Biederman & Harpole (2013) realizaram uma análise de meta dados sobre o efeito do biochar nos nutrientes do solo e encontraram que o mesmo pode aumentar os teores de K no solo, como observado neste estudo.

Com relação aos teores de P, nota-se que os tratamentos com BC (8, 12 e 16 Mg ha⁻¹) apresentaram maiores valores, diferindo significativamente dos demais tratamentos. Isso pode ser devido aos altos teores de P no biochar (Tabela 3) e também porque o BC apresentou maior dessorção do P quando comparado ao CC (Figura 4). Por outro lado, o menor teor de P foi verificado nos tratamentos PK e CC4, demonstrando que esses tratamentos têm limitações na disponibilidade de fósforo.

De acordo com a Tabela 5, observou-se que não houve diferença significativa entre os teores de Mg, Ca, Na, H+Al e os indicadores de fertilidade do solo (CTC e V), entretanto, nota-se que houve diferença na soma de bases (SB), com o tratamento BC16 sendo superior aos demais.

Tabela 4. Composição química do Neossolo Regolítico após 45 dias da adição de biochar (CC e BC) em cultivo de milho

	pH	P	Mg	Ca	K	Al	Na	H+Al	SB	CTC	V	C	N	C/N	
TRAT.	1:2,5	mg kg ⁻¹	-----cmol _c kg ⁻¹ -----							----- %-----					
NPK	5,2 e	2,4 d	0,02 a	0,77 a	0,04 e	0,10 abc	0,26 a	2,18 a	1,10 b	3,29 a	33,74 a	0,93 bc	0,05 c	16,62 a	
E.B	5,3 de	4,5 cd	0,03 a	0,92 a	0,07 de	0,11 ab	0,26 a	2,76 a	1,30 ab	4,06 a	32,15 a	0,92 c	0,06 c	14,90 ab	
CC4	5,6 de	2,2 d	0,03 a	0,75 a	0,07 de	0,10 abc	0,25 a	2,06 a	1,11 b	3,17 a	35,10 a	1,06 bc	0,12 ab	8,67 c	
CC8	5,6 de	3,0 cd	0,03 a	0,80 a	0,14 cd	0,06 bc	0,35 a	2,27 a	1,33 ab	3,60 a	37,17 a	1,29 abc	0,12 ab	10,37 c	
CC12	5,5 de	4,5 cd	0,03 a	0,73 a	0,14 cd	0,08 abc	0,30 a	2,64 a	1,20 b	3,84 a	32,28 a	1,40 abc	0,14 ab	9,87 c	
CC16	5,6 de	5,4 bc	0,03 a	0,71 a	0,08 de	0,12 a	0,40 a	2,35 a	1,24 b	3,59 a	35,83 a	1,52 ab	0,15 a	9,75 c	
BC4	5,7 cd	4,6 cd	0,03 a	0,58 a	0,17 c	0,08 abc	0,26 a	2,43 a	1,05 b	3,48 a	30,96 a	1,20 abc	0,13 ab	8,70 c	
BC8	6,2 bc	7,9 ab	0,03 a	0,66 a	0,40 b	0,05 c	0,30 a	1,81 a	1,41 ab	3,22 a	43,96 a	1,51 abc	0,13 ab	11,37 bc	
BC12	6,6 ab	8,4 a	0,03 a	0,66 a	0,34 b	0,06 bc	0,20 a	1,69 a	1,24 ab	2,94 a	42,52 a	1,48 abc	0,12 b	12,27 bc	
BC16	6,9 a	9,5 a	0,04 a	0,74 a	0,51 a	0,05 c	0,33 a	2,10 a	1,62 a	3,73 a	45,74 a	1,73 a	0,14 ab	12,12 bc	
CV%	3,40	19,19	11,24	19,27	16,89	28,32	29,07	24,23	12,46	15,7	17,72	18,87	12,82	14,65	

As médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. SB Somas de bases, CTC capacidade de troca de cátions, V saturação por bases, C carbono, N nitrogênio, C/N relação carbono/nitrogênio.

Em relação aos teores de carbono no solo, observa-se que todos os tratamentos tiveram influência neste atributo, uma vez que antes da aplicação dos tratamentos o solo apresentava 1,61% de C (Tabela 2) e 45 dias após a emergência (DAE) do milho esses valores foram maiores ou menores, dependendo do tratamento. De acordo, com os resultados apresentados na tabela 5, verifica que os tratamentos PK e E.B sofreram maiores perdas de C que os com biochar (Tabela 4), o que pode ser explicado pela decomposição rápida da matéria orgânica nesses tratamentos, uma vez que em solos arenosos, como observaram Padilha et al. (2014), a decomposição da matéria orgânica ocorre mais rapidamente. Verifica-se, ainda, que o único tratamento que apresentou valor superior de C em relação ao solo inicial foi o BC16, com 1,73%.

As características químicas do solo, 45 DAE do feijão, são apresentadas na Tabela 5. Observa-se, em relação ao pH, ao contrário do observado no solo cultivado com milho, que não houve diferença significativa entre os tratamentos. Esse resultado é diferente dos obtidos por Van Zwieten et al. (2010), os quais relataram aumento do pH, após adição de biochar produzido a partir de resíduos da produção de papel.

A adição de biochar de BC nas doses de 12 e 16 Mg ha⁻¹ (BC12 e BC16, respectivamente) aumentou a concentração de K, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Esses resultados corroboram com os obtidos por Oguntunde et al. (2004), os quais avaliando o efeito de biochar em solos arenosos, encontraram aumentos nos teores de K. Segundo Glaser et al. (2002), solos arenosos são influenciados positivamente pela aplicação de biochar, pelo fato desse tipo de solo apresentar uma decomposição mais rápida dos resíduos orgânicos adicionados.

Em relação aos teores de carbono, verifica-se que os tratamentos com biochar (CC e BC) apresentaram valores significativamente maiores que os tratamentos com adubação química (PK) e com esterco bovino (E.B). Além disso, o C nos tratamentos BC12 e BC16 foi mais alto que o C do solo antes da aplicação dos tratamentos (Tabela 1).

Tabela 5. Composição química do Neossolo Regolítico após 45 dias da adição de biochar (CC e BC) em cultivo de feijão

TRAT.	pH	P	Mg	Ca	K	Al	Na	H+Al	SB	CTC	V	C	N	C/N
	1:2,5	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----					-----%-----						
PK	5,5 a	5,91abc	0,006 b	0,82 bc	0,08 e	0,08ab	0,06 a	2,80 a	0,98 cd	3,78abc	26,58c	0,87 c	0,07 b	10,37abc
E.B	5,5 a	5,85abc	0,006 b	0,77 bc	0,13 de	0,10a	0,07 a	2,89 a	0,98 cd	3,87ab	25,97c	0,83 c	0,06 b	12,84a
CC4	5,5 a	5,05abc	0,007 b	1,05 b	0,16 de	0,05c	0,04 a	2,18 ab	1,27 bc	3,45abc	36,63bc	1,25abc	0,15 a	8,32 cde
CC8	5,5 a	7,96ab	0,006 b	0,89 bc	0,20 de	0,05c	0,07 a	2,06 ab	1,18 c	3,24abc	36,52bc	1,37abc	0,18 a	7,32 de
CC12	5,5 a	5,75abc	0,005 b	0,83 bc	0,27 cd	0,07abc	0,07 a	2,14 ab	1,18 c	3,33abc	35,81bc	1,56abc	0,20 a	7,86 cde
CC16	5,7 a	6,03abc	0,013 a	0,71 c	0,26 cd	0,06bc	0,06 a	2,64 a	1,05 c	3,69abc	29,04bc	1,54abc	0,21 a	7,28 de
BC4	5,5 a	8,38 ^a	0,013 a	1,61 a	0,20 de	0,10a	0,06 a	2,27 ab	1,89 a	4,16a	45,54ab	1,06bc	0,17 a	6,12 e
BC8	5,4 a	4,39bc	0,001 c	0,15 d	0,41 c	0,05c	0,07 a	1,98 ab	0,64 d	2,61c	25,08c	1,58abc	0,18 a	8,43bcde
BC12	5,4 a	2,71c	0,007 b	0,90 bc	0,64 b	0,05c	0,07 a	1,32 b	1,63 ab	2,95bc	56,97a	1,89 ab	0,16 a	9,30bcd
BC16	5,4 a	2,80c	0,007 b	0,83 bc	0,84 a	0,05c	0,08 a	1,40 b	1,77 a	3,17abc	56,86a	2,08 a	0,18 a	11,24ab
CV%	3,26	26,94	15,29	16,15	21,60	21,38	28,30	23,51	12,16	14,47	18,68	25,94	16,90	13,46

As médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. SB Somas de bases, CTC capacidade de troca de cátions, V saturação por bases, C carbono, N nitrogênio, C/N relação carbono/nitrogênio.

De forma geral, tanto no cultivo de milho quanto no de feijão, observou-se que a adição de biochar ao solo promoveu aumento nos teores de K e C e no pH, quando comparados com os tratamentos com adubação química e/ou orgânica (esterco bovino), ou quando comparado ao solo antes do experimento. Esses resultados indicam o potencial do biochar em alterar as propriedades químicas do solo e aumentar a fertilidade do mesmo, corroborando com vários autores (Hossain et al., 2011; Jones et al., 2012; Biederman & Harpole, 2013; Agegnehu et al., 2016; Purakayastha et al., 2016; Zhang et al., 2016) que estudaram a aplicação de biochar em diferentes solos, culturas e condições climáticas.

3.2 Caracterização de pH e Condutividade elétrica (CE) da solução do solo

Os resultados referentes ao pH e a condutividade elétrica (CE) da solução do solo são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Valores de pH e de condutividade elétrica (CE) da solução do solo sob a influência de dois tipos biochar (CC e BC) na cultura do milho

TRAT.	pH			CE, $\mu\text{S cm}^{-1}$		
	15 dias	30 dias	45 dias	15 dias	30 dias	45 dias
NPK	5,8 a	5,3 ab	4,7 bc	564,75 ab	375,92 b	267,92 abc
E.B	5,5 a	5,6 ab	5,0 abc	530,85 ab	422,20 b	97,27 d
CC4	5,3 a	5,9 a	4,8 bc	414,95 b	407,37 b	164,57 cd
CC8	4,8 a	4,8 b	4,5 c	614,42 a	561,60 ab	304,30 abc
CC12	5,2 a	5,0 ab	4,7 bc	488,92 ab	418,27 b	329,62 ab
CC16	5,1 a	4,9 ab	5,1 ab	493,10 ab	518,55 b	203,65 bcd
BC4	5,2 a	5,1 ab	4,9 bc	520,45 ab	383,77 b	299,85 abc
BC8	5,3 a	5,0 ab	4,7 bc	595,97 a	739,02 a	402,95 a
BC12	5,1 a	5,2 ab	5,2 ab	542,67 ab	444,00 b	291,80 abc
BC16	5,6 a	5,4 ab	5,5 a	589,85 ab	542,90 ab	324,87 ab
CV	9,39	8,17	4,56	13,96	18,2	24,2

As médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. pH em solução do solo, CE – condutividade elétrica (μS).

Observa-se, de modo geral, que os tratamentos com biochar não tiveram mudanças no pH da solução do solo com o passar do tempo. Por exemplo, no tratamento

com 16 Mg ha⁻¹ de BC o pH ficou praticamente constante, com 5,6 aos 15 dias e 5,5 aos 45 dias após a adição do biochar. Já no tratamento com NPK ocorreu uma redução do pH, sendo de 5,8 aos 15 dias e de 4,7 aos 45 dias após a adubação química. Esses resultados indicam que o biochar tem um maior poder tampão, dificultando a mudança de pH, devido, provavelmente a sua ASE (Tabela 4).

Com relação a CE, os resultados mostram que a mesma tende a diminuir com o crescimento da cultura. Os tratamentos que receberam aplicação de biochar apresentaram maiores valores de CE, concordando com os resultados obtidos por Upadhyay et al. (2014), que estudaram a influência do biochar sobre o crescimento de alface e batata, onde o aumento nas doses de biochar aumentou os valores de CE.

Na Tabela 8, serão apresentados os resultados referentes ao pH e a condutividade elétrica da solução do solo em feijão.

Tabela 7. Valores de pH e de condutividade elétrica (CE) da solução do solo sob a influência de dois tipos biochar (CC e BC) na cultura do feijão

TRAT.	pH			CE, $\mu\text{S cm}^{-1}$		
	15 dias	30 dias	45 dias	15 dias	30 dias	45 dias
PK	5,0 e	5,0 c	4,6 b	578,97 a	301,40 c	119,52 de
E.B	5,3 de	5,5 abc	5,5 a	468,57 ab	324,57 bc	96,40 e
CC4	5,6 bcd	5,4 abc	4,9 ab	524,57 ab	460,05 abc	190,62 cde
CC8	5,5 cd	5,1 bc	5,4 a	419,85 b	498,52 abc	215,80 bcd
CC12	5,9 abc	5,7 ab	5,0 ab	585,52 a	490,62 abc	181,00 cde
CC16	5,5 cd	5,2 bc	5,3 a	455,70 b	384,30 abc	115,05 de
BC4	4,9 e	5,1 bc	5,2 ab	475,70 ab	477,30 abc	122,92 cde
BC8	5,9 abc	6,0 a	5,3 a	438,95 b	535,77 a	311,90 ab
BC12	6,0 ab	5,5 abc	5,3 a	497,30 ab	535,42 a	227,87 bc
BC16	6,2 a	5,4 bc	5,3 a	531,57 ab	499,45 ab	375,20 a
CV	3,76	5,14	4,56	9,94	18,18	22,65

As médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. pH em solução do solo (DAG - dias após a germinação), CE – condutividade elétrica (μS).

Observa-se que, nos três períodos avaliados, os valores de pH foram aumentados significativamente pela aplicação de biochars. Observou-se maior valor de pH (6,2) no tratamento com aplicação de BC aos 15 dias e menor valor no tratamento PK aos 45 dias.

Nota-se que os valores de condutividade elétrica diferem estatisticamente entre os tratamentos e entre os dias de análise os valores diminuiram com o crescimento da cultura. O uso de biochars no cultivo do feijão aumentou os valores de CE no solo, resultados obtidos por Upadhyay et al. (2014), corroboram com os resultados encontrados neste trabalho.

3.3 Atividades microbiológicas do solo

Na Tabela 8 são apresentados os resultados referentes as atividades das propriedades microbiológicas do solo na cultura do milho.

Tabela 8. Atividades microbiológicas (CBM, RBS, qCO₂ e qMIC) e carbono orgânico total (COT) em um Neossolo Regolítico sob a influência de dois tipos biochar (CC e BC) após 45 dias de cultivo de milho

TRAT.	CBM mg kg ⁻¹	RBS mg kg ⁻¹	COT g kg ⁻¹	qCO ₂ mg kg ⁻¹	qMIC (%)
NPK	83,59de	5,10 a	19,57 ab	0,061 cd	4,27 cd
E.B	82,97def	5,25 a	23,29 ab	0,063 cd	3,59 de
CC4	57,88ef	5,17 a	20,40 ab	0,089 ab	2,86 de
CC8	68,10ef	5,40 a	21,89 ab	0,079 bc	3,13 de
CC12	45,40f	5,92 a	23,90 ab	0,130 a	1,91 e
CC16	108,95cd	4,42 a	27,35 a	0,042 def	4,04 cde
BC4	133,16c	6,15 a	22,10 ab	0,047 de	6,09 c
BC8	200,50b	5,25 a	24,25 ab	0,025 ef	8,41 b
BC12	261,04 ^a	5,55 a	23,07 ab	0,020 ef	11,39 a
BC16	240,61 ^a	3,90 a	27,57 a	0,017 f	8,83 b
CV%	12,3	23,08	13,83	20,94	16,21

As médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CBM carbono da biomassa microbiana. RBS respiração basal do solo. COT carbono orgânico total. qCO₂ quociente metabólico, qMIC quociente microbiano.

Observa-se que o carbono da biomassa microbiana (CBM) foi estatisticamente superior nos tratamentos com biochar BC (tratamentos BC8, BC12 e BC16) em relação aos demais, indicando que a adição de biochar de BC ofereceu melhores condições para o aumento da biomassa microbiana do solo. O CBM pode ser usado como indicativo da

qualidade de um solo (Perez et al., 2004), assim, os tratamentos com BC podem ser usados para melhorar a qualidade microbiológica do Neossolo Regolítico estudado.

Diversos autores (Biederman & Harpole, 2013; Doan et al., 2014; Lu et al., 2015; Purakayastha et al., 2015) também encontraram um aumento do CBM com a adição de biochar no solo. No entanto, Dempster et al. (2012) encontraram resultado diferente destes trabalhos, onde com o aumento da taxa de aplicação de biochar ocorreu uma diminuição do CBM. De acordo com esses autores, os seus resultados podem ser explicados, em parte, por variações na taxa de aplicação do biochar (a deles foi de 50 Mg ha⁻¹), pelo tipo do biochar (o resíduo usado no experimento deles foi biomassa de eucalipto) e o tipo de solo (mais argiloso).

Observa-se que o COT nos diferentes tratamentos só foi maior estatisticamente nos tratamentos CC16 e BC16, indicando que independentemente da fonte de biochar utilizada (CC ou BC), as maiores doses (16 Mg ha⁻¹) foram as que promoveram aumento do COT. Esse maior valor de COT pode ser devido aos elevados teores de C nos biochars (Tabela 1). Vários autores encontraram aumento do COT em solos que receberam biochar (Biederman & Harpole, 2013; Purakayastha et al., 2015; Wang et al., 2015), corroborando os dados dessa pesquisa.

Para a respiração basal do solo (RBS), não ocorreram diferenças estatísticas entre os tratamentos (Tabela 8). No entanto, em relação ao quociente metabólico (qCO₂) observou-se que os tratamentos com BC (tratamentos BC8, BC12 e BC16), promoveram uma menor produção de C-CO₂. Segundo Almeida et al. (2007), uma maior emissão de CO₂ pode estar associada com condições de estresse dos microrganismos, o que demonstra que a aplicação do biochar de BC pode ser uma técnica para mitigar as mudanças climáticas globais, já que o mesmo teve menor valor de qCO₂.

Além disso, a respiração basal do solo (RBS) e o quociente metabólico (qCO₂) são componentes da taxa de respiração específica da biomassa e atributos relacionados ao ciclo do carbono orgânico (Cardoso et al., 2009), indicando que sistemas de manejo que têm menor RBS e qCO₂ liberam menor quantidade de CO₂ para a atmosfera.

De acordo com o quociente microbiano (qMIC), relação que expressa quanto do carbono orgânico do solo está imobilizado na biomassa microbiana (Cardoso et al., 2009), a menor eficiência dos microrganismos na imobilização do carbono ocorreu nos tratamentos sem biochar e com CC, e os melhores nos tratamentos BC (tratamentos BC8,

BC12 e BC16. Esses resultados sugerem que o biochar feito de borra de café (BC) pode ser uma técnica que aumenta a atividade microbiana, como encontrado em outros estudos com biochar (Lu et al., 2015; Purakayastha et al., 2015; Wang et al., 2015).

Cunha et al. (2011), ressaltam que o quociente metabólico (qCO₂), e o quociente microbiano (qMIC) podem ser utilizados para avaliação da qualidade do solo, pois, sob estresse, a biomassa microbiana do solo apresenta qCO₂ e RBS mais altos, indicando maior consumo de energia.

Na Tabela 9 são apresentados os resultados referentes as atividades das propriedades microbiológicas do solo na cultura do feijão.

Tabela 9. Atividades microbiológicas (CBM, RBS, qCO₂ e qMIC) e carbono orgânico total (COT) em um Neossolo Regolítico sob a influência de dois tipos biochar (CC e BC) após 45 dias de cultivo de feijão

TRAT.	CBM mg kg ⁻¹	RBS mg kg ⁻¹	COT g kg ⁻¹	qCO ₂ mg kg ⁻¹	qMIC %
PK	45,95 e	12,75 a	22,03 ab	0,277 a	2,16 e
E.B	91,50 de	12,97 a	16,10 b	0,142 b	5,74 cde
CC4	146,16 cde	13,87 a	22,97 ab	0,095 bcd	6,52 cde
CC8	111,70 cde	12,97 a	22,76 ab	0,116 bc	4,90 de
CC12	296,97 ab	14,25 a	21,75 ab	0,048 de	13,71 a
CC16	300,65 ab	13,95 a	26,99 a	0,046 de	11,48 ab
BC4	228,87 bc	13,35 a	22,61 ab	0,058 de	10,12 abc
BC8	103,56 de	13,20 a	19,82 ab	0,127 bc	5,35 cde
BC12	203,02 bcd	13,95 a	27,86 a	0,069 cde	7,18 bcd
BC16	390,02 a	14,40 a	28,30 a	0,037 e	13,95 a
CV%	26,53	5,76	18,39	19,97	24,6

As médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CBM carbono da biomassa microbiana. RBS respiração basal do solo. COT carbono orgânico total. qCO₂ quociente metabólico qMIC quociente microbiano.

Observa-se no cultivo de feijão que o CBM foi estatisticamente superior nos tratamentos CC (CC12 e CC16) e BC 16. Esses resultados também mostram, como no cultivo de milho, que a adição de biochar ao solo cultivado com feijão promoveu aumento do CBM, indicando que essa técnica pode ser usada para aumentar o sequestro de carbono no solo.

Do mesmo modo que no cultivo do milho, não ocorreram diferenças significativas para a RBS entre os diferentes tratamentos.

Já para o quociente metabólico (qCO_2) verifica-se que o tratamento PK foi o que mais emitiu CO_2 para a atmosfera, seguido do tratamento com esterco bovino (E.B). Já o menor valor de qCO_2 foi obtido com o tratamento BC16, indicando maior estabilidade do carbono no solo nesse tratamento.

Com relação ao COT (Tabela 9), observa-se que os tratamentos CC16, BC12 e BC16 foram superiores (maiores valores de COT) aos demais tratamentos, indicando que as maiores doses de biochar, independentemente do tipo de resíduo, promoveram aumento do COT.

Com relação ao quociente microbiano ($qMIC$), observa-se que os maiores valores ocorreram nos tratamentos com CC12, CC16 e BC16, mostrando que as maiores doses de biochar promoveram maior eficiência dos microrganismos na imobilização do carbono.

Observou-se, tanto para o solo cultivado com milho (Tabela 8), quanto para o solo cultivado com feijão (Tabela 9), que as doses de biochar tiveram efeito significativos nas propriedades microbiológicas do solo e no COT, sendo a dose de BC16 uma das mais efetivas em aumentar o COT e o CBM e reduzir o qCO_2 .

3.4 Componentes de produção, evapotranspiração e eficiência no uso de água

Na avaliação dos componentes de produção do milho, quais sejam: altura da planta e diâmetro do colmo, observa-se que não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos. No entanto, quando se avaliou a biomassa aérea seca (BS) verificou-se que os tratamentos com biochar com borra de café (BC), nas doses de 12 e 16 $Mg\ ha^{-1}$ (BC12 e BC16) foram estatisticamente iguais ao com adubação química (NPK) e superiores aos demais tratamentos (Tabela 10). Esse resultado é muito interessante, uma vez que mostra que a aplicação do BC promove uma produção de biomassa igual ao do tratamento com adubação química, indicando que esse resíduo (borra de café) pode ser uma alternativa para agricultores familiares.

Vários autores encontraram aumento na produção de biomassa na cultura do milho com a adição de biochar (Agegnehu et al., 2016; Purakayastha et al., 2016; Zhang et al.,

2016). No entanto, alguns autores dizem que esse efeito somente se verifica em espaço de tempo maior, como por exemplo, Major et al. (2009), os quais encontraram que a adição de biochar resultou em aumento no rendimento da cultura do milho, no entanto, essa adição de biochar só apresentou efeito significativo no segundo ano de cultivo. Já outros autores, como Bunan et al. (2015), encontraram um efeito negativo da aplicação do biochar na produção de biomassa do milho no primeiro ano de cultivo. Contudo, no segundo ano de cultivo esse efeito foi positivo.

Tabela 10. Altura, diâmetro, biomassa seca, evapotranspiração e eficiência do uso de água de milho cultivado num Neossolo Regolítico

TRAT.	Altura			Diâmetro			ET	BS	E.U.A
	15 DAE	30 DAE	45 DAE	15 DAE	30 DAE	45 DAE	45DAE	45DAE	45DAE
	-----cm-----			-----mm-----			Mm	g	g mm ⁻¹
NPK	13,50 a	19,62 a	29,5a	6,65 a	9,99 a	15,03 a	226,0 a	83,3 a	0,37 bc
E.B	10,62 a	18,62 a	24,2ab	5,99 a	8,95 a	12,59 a	204,1ab	48,6 c	0,28 c
CC4	10,12 a	17,12 a	25,5ab	5,74 a	8,53 a	12,23 a	194,8ab	50,0 c	0,27 c
CC8	9,87 a	15,75 a	22,5b	5,83 a	8,41 a	12,34 a	156,2ab	48,9 c	0,31 c
CC12	10,37 a	18,37 a	25,0ab	5,93 a	8,98 a	12,47 a	167,7ab	54,1bc	0,38 bc
CC16	9,75 a	18,25 a	23,7ab	5,77 a	9,30 a	13,30 a	139,5 b	61,5abc	0,49abc
BC4	9,87 a	18,62 a	24,7ab	6,06 a	9,10 a	12,36 a	137,4 b	73,5ab	0,47abc
BC8	11,62 a	20,12 a	25,7ab	6,26 a	9,74 a	12,76 a	152,1ab	64,7abc	0,38 bc
BC12	10,37 a	17,75 a	25,5ab	6,15 a	9,59 a	13,90 a	120,8 b	77,3 a	0,57 ab
BC16	11,50 a	18,87 a	26,5ab	6,50 a	10,19 a	14,65 a	121,8 b	81,8 a	0,68 a
CV%	15,08	15,19	9,89	11,54	12,94	3,7	21,96	14,9	24,98

As médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ALT=altura. DIAM=diâmetro. ET=Evapotranspiração, BS =biomassa seca, E.U.A= eficiência do uso de água.

Em relação ao consumo de água pelo milho, ou seja, evapotranspiração (ET), observou-se que ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos, com os que utilizaram a borra de café (BC) apresentando os menores valores de ET. Esses menores valores de ET devem ser devido a uma provável maior retenção de água no solo provocada pelo biochar, como encontrado por outros autores (Basso et al., 2013; Ibrahim et al., 2013; Liu et al., 2016).

A aplicação de biochar ao solo feito de borra de café (BC), promoveu maior eficiência do uso de água (E.U.A), uma vez que o tratamento BC16 foi estatisticamente superior aos demais tratamentos, com 0,68 g de biomassa seca para cada mm de água consumido.

Os valores dos componentes de produção, ET e EUA na cultura do feijão são apresentados na Tabela 11.

Do mesmo modo que na cultura do milho não foram observadas diferenças significativas para a altura de plantas e diâmetro do caule do feijoeiro entre os diferentes tratamentos.

Tabela 11. Altura, diâmetro, biomassa seca, evapotranspiração e eficiência do uso de água de feijão cultivado num Neossolo Regolítico

TRAT.	Altura			Diâmetro			ET	BS	E.U.A
	15 DAE	30 DAE	45 DAE	15 DAE	30 DAE	45 DAE	45DAE	45DAE	45DAE
	-----cm-----			-----mm-----			mm	g	g mm ⁻¹
PK	10,75 a	18,50 a	37,25 a	3,97 a	4,75 a	5,09 ab	221,9a	19,84a	0,09 b
E.B	8,62 a	15,37 a	32,75 a	3,94 a	4,56 a	5,08 ab	196,9a	19,79a	0,10 b
CC4	9,37 a	18,37 a	30,75 a	3,74 a	4,43 a	4,56 b	171,9ab	16,89a	0,10 b
CC8	9,87 a	17,37 a	32,00 a	4,11 a	4,77 a	4,95 ab	192,7a	20,61a	0,10 b
CC12	10,25 a	16,25 a	34,25 a	3,70 a	4,27 a	4,47 b	184,4ab	18,80a	0,10 b
CC16	9,75 a	19,00 a	41,87 a	3,96 a	5,14 a	5,68 a	205,2aa	15,73a	0,09 b
BC4	9,25 a	15,75 a	40,25 a	3,66 a	4,19 a	4,67 b	184,4ab	21,95a	0,12 b
BC8	9,00 a	14,62 a	29,12 a	3,87 a	4,20 a	4,39 b	155,2ab	20,09a	0,10 b
BC12	8,87 a	15,00 a	36,00 a	3,74 a	4,30 a	4,51 b	187,5a	21,51a	0,13 ab
BC16	9,00 a	13,50 a	29,00 a	3,90 a	4,61 a	4,46 b	109,4b	19,25a	0,17 a
CV%	12,07	20,43	21,91	7,51	11,01	7,77	17,8	24,55	18,16

As médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ALT=altura. DIAM=diâmetro. ET=Evapotranspiração, Prod=Produção, E.U.A=eficiência do uso de água.

Foram observados altos rendimentos de biomassa da matéria seca do feijão, nos tratamentos BC 12 e BC 16, menos água foram gastas nesses tratamentos para alcançar alto rendimento, com isso, foram os mais efetivos na eficiência do uso de água. Silva et al. (2012) encontraram um aumento no rendimento do feijão comum, com o uso de biochar na dose de 32 Mg ha⁻¹.

Notou-se que os tratamentos com a adição de biochar BC, sofreram as menores perdas nos índices de evapotranspiração, entre outros, fatores relacionados com a baixa evapotranspiração na cultura do feijão nesse tratamento, pode ser explicado pelo fato da água ficou retida no solo, sendo um indicativo de que o uso de biochar pode aumentar a capacidade de retenção de água no solo.

A adição de biochar de BC melhorou a capacidade de retenção de água do solo, além disso, também melhorou o rendimento da cultura do feijão em um Neossolo Regolítico, este efeito pode ser explicado pela baixa evapotranspiração na cultura após aplicação do biochar.

3.5 Análise multivariada dos componentes principais

A análise dos componentes principais (ACP) é utilizada para identificar as variáveis que melhor contribuíram para a produção da cultura do milho (Tabela 12). Outros trabalhos com aplicação de biochar ao solo também vem utilizando a informação dos dois primeiros fatores, como Rondon et al. (2006) e Lima (2014).

Tabela 12. Análise dos atributos químicos, microbianos, eficiência do uso de água e produção de milho analisados para cada componente principal (CP) obtidos em Neossolo Regolítico sob adição de biochars

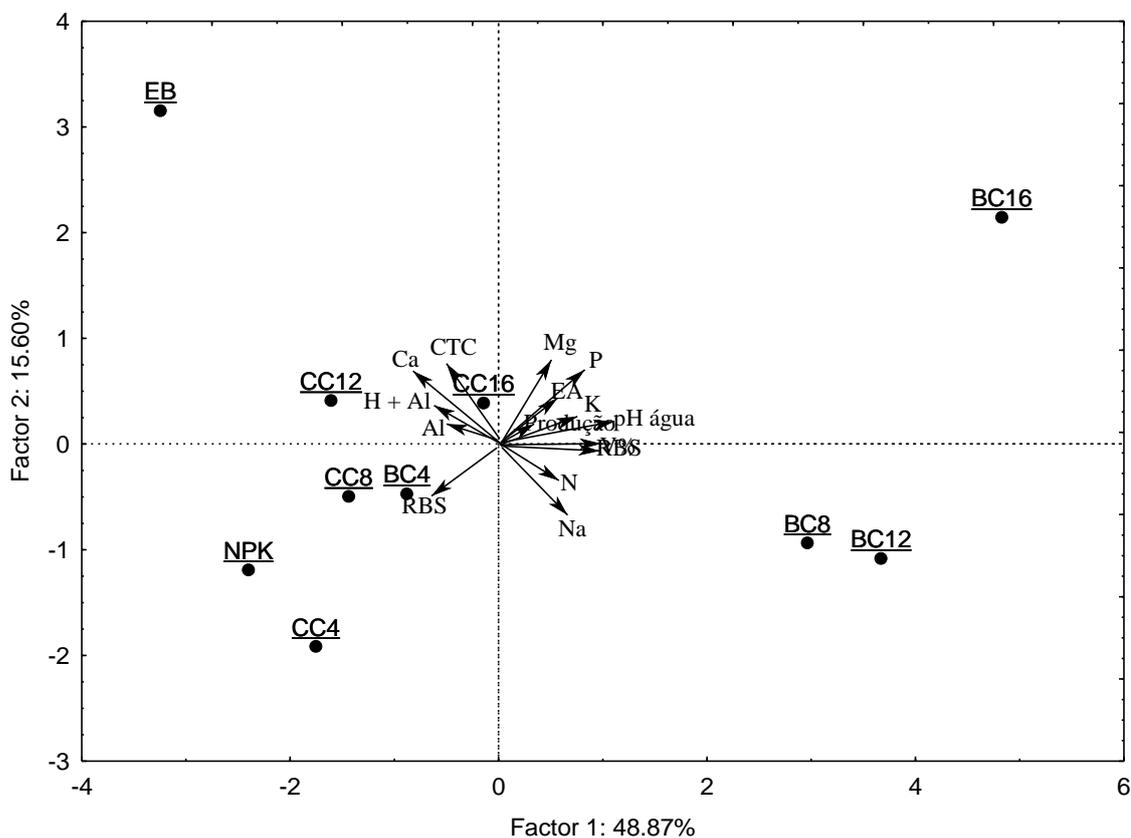
Variáveis	Fator 1	Fator 2
EA	0,81	0,17
pH água	0,96	0,10
P	0,77	0,46
Na	0,66	-0,27
K	0,93	0,25
Al	-0,73	0,13
Ca	-0,49	0,54
Mg	0,29	0,65
H+Al	-0,72	0,60
CTC	-0,17	0,93
V%	0,93	-0,05
C	0,85	0,11
N	0,49	-0,13
CBM	0,87	-0,04
RBS	-0,42	-0,37

Produção	0,43	0,05
Autovalor	7,82	2,49
Variância total (%)	7,82	2,49
Variância acumulada (%)	48,87	64,47

Dos diferentes tratamentos após aplicação de NPK, E.B, e biochars de BC e CC, sobre a produção de matéria seca da cultura do milho cultivado em Neossolo Regolítico, foram selecionadas as duas primeiras componentes principais. As variáveis selecionadas para a ACP foram os atributos químicos (pH, P, K, Ca, Mg, Al, Na, H+Al, CTC, N), atributos microbiológicos (RBS, CBM), produção e eficiência do uso de água na cultura do milho (Produção e EUA). Observou-se que os dois fatores apresentam uma porcentagem acumulativa de 64,47 %. De acordo com o fator 1, responsável por 48,87% da variação total da produção da cultura do milho. Os resultados mostram que houve uma correlação positiva no fator 1, para as variáveis EA, pH, P, NA, K, V%, C, N, CBM e produção. Já o fator 2 apresentou correlação positiva as variáveis EA, pH, P, K, Al, Ca, Mg, H+Al, CTC, C e produção.

Diante da relação dos atributos químicos e microbiológico na produção de milho, foram analisados os componentes principais (ACP) formando um diagrama bidimensional de ordenação para avaliação de vetores (Figura 5). Observa-se que o tratamento BC16 apresentou maiores índices de produção, eficiência de água, K, P, Mg e pH, sendo considerado o melhor tratamento para esta cultura.

Figura 5. Diagrama de ordenação dos componentes principais dos atributos químicos, microbiológicos, eficiência do uso de água e produção da cultura do milho em Neossolo Regolítico



As variáveis que mais contribuíram para o fator 1 à 48,87% de variação total foram, EA, K, produção, pH, P, Mg, N, RBS e Na, nos tratamentos com BC8, BC12 e BC16. E no fator 2 à 15,60% de variação total foram, H+Al, Ca, CTC, Mg, P, EA, K, pH e produção nos tratamentos CC12, CC16, EB e BC16.

Na Tabela 13, foram geradas análises de correlação simples, os resultados explicam as variáveis que apresentaram correção positiva e negativa, entre os diferentes tratamentos relacionados no cultivo do feijão após aplicação de biochars.

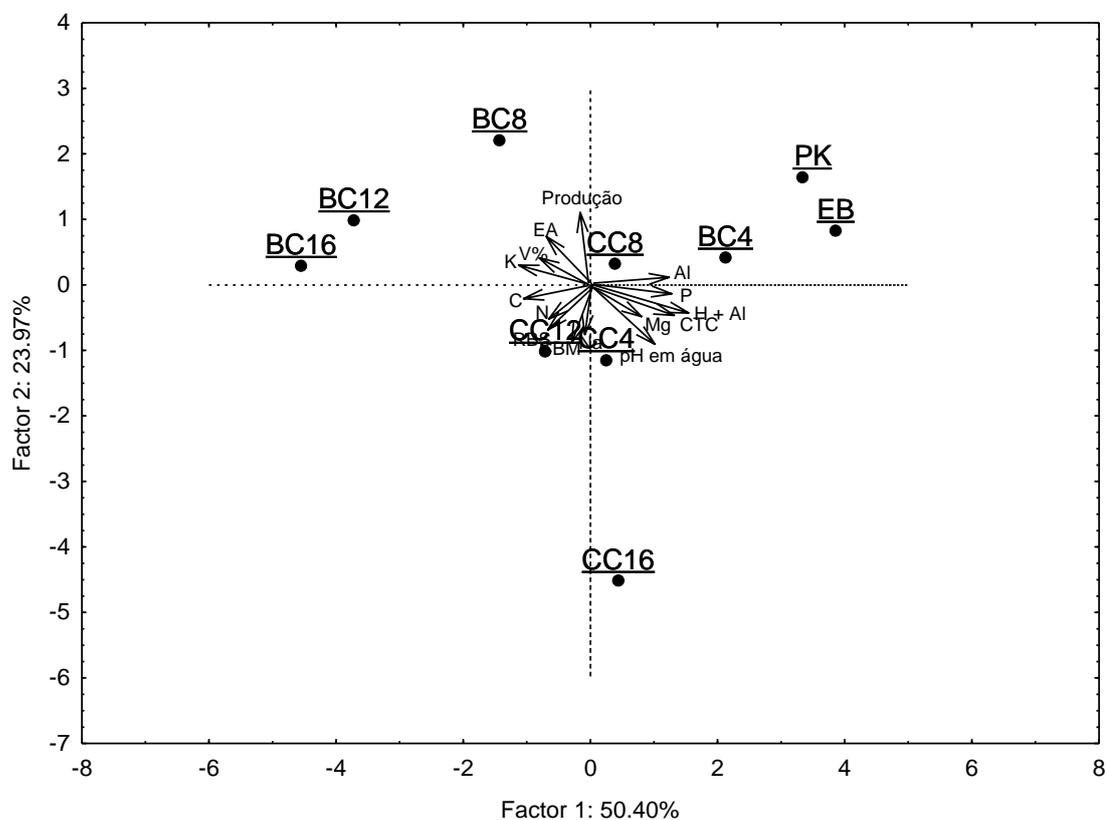
Tabela 13. Análise dos atributos químicos, microbianos, eficiência do uso de água e produção de feijão analisados para cada componente principal (CP) obtidos em Neossolo Regolítico sob adição de biochars

Variáveis	Fator 1	Fator 2
pH água	0,42	-0,89
P	0,82	-0,03
Na	-0,44	-0,67
K	-0,92	0,13
Al	0,74	0,11
Mg	0,45	-0,60
H+Al	0,93	-0,22
CTC	0,85	-0,27
V%	-0,78	0,11
C	-0,98	-0,15
N	-0,62	-0,47
CBM	-0,58	-0,74
RBS	-0,73	-0,51
Produção	-0,02	0,79
EA	-0,71	0,39
Autovalor	7,56	3,59
Variância total (%)	50,40	23,96
Variância acumulada (%)	50,40	74,36

As variáveis pH, P, Al, Mg, H+Al e CTC, apresentaram correlação positiva no fator 1 à 50,40 % da variação total. Enquanto Na, K, V%, C, N, CBM, RBS, produção e EA, apresentaram correlação negativa para o fator 1. Na tabela 14, as variáveis de K, v%, produção e EA) que apresentaram correlação positiva no fator 2 à 23,96 % da variação total, com uma percentagem acumulada de 74,36%.

Na Figura 6, são apresentados os componentes principais (CP) dos atributos químicos, microbiológicos, EA e produção da cultura do feijão após a aplicações de PK, EB e biochars BC e CC.

Figura 6. Diagrama de projeção dos vetores dos atributos químicos, microbiológicos, eficiência do uso de água e produção da cultura do feijão em Neossolo Regolítico



Os resultados dos componentes principais consideraram os dois primeiros fatores com uma porcentagem acumulativa de 74,36 % da variação dos dados analisados. A variação explicada pelo fator 1 foi de 50,40%, indicando que os tratamentos CC8, BC4, CC16, EB e PK foram os mais sensíveis para os atributos Al, H+Al, P, Mg, pH e CTC. No fator 2, à 23,97% da variação total, as variáveis que mais contribuíram foram, K, V%, EA e produção, para os tratamentos BC4, BC8, BC12, BC16, CC8, EB e PK.

4. CONCLUSÕES

1. O uso de biochar de resíduos de café (CC e BC) promoveram mudanças nas propriedades químicas do solo, aumentando o pH e os teores de P e K.
2. Independentemente do tipo de biochar (CC ou BC), as maiores doses (16 Mg ha⁻¹) promoveram alterações nas propriedades microbiológicas do solo, aumentando o CBM, o COT e o qMIC e diminuindo o qCO₂.
3. Não foram verificadas diferenças significativa quanto aos componentes de produção (altura de plantas e diâmetro do caule) do milho e do feijão.
4. Maiores produções de biomassa seca de milho foram encontradas nos tratamentos com adubação química e biochar de borra de café (nas doses de 12 e 16 Mg ha⁻¹), enquanto para o feijão não houve diferença entre os tratamentos.
5. O tratamento com biochar de borra de café (dose de 16 Mg ha⁻¹) promoveu maior eficiência no uso de água, consumindo 45,6 e 47% menos água nas culturas do milho e feijão, respectivamente.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agegehu, G., Nelson, P. N., & Bird, M. I. 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, 2016.
- Antonino, A.C.D.; Sampaio, E.V.S.B.; Dall’Olio, A.; Salcedo, I.H. Balanço hídrico em solo com cultivos de subsistência no semi-árido do nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, p. 29-34, 2000.
- Bartlett, R. J.; ROSS, D. S. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. ***Soil Science Society American Journal***, Madison v.52, p. 191-192, 1988.
- Basso, A. S., Miguez, F. E., Laird, D. A., Horton, R., and Westgate, M.: Assessing potential of biochar for increasing water-holding capacity of sandy soils, *Glob. Change Biol. Bioenerg.*, 5, 132– 143, 2013.
- Biederman, L. A.; Harpole, W. S. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *Global Change Biology. Bioenergy*, v. 5, p. 202– 214, 2013.
- Borges Júnior, J.C.F.; Anjos, R.T.; Silva, T.J.A.; Lima, J.R.S.; Andrade, C.L.T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p. 380-390, 2012.
- Cardoso, E. L.; Silva, M. L. N.; Moreira, F. M. S.; Curi, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, p.631-637, 2009
- Carvalho, M. T. de M.; Maia, A. H. N.; Madari, B. E.; Bastiaans, L.; Oort, P. A. J. V.; Heinemann, A. B.; Silva, M. A. S.; Petter, F. A.; Meinke, H. Biochar increases plant available water in a sandy soil under an aerobic Rice cropping system. *Solid Earth Discuss. Munique*, v. 6, n. 5, p. 887– 917, 2014.
- Cunha, E. D. Q.; Stone, L. F.; Ferreira, E. P. D. B.; Didonet, A. D.; Moreira, J. A. A.; Leandro, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho: II - atributos biológicos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 35, p. 603-611, 2011.

- Danish S. Ameer A, Qureshi TI, Younis U, Manzoor H, Shakeel A, Ehsanullah M. 2014. Influence of biochar on growth and photosynthetic attributes of *Triticum aestivum* L. under half and full irrigation. *International journal of Biosciences* 5(7), 101-108.
- Deenik, J. L., & Cooney, M. J. (2016). The potential benefits and limitations of corn cob and sewage sludge biochars in an infertile Oxisol. *Sustainability (Switzerland)*, 8(2).
- Doan, T. T.; Bouvier, C.; Bettarel, Y.; Bouvier, T.; Henry-des-Tureaux, T.; Janeau, J. L.; Lamballe, P.; Nguyen, B. V.; Jouquet, P. Influence of buffalo manure, compost, vermicompost and biochar amendments on bacterial and viral communities in soil and adjacent aquatic systems. *Applied Soil Ecology*, v. 73 p. 78– 86, 2014.
- Downie, A., A. Crosky, and P. Munroe. 2009. Physical properties of biochar. pp. 13-32. In J. Lehmann and S. Joseph (eds.) *Biochar for environmental management: Science and technology*. Earthscan, London.
- EMBRAPA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLO. Manual de método e análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA Solos, 2011. 230p. - (Documentos /Embrapa Solos, ISSN 1517-2627;132).
- EMBRAPA, **Manual de Métodos de Análises de Solo**. 2nd ed. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- Gai, X.; Wang, H.; Liu, J.; Zhai, L.; Liu, S.; Ren, T.; Liu, H. Effects of Feedstock and Pyrolysis Temperature on Biochar Adsorption of Ammonium and Nitrate. *PLoS ONE*, v. 9 (12), 2014.
- Glaser, B.; Lehmann, J.; Zech, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soil in the tropic with charcoal – a review. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 35, n. 4, p. 219-230. 2002.
- Herath, H.M.S.K., Camps-arbestain, M., Hedley, M., 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: an Alfisol and an Andisol. *Geoderma* 209–210, 188–197
- Hossain M. K.; Strezov V.; Chan K. Y.; Ziolkowski A.; Nelson P. F. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. *Journal of Environment Management*, v. 92, p. 223–228, 2011.

- Hossain, M. K., Strezo V, V., Chan, K. Y. And Nelson, P. F. 2010. Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Ly-copersicon esculentum*). *Chemosphere*. 78: p 1167-1171.
- Ibrahim, H. M., Al-Wabel, M. I., Usman, A. R. A. AND AL-Omran, A. Effect of *Conocarpus* biochar application on the hydraulic properties of a sandy loam soil. *Soil Sci*. v.178: p 165-173, 2013.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO - IPA. Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação. 3. ed. Recife, IPA, 212 p., 2008.
- Isermeyer, H. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. *Z. Pfl anzenernäh Bodenk*, v.56, p.26-38, 1952.
- Jindo, K.; Mizumoto, H.; Sawada, Y.; Sanchez-Monedero, M. A.; Sonoki, T. Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. *Biogeosciences*, v. 11, p. 6613–6621, 2014.
- Kookana RS, Sarmah AK, van Zwieten L, Krull E, Singh B. Biochar application to soil: agronomic and environmental benefits and unintended consequences. *Adv Agron*. 2011; 112: 103-43
- Lee, Y.; Park, J.; Ryu, C.; Gang, K. S.; Yang, W.; Park, Y-K.; Jung, J.; Hyun, S. Comparison of biochar properties from biomass residues produced by slow pyrolysis at 500 °C. *Bioresource Technology*, v. 148, p. 196–201, 2013.
- Lehmann J. 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers Ecol. Environ.*, 5:381-387.
- Lehmann, J., Czimczik, C., Laird, D., Sohi, S., 2009. Stability of biochar in soil. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London, pp. 183-205.
- Lima, J. R. S.; Antonino, A.C.D.; Lira, C.A.B.O.; Souza, E.S. Silva, I.F. Balanço de energia e evapotranspiração de feijão caupi sob condições de sequeiro. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, p.65-74, 2011.
- Lima, L. B. Desempenho agronômico da soja, fertilidade e dinâmica da matéria orgânica do solo sob aplicação de biochar no Cerrado brasileiro. 2014. 78 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

- Lima, S.L.; Tamiozzo, S.; Palomino, E.C.; Petter, F.A.; Marimon-Junior, B.H. Interactions of biochar and organic compound for seedlings production of *Magonia pubescens* A. St. Hil. *Revista Árvore*, v.39, p.655-661, 2015.
- Liu, Z., Dugan, B., Masiello, C. A., Barnes, R. T., Gallagher, M. E., & Gonnermann, H. (2016). Impacts of biochar concentration and particle size on hydraulic conductivity and DOC leaching of biochar-sand mixtures. *Journal of Hydrology*, 533, 461–472.
- Lu, H.; Lashari, M. S.; Liu, X.; Ji, H.; Li, L.; Zheng, J.; Kibue, G. W.; Joseph, S.; Pan, G. Changes in soil microbial community structure and enzyme activity with amendment of biochar-manure compost and pyroligneous solution in a saline soil from Central China. *European Journal of Soil Biology*, v. 70, p. 67-76, 2015.
- Masto, R. E.; Ansari, M. A.; George, J.; Selvi, V.; Ram, L. (2013) Co-application of biochar and lignite fly ash on soil nutrients and biological parameters at different crop growth stages of *Zea mays*. *Ecological Engineering*, v. 58, p. 314–322, 2013.
- Mendonça, E. S.; Matos, E. S. **Matéria orgânica do solo: Métodos de análises**. Viçosa: UFV, 2005. p.86-92.
- Menezes, R. S. C.; Silva, T. O. Mudanças na fertilidade de um Neossolo Regolítico após seis anos de adubação orgânica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, p. 251-257, 2008.
- Oguntunde, P. G.; Fosu, M.; Ajayi, A. E.; Giesen, N. V. Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v. 39, n. 4, p. 296-299. 2004.
- Ojeda, G.; Mattana, S.; Àvila, A.; Alcañiz, J. M.; Volkman, M.; Bachmann, J. Are soil-water functions affected by biochar application? *Geoderma*, v. 249-250, p. 1-11, 2015.
- Padilha, K. M.; Freire, M. B. G. S.; Duda, G. P.; Santos, U. J.; Silva, A. O.; Souza, E. R. Indicadores biológicos de dois solos com a incorporação de subproduto da agroindústria de café. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p.1377-1386, 2014.
- Pan, F.; Li, Y.; Chapman, S. J.; Khan, S.; Yao, H. Microbial utilization of rice straw and its derived biochar in a paddy soil. *Science of the Total Environment*, v. 559, p. 15–23, 2016.

- Perez, K. S. S.; Ramos, M. L. G.; McManus, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.567-573, 2004
- Petter, F. A. Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agronômicos e ambientais do seu uso em solos de cerrado. 2010, 130 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010
- Prakongkep, N., Gilkes, R. J., & Wiriyaakitnateekul, W. (2015). Forms and solubility of plant nutrient elements in tropical plant waste biochars. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, (178), 732–740.
- Purakayastha, T. J., Das, K. C., Gaskin, J., Harris, K., Smith, J. L., & 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*, 155, 107–115.
- Purakayastha, T. J.; Kumari, S.; Pathak, H. Characterization, stability, and microbial effects of four biochars produced from crop residues. *Geoderma* 239–240 (2015) 293–303.
- Ruiz, H. Incremento da exatidão da análise granulométrica por meio da coleta da suspensão (SILTE + ARGILA). *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, Viçosa, v. 29, p. 207-300. 2005.
- Sampaio, E. V. S. B.; Salcedo, I. H.; Silva, V. M.; Alves, G. D. Capacidade de suprimento de N e resposta à fertilização de 20 solos de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.20, p. 269-279. 1995.
- Santos, J. C. B.; SOUZA JÚNIOR V. S.; CORRÊA M. M.; RIBEIRO M. R.; ALMEIDA M. C.; BORGES L. E. P. Caracterização de Neossolos Regolíticos da Região Semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.683-695, 2012.
- Silva, F. A. S. e Azevedo, C. A. V. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.
- Sohi, S., Krull, E., Lopez-Capel, E., Bol, R., 2010. A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy* 105, 47e82.

- Sparling, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Australian Journal Soil Research*, v. 30, p. 195-207, 1992.
- Tate, K. R.; Ross, D. J.; Feltham, C. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. ***Soil Biology Biochemistry***, Oxford, v.20, p.329-335, 1988.
- Tito, G. A.; Chaves, L. E. G.; Carvalho, H. O.; Azevedo, N. C. Aplicação de bentonita em um regossolo eutrófico. II. Efeitos sobre as propriedades químicas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.1, n.1, p.25-27, 1997.
- Upadhyay, K.P. George D. Swift, R.S. Galea V. The Influence of Biochar on Growth of Lettuce and Potato. *Journal of Integrative Agriculture*, 13 (3): 541-546 March, 2014.
- Van Zwieten, L.; Kimber, S.; Morris, S.; Chan, K.; Downie, A.; Rust, J.; Joseph, S.; Cowie, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and soil*, v. 327, n. 1-2, p. 235-246, 2010.
- Vance, E. D.; Brooks, P. C.; Jenkinson, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. ***Soil Biology and Biochemistry***, v.19, p.703-707, 1987.
- Wang, X.; Song, D.; Liang, G.; Zhang, Q.; Ai, C.; Zhou, W. Maize biochar addition rate influences soil enzyme activity and microbial community composition in a fluvo-aquic soil. *Applied Soil Ecology* 96 (2015) 265–272.
- Yeomans, J. C. e Bremner, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.19, p.1467-1476, 1988.