



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO



UNIDADE ACADÊMICA ESPECIALIZADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - UECIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**APLICAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL E NITROGÊNIO INFLUENCIANDO
PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO E MASSA SECA DE
ARROZ**

MARY ANNE BARBOSA DE CARVALHO

GUALTER GUENTHER COSTA DA SILVA

Macaíba, 2014

MARY ANNE BARBOSA DE CARVALHO

**APLICAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL E NITROGÊNIO INFLUENCIANDO
PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO E MASSA SECA DE
ARROZ**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como pré-requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Gualter Guenther Costa da Silva

Macaíba, 2014

Divisão de Serviços Técnicos
Catalogação da Publicação na Fonte.
Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias Campus Macaíba
Biblioteca Setorial Professor Rodolfo Helinski

Carvalho, Mary Anne Barbosa de.

Aplicação de carvão vegetal e nitrogênio influenciando propriedades físicas e químicas do solo e massa seca de arroz / Mary Anne Barbosa de Carvalho. – Macaíba, RN, 2014.

31 f.

Orientador (a): Prof. Dr. Gualter Guenther Costa da Silva.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias Campus Macaíba. Programa de Pós- Graduação em Ciências Florestais.

1. Manejo do Solo - Dissertação. 2. Biomassa Vegetal - Dissertação. 3. Biochar - Dissertação. I. Silva, Gualter Guenther Costa da. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias Campus Macaíba. IV. Título.

RN/UFRN/BSPRH

CDU: 631.8

**APLICAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL E NITROGÊNIO INFLUENCIANDO
PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO E MASSA SECA DE
ARROZ**

Dissertação avaliada e aprovada pela banca examinadora:

Orientador:

Prof. Dr. Gualter Guenther Costa da Silva- UFRN

Examinadores:

Prof. Dr. Neyton de Oliveira Miranda - UFERSA

Prof.Dr. Alexandre Santos Pimenta - UFRN

Prof. Dr^a. Ermelinda Maria Mota Oliveira - UFRN

Data de aprovação: / /

Macaíba, 2014

DEDICO

Ao meu Deus todo poderoso, ao meu pai José Hélio de Carvalho e minha mãe Miray Barbosa de Lima.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Jesus, por ter me concedido o dom da vida, me amparado em todos os momentos que precisei e por ter colocado em minha vida dois anjos aos quais chamo de pai e mãe.

Aos meus pais José Hélio de Carvalho e Miray Barbosa de Lima, por tudo que eles fizeram e fazem por mim, pelo amor e carinho que me foi dado em todos os anos da minha vida e por me apoiarem em todos os momentos de dificuldade. Amo muito vocês!

Ao meu orientador Dr. Gualter Guenther Costa da Silva e co-orientador Dr. Neyton de Oliveira Miranda, pela paciência e pelos ensinamentos transmitidos ao longo desses dois anos.

A professora Dr^a. Ermelinda Maria Mota Oliveira e ao professor Dr. Alexandre Santos Pimenta os quais contribuíram de forma intelectual com sugestões de melhoria para o trabalho.

A todos que fazem parte do Grupo GESOLO - UAECIA - UFRN, pela amizade, companheirismo e apoio a mim dedicado, só assim foi possível à realização desse trabalho, a todos vocês meu muito OBRIGADO!

Aos meus irmãos, em especial Helianthus Lima de Carvalho que com seu jeitinho especial sempre me transmitiu força de vontade para continuar e nunca pensar em desistir.

A todos os meus amigos e amigas que me deram forças e incentivos para que eu continuasse seguindo os meus objetivos.

Aos funcionários da EAJ, pela atenção e amizade que foi construída durante esses anos.

A todos os professores e professoras que de forma direta ou indireta, contribuíram para o meu crescimento profissional.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuiu para que eu pudesse realizar mais uma importante etapa da minha vida.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| RESUMO | 7 |
| ABSTRACT | 8 |
| INTRODUÇÃO | 9 |
| Capítulo I..... | 12 |
| APLICAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL E NITROGÊNIO INFLUENCIANDO PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E MASSA SECA DE ARROZ..... | 12 |
| RESUMO..... | 12 |
| ABSTRACT | 12 |
| INTRODUÇÃO..... | 13 |
| MATERIAIS E MÉTODOS..... | 13 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 15 |
| CONCLUSÕES | 17 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 17 |
| Capítulo II | 20 |
| PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO APÓS APLICAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL E NITROGÊNIO | 20 |
| RESUMO..... | 20 |
| ABSTRACT | 20 |
| INTRODUÇÃO..... | 21 |
| MATERIAIS E MÉTODOS..... | 22 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 23 |
| CONCLUSÕES | 26 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 27 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 29 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 30 |

RESUMO

A degradação dos solos agrícolas causa problemas produtivos e ambientais, com consequências econômicas e sociais para as populações. Além das perdas de solo e de sua fertilidade inviabilizarem a produção agrícola, existe grande preocupação com a emissão para a atmosfera de gases que contribuem para o aquecimento do planeta. Assim sendo, o objetivo do trabalho é avaliar a aplicação de carvão vegetal nas propriedades físicas e químicas do solo e na massa seca do arroz. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação na Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, em Macaíba - RN. O delineamento estatístico foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x4, constando de doses de carvão vegetal (0, 3500, 7000 e 10500 kg ha⁻¹) e doses de nitrogênio (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹), correspondendo a 16 tratamentos. O solo foi misturado com as respectivas doses, em seguida colocado em vasos de 10 L. A planta indicadora utilizada foi o arroz de terras altas. As variáveis analisadas foram a retenção de água, a densidade do solo, a massa seca da parte aérea do arroz e propriedades químicas do solo. A retenção de água no solo apresentou efeito linear positivo das doses de biocarvão; a densidade do solo foi influenciada pela interação entre doses de carvão vegetal e de nitrogênio, cujo desdobramento revelou efeito quadrático da dose de carvão sobre a densidade do solo apenas na dose zero de nitrogênio; para massa seca do arroz houve interação de doses de nitrogênio dentro de doses de carvão, observando-se na dose zero de carvão o efeito quadrático apenas do nitrogênio; as propriedades químicas apresentaram efeitos significativos da dose de carvão para pH e Ca e Mg e para K. Não houve efeito significativo das doses de nitrogênio nem da interação entre doses de carvão e de nitrogênio. Conclui-se ser necessária a condução do experimento e o acompanhamento de resultados na mesma área em longo prazo. Assim, a evolução nas características químicas e físicas do solo pode ser avaliada, gerando informações consistentes sobre o potencial do carvão vegetal como condicionador de solo e fertilizante.

PALAVRAS-CHAVE: manejo do solo; biomassa vegetal; biochar

ABSTRACT

The degradation of agricultural land may cause productive and environmental problems, with economic and social consequences for the population. Important issues are the possibility of loss of soil and its fertility ravaging agricultural production, besides the great concern about the emission to the atmosphere of gases that contribute to global warming. Therefore, the objective of this work was to evaluate the application of biochar on soil physical and chemical properties and dry mass of rice. The experiment was conducted in a greenhouse at the Academic Unit Specialized in Agricultural Sciences, Federal University of Rio Grande do Norte-UFRN, in Macaíba-RN, Brazil. The statistical design was completely randomized in a 4x4 factorial design, consisting of biochar doses (0, 3500, 7000 and 10500 kg ha⁻¹) and nitrogen (0, 30, 60 and 90 kg ha⁻¹), corresponding 16 treatments. The soil was mixed with the respective doses, then placed in 10 L pots. Upland rice was used as the test plant. The variables analyzed were water retention, soil bulk density, dry mass of rice shoots of and soil properties. Water retention in the soil presented a positive linear effect of biochar doses; bulk density was influenced by the interaction between doses of biochar and nitrogen, whose unfolding revealed quadratic effect of biochar dose on soil density only for zero nitrogen dose; for rice dry mass was interaction of nitrogen within biochar doses, in that the zero dose of biochar showed quadratic effect only for nitrogen; soil chemical properties presented significant effects of biochar dose for pH, Ca e Mg and K. There was no significant effect of nitrogen doses or interaction between doses of biochar and nitrogen. As conclusion, is appointed the necessity of repeating the trial and long term monitoring of results in the same area. Thus, developments in the chemical and physical characteristics of the soil can be evaluated, generating consistent information about the potential of biochar as a soil conditioner and fertilizer.

KEYWORDS: soil management; plant biomass; biochar.

INTRODUÇÃO

A aplicação de carvão ao solo foi proposta recentemente em função de questões de manejo do solo e sequestro de carbono (LEHMANN et al., 2006), a partir do estudo da matéria orgânica das Terras Pretas de Índios (TPI).

O carvão vegetal se apresenta como um bom material para obter-se um solo semelhante ao do modelo TPI, por apresentar grupos aromáticos condensados, que garantem a sua resistência à degradação química, ou recalcitrância, podendo constituir-se em material eficiente para sequestro de carbono e como condicionador na melhoria das características do solo. Altas concentrações de carbono no solo melhoram a absorção de água, facilitam a penetração de raízes e tornam as plantas mais resistentes.

As Terras Pretas de Índios são solos de origem Pré-colombiana, resultado da atividade dos povos indígenas. Entretanto, não é claro se é resultado de um processo intencional de melhoria do solo, ou subproduto das atividades agrícolas e de habitação desses povos (LEHMANN et al., 2003).

O carvão vegetal derivado da carbonização sob ausência total ou parcial de oxigênio (pirólise), principalmente de materiais lignocelulósicos, é composto de unidades poliaromáticas condensadas, deficientes em hidrogênio e com diferentes tamanhos e nível organizacional (KRAMER et al., 2004). Esse material é altamente resistente à oxidação térmica, química e à foto-oxidação (SKJEMSTAD et al., 1996), e devido a essa recalcitrância, sua incorporação ao solo é um importante mecanismo de sequestro de carbono (GLASER et al., 2001; MASIELLO, 2004), principalmente em solos tropicais sujeitos às condições climáticas que favorecem a mineralização da matéria orgânica e onde a fração argila dos solos apresenta baixos valores de capacidade de troca catiônica(CTC) (NOVOTNY, 2007).O carvão vegetal adequado tem estrutura interna inerte, semelhante a grafite, que preserva o carbono no solo por centenas e até milhares de anos, e estrutura periférica externa reativa para atuar como a matéria orgânica natural do ambiente.

A pirólise, quando realizada nas temperaturas mais baixas (300 e 500°C), altera as propriedades químicas do carbono da biomassa, formando estruturas mais resistentes à degradação pelos micro-organismos do solo, em comparação com o material original. Desta maneira, materiais orgânicos que seriam rapidamente decompostos, permitindo a liberação de CO₂ e outros gases responsáveis pelo aumento do efeito estufa, são transformados em carvão, de lenta degradação, formando estoque de carbono de longo prazo no solo (MANGRICH et al., 2011).

As propriedades do carvão são significativamente influenciadas pelas características

da biomassa utilizada e pelas condições de pirólise. A biomassa é a massa total de organismos vivos numa dada área, cujos constituintes são a celulose, hemiceluloses e lenhina, com pequenas quantidades de minerais. Tais constituintes variam conforme o tipo de biomassa ou, sendo do mesmo tipo, dependendo do solo, das condições climáticas e do tempo de colheita (BERNARDINO e TAVARES, 2010; NOBREGA, 2011).

O carvão é produzido pela utilização de resíduos orgânicos urbanos sólidos (restos de podas de árvores, lodo de esgoto), resíduos agrícolas (restos de culturas, bagaço e palha de cana-de-açúcar), resíduos industriais (indústria de papel e celulose), ou materiais de origem animal (ossos, esterco) (MANGRICH et al., 2011). O carvão produzido de plantas lenhosas é mais rico em carbono, tem baixo teor de nitrogênio e capacidade de troca catiônica (CTC) baixa. O carvão produzido de estrumes tem baixo teor de C, alto teor de N e alta CTC. O pH varia entre o neutro e o alcalino (NOBREGA, 2011). A industrialização de produtos de origem vegetal gera resíduos que, se não forem aproveitados como insumos para a agricultura, podem gerar problemas ambientais. Se forem utilizados para a produção de carvão, podem contribuir para o sequestro de carbono e como condicionador orgânico de solo.

Os processos de oxidação do carbono aromático presente em grande quantidade na superfície do carvão, podem ser a principal razão para a elevada CTC observada em solos TPI, levando à formação de grupos carboxil entre outros grupos funcionais, com carga líquida negativa na escala de pH dos solos (GLASER et al., 2003).

O efeito positivo do carvão vegetal sobre propriedades físico-hídricas de solos (PICCOLO et al., 1996) pode ser devido à presença de fragmentos de carvão pirogênico, podendo aumentar significativamente a capacidade de retenção de água, especialmente em solos de textura arenosa, em função da sua estrutura altamente porosa, a qual os fragmentos de carvão também permite que seja, utilizados como micro-habitat pelos organismos do solo e, assim, favorecer a atividade microbiana, reduzir a lixiviação de nutrientes, mantendo estável a fertilidade do solo, a produtividade agrícola e a sustentabilidade (PIETIKAINEM et al., 2000; GLASER et al., 2003; STEINER et al., 2004).

Os finos de carvão são muito porosos e contribuem para a retenção de água e para a multiplicação de organismos presentes no solo e substratos, e possuem elementos minerais, tais como: magnésio, boro, silício, cloro, cobre, manganês, molibdênio e potássio (MAEKAWA, 2002). Segundo Madari et al. (2009) quando o carvão está em fragmentos muito pequenos, pode absorver compostos orgânicos solúveis, reter água e servir como abrigo para micro-organismos do solo. As cinzas são um componente muito importante, que são formadas por minerais, entre os quais os mais presentes são o potássio, cálcio, fósforo e sódio.

O carvão vegetal proporciona retenção de nutrientes por aumentar a capacidade de troca catiônica e possui grande influência sobre os processos biogeoquímicos do solo, como as reações de adsorção de nutrientes (MORALES, 2010). O carvão presente no solo abriga vários micro-organismos, sendo que pela ação de enzimas e, ou oxidação química podem formar compostos que retém água e nutrientes no meio, tornando a adubação mais eficiente e diminuindo os custos com irrigação (BENITES et al., 2010).

Este trabalho tem como objetivo avaliar a aplicação ao solo de carvão vegetal como condicionador e, ou fertilizante em conjunto com nitrogênio, visando a melhoria das condições físicas e químicas e massa seca de plantas de arroz e assim, garantir a sua conservação e a produtividade das culturas.

Capítulo I

APLICAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL E NITROGÊNIO INFLUENCIANDO PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E MASSA SECA DE ARROZ APPLICATION OF CHARCOAL AND NITROGEN INFLUENCING SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND RICE DRY MASS

RESUMO

A degradação dos solos agrícolas causa problemas produtivos e ambientais, com consequências econômicas e sociais para as populações. Além das perdas de solo e de sua fertilidade poderem inviabilizar a atividade produtiva, existe grande preocupação com a emissão para a atmosfera de gases que contribuem para o aquecimento do planeta. Assim sendo, o trabalho tem o objetivo de avaliar a aplicação de carvão vegetal visando melhorar as condições físicas do solo e, assim, garantir sua conservação. O projeto foi desenvolvido em casa de vegetação na Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, em Macaíba - RN. O solo foi misturado com diferentes doses de carvão produzido com lenha de poda de cajueiro (0, 3500, 7000 e 10500 kg ha⁻¹) e em seguida colocado em vasos. Cada dose de carvão foi combinada com quatro doses de nitrogênio (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹) para o plantio de arroz de terras altas como planta indicadora. O delineamento estatístico foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x4, com quatro repetições. As variáveis analisadas foram a retenção de água, a densidade do solo e a massa seca da parte aérea do arroz. A retenção de água no solo apresentou efeito linear positivo das doses de carvão; enquanto que a densidade do solo foi influenciada pela interação entre doses de carvão e de nitrogênio, cujo desdobramento revelou efeito quadrático da dose de carvão sobre a densidade do solo apenas na dose zero de nitrogênio. Conclui-se ser necessária a condução do experimento e o acompanhamento de resultados na mesma área em longo prazo. Assim, a evolução nas características químicas e físicas do solo pode ser avaliada, gerando informações consistentes sobre o potencial do carvão vegetal como condicionador de solo.

Palavras-chave: manejo do solo; biomassa vegetal; características físicas do solo.

ABSTRACT

The degradation of agricultural land cause productive and environmental problems, with economic and social consequences for the population. Important issues are the possibility of loss of soil and its fertility ravaging agricultural production, besides the great concern about the emission to the atmosphere of gases that contribute to global warming. Therefore, the project aims to evaluate the application of charcoal to improve soil physical conditions and, thus, ensure its conservation. The trial was developed in a greenhouse at the Academic Unit Specialized in Agricultural Sciences, Federal University of Rio Grande do Norte - UFRN, in Macaíba - RN, Brazil. The soil was mixed with different doses of charcoal produced with cashew pruning wood (0, 3500, 7000 and 10500 kg ha⁻¹) then placed in pots. Each charcoal dose was combined with four levels of nitrogen (0, 30, 60 and 90 kg ha⁻¹) for planting upland rice as indicator plant. The statistical design was completely randomized in a 4x4 factorial design with four replications. The variables analyzed were water retention, soil density and dry mass of riceshoots. Water retention in the soil showed a linear positive effect of charcoal doses; while the bulk density was influenced by the interaction between carbon and nitrogen, which unfolding showed quadratic effect of charcoal dose on soil density only for zero nitrogen dose. It was concluded for the necessity of repeating the experiment in the same area and monitoring results in the long term. Thus, changes in soil physical and chemical characteristics can be assessed and reliable information generated about the potential of charcoal as a soil conditioner.

Keywords: soil management, plant biomass, soil physical attributes.

INTRODUÇÃO

Problemas produtivos e ambientais decorrentes da degradação dos solos agrícolas vêm ocorrendo em ritmo crescente em todo o mundo e têm consequências econômicas e sociais diretas para as populações. Entre os problemas, a baixa produtividade de solos agrícolas é atribuída à baixa fertilidade do solo, intensa extração de nutrientes e práticas inadequadas de manejo. Práticas de manejo e conservação do solo, relacionadas aos ciclos de carbono (C) e nitrogênio (N), podem beneficiar o sequestro de carbono e mitigar emissões de gases. Dentre estas práticas, a adição de matéria orgânica ao solo tem se destacado por acumular carbono e promover maior retenção de nutrientes, armazenamento e retenção de água no solo e reduzir a aplicação de fertilizantes (FAO, 2011).

Segundo Janzen (2006), a matéria orgânica do solo é o maior reservatório terrestre ativo de carbono, fruto da acumulação de restos em decomposição da biota do solo, incluindo desde exsudatos radiculares, até material humificado persistente, com milhares de anos. A matéria orgânica alimenta os organismos do solo, os quais reciclam os nutrientes para as plantas. Ela tem benefícios persistentes, sejam físicos (estrutura do solo e retenção de umidade), ou químicos (troca de íons e efeito tampão). Entretanto, os benefícios da matéria orgânica só se manifestam após sua decomposição.

Estudos sobre a matéria orgânica das Terras Pretas de Índios (TPI), solos amazônicos antropogênicos com excelentes características agrônomicas e ambientais, alta fertilidade e alto conteúdo de carbono estável em sua fração orgânica, forneceram um modelo de solo adequado ao sequestro de carbono e a idéia da utilização do carvão proveniente de biomassa como condicionador (BENITES et al., 2012).

O carvão vegetal se apresenta como um bom material para obter-se um solo semelhante ao do modelo TPI, por apresentar grupos aromáticos condensados, que garantem a sua resistência à degradação química, ou recalcitrância, podendo constituir-se em material eficiente para sequestro de carbono e como condicionador na melhoria das características do solo. Altas concentrações de carbono no solo melhoram a retenção de água, facilitam a penetração de raízes e tornam as plantas mais resistentes (MADARI et al., 2009).

O carvão constituído por materiais lignocelulósicos carbonizados por meio da pirólise, pode ser aplicado ao solo com o objetivo de melhorar suas propriedades químicas, físicas e biológicas (LEHMANN e JOSEPH, 2009). Suas propriedades físicas e químicas específicas, como alta porosidade (LIANG et al., 2006), que auxilia na retenção de água (LEHMANN et al., 2003), a natureza particulada (SKJEMSTAD et al., 1996; LEHMANN et al., 2005), em combinação com sua estrutura química específica (BALDOCK e SMERNIK, 2002) proporcionam maior resistência à degradação microbiana no solo do que outros compostos orgânicos (SHINDO, 1991; CHENG et al., 2008).

As propriedades do carvão vegetal são influenciadas pelas características da biomassa utilizada e pelas condições de pirólise. A biomassa é a massa total de organismos vivos numa dada área, cujos constituintes são a celulose, hemiceluloses e lenhina, com pequenas quantidades de minerais. Tais constituintes variam conforme o tipo de biomassa ou, sendo do mesmo tipo, dependendo do solo, das condições climáticas e do tempo de colheita (BERNARDINO e TAVARES, 2010; NOBREGA, 2011).

A pirólise é um processo de decomposição térmica, realizado entre os 400 e 800 °C, na ausência total ou parcial de oxigênio, de maneira a converter a matéria-prima da biomassa e obter carvão, bio-óleo e gás combustível contendo CO, CO₂, H₂, CH₄ e outros hidrocarbonetos. O carbono pirogênico é derivado da carbonização parcial ou total, principalmente de materiais lignocelulósicos, sendo composto de unidades poliaromáticas condensadas, deficientes em hidrogênio e com diferentes tamanhos e nível organizacional (KRAMER et al., 2004). O material obtido é altamente resistente à oxidação térmica, química e à foto-oxidação (SKJEMSTAD et al., 1996), sendo importante para o sequestro de carbono, após incorporado ao solo, devido a sua recalcitrância (GLASER et al., 2001; MASIELLO, 2004). Isto é mais evidente em solos tropicais sujeitos às condições climáticas que favorecem a mineralização da matéria orgânica e onde a fração argila dos solos apresenta baixos valores de CTC (NOVOTNY et al., 2007).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação ao solo de carvão vegetal e de nitrogênio sobre retenção de água no solo, densidade do solo e massa seca da parte aérea do arroz.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi instalado na casa de vegetação da Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN, localizada na Escola Agrícola de Jundiá-(EAJ), em Macaíba-RN. As coordenadas geográficas do local são 5°53'S e 35°23'W. O clima local é uma transição entre os tipos As' e BSh' da classificação de Köppen, com temperaturas elevadas ao longo do ano e chuvas no outono e no inverno. A temperatura média anual do ar está em torno de 26°C, com temperatura média mensal relativamente uniforme ao longo do ano. O posto pluviométrico mais próximo, da Empresa de Pesquisa

Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), registra precipitação média anual para o período 1984-2000 de 1.227mm, com coeficiente de variação de 30 % (CESTARO e SOARES, 2004).

O solo foi coletado do horizonte superficial, na profundidade de 0-20 cm, no pomar da EAJ. Após a coleta, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha de 2 mm de abertura para a caracterização física e química (Tabela 1) e de 4 mm para a montagem do experimento. Caracterização química e física foi realizada no Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) segundo metodologia proposta por EMBRAPA (1999) e TEDESCO et al. (1995).

Tabela 1 – Caracterização química e física das amostras de solo utilizadas no experimento. Mossoró, 2013.

Table 1 – Chemical and physical characterization of soil samples used in the experiment. Mossoró, 2013.

| Dp | Argila | | | Areia Grossa | | Areia fina | | Silte | pH | CE | MO | N |
|------------------------------|--|-----|-----|-------------------------------|-----|-------------------|------|-------------------|-------------------|-------|-------|------|
| gcm ⁻³ | gkg ⁻¹ | | | gkg ⁻¹ | | gkg ⁻¹ | | gkg ⁻¹ | dSm ⁻¹ | % | | |
| 2,43 | 25 | | | 540 | | 364 | | 71 | 5,8 | 0,23 | 1,0 | 0,18 |
| P | K | Na | Ca | Mg | SB | (H+Al) | CTC | Fe | Cu | Mn | Zn | |
| -----mgdm ⁻³ ---- | -----cmol _c .dm ⁻³ ----- | | | -----mgkg ⁻¹ ----- | | | | | | | | |
| 19,4 | 89,7 | 7,8 | 1,5 | 0,8 | 2,5 | 1,86 | 4,37 | 125,33 | 0,03 | 89,55 | 31,93 | |

Dp: densidade de partícula; P, K e Na: extraídos com solução de Mehlich⁻¹; Ca e Mg: extraídos com KCl 1 mol L⁻¹; pH em água; CTC a pH 7,0; Cu, Mn, Fe, Zn: digestão com ácido nítrico perclórico.

Foram utilizados vasos, nos quais foram colocados 10 L de solo a 0,20 m de profundidade, misturado com diferentes doses de carvão vegetal. As doses foram calculadas para um hectare e profundidade de 0,20 m (2000 m³ ou 2000000 L) e, a partir delas, determinadas as quantidades por vaso. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (4x4), constando de doses de carvão: 0 (testemunha), 3500 kg ha⁻¹ (17,5 g por vaso), 7000 kg ha⁻¹ (35 g por vaso) e 10500 kg ha⁻¹ (52,5 g por vaso) e doses de nitrogênio: 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹, na forma de nitrato de cálcio superficialmente ao solo, correspondendo a 16 tratamentos e 4 repetições.

O carvão vegetal foi produzido com lenha de poda de cajueiro, segundo o método tradicional das carvoarias artesanais “rabo quente”. Realizou-se a caracterização química do carvão vegetal a partir da determinação das diferentes formas de carbono (Laboratório de Tecnologia da Madeira da EAJ-UFRN) e das análises de macro (N, P e K) e micronutrientes (Cu, Mn, Fe e Zn) foi realizado no Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta da UFERSA (Tabela 2).

Tabela 2 – Caracterização química do carvão vegetal utilizado no experimento. Mossoró-RN, 2013.

Table 2 – Chemical characterization of charcoal used in the experiment. Mossoró-RN, 2013.

| CF | C | MVI | Ud | N | K | P | Cu | Mn | Fe | Zn |
|-------------|-------------------------------|-----|------|--------------------------------|------|-------|-------|-------|--------|-------|
| -----%----- | -----g.kg ⁻¹ ----- | | | -----mg.kg ⁻¹ ----- | | | | | | |
| 63 | 16 | 21 | 5,43 | 9,35 | 1,34 | 89,16 | 10,21 | 32,27 | 185,04 | 18,45 |

P, K, Cu, Mn, Fe, Zn: digestão com ácido nítrico perclórico; N: digestão com ácido sulfúrico; CF: Carbono Fixo, C: Cinzas, MVI: Matérias Voláteis, Ud: Umidade.

A cultura indicadora foi o arroz de terras altas (*Oryza sativa* L.), utilizando-se cultivar BRS Sertaneja, do qual foram semeadas 30 sementes por vaso no dia 15/06/2013, ao mesmo tempo em que se aplicava ao solo e incorporava em dose única o nitrogênio correspondente a cada tratamento, sem outro tipo de adubação. A irrigação foi realizada manualmente, sendo que por ocasião do plantio os vasos possuíam umidade próxima à capacidade de vaso, determinada previamente conforme Casaroli e Van Lier (2008). A cada três dias eram pesados quatro vasos controle e aplicada à quantidade de água evaporada, que correspondem a 324 mm de água até 120 DAS. Aos 14 dias após semeadura (DAS) foi realizado o desbaste, deixando-se três plantas por vaso. As plantas invasoras foram eliminadas manualmente.

As determinações realizadas foram retenção de água, logo após a aplicação dos tratamentos, na qual o solo contido nos vasos foi colocado para saturar em caixa-d'água com capacidade para 500 litros, na qual foi adicionado volume de água equivalente a 2/3 da altura dos vasos. Os vasos foram mantidos dessa forma por um período de 24 h, até ocorrer a saturação completa. Logo após, eles foram cobertos com lona plástica, para evitar a evaporação, e colocados para drenar livremente, sendo medidas suas massas após 24 horas. A Capacidade de vaso (CDV) foi considerada como sendo o conteúdo volumétrico de água retida em 10L de solo ao cessar a

drenagem ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$).

A determinação da densidade do solo foi realizada após as colheitas. Os tratamentos avaliados foram as quatro doses de carvão vegetal, combinadas apenas com as doses de 0 e 90 kg ha^{-1} de nitrogênio. O método utilizado foi o do anel volumétrico, no qual amostras indeformadas de solo foram coletadas em anéis com volume de 100 cm^3 por meio de amostrador de Uhlund, sendo que o solo contido nos anéis foi seco em estufa de circulação forçada a 105°C por 24 horas para determinar-se a densidade em g cm^{-3} .

Após a colheita das panículas do arroz de terras altas, as plantas de cada vaso foram cortadas rente ao solo e colocadas em estufa de circulação forçada na temperatura de 70°C por 24 horas, para a determinação da massa seca da parte aérea em gramas por vaso.

A análise estatística constou da análise da variância empregada para verificar o efeito significativo, ou não, de cada fator e da interação entre eles sobre as variáveis avaliadas. Para Retenção de água constou da análise de variância apenas do efeito das doses de carvão vegetal, seguida de análise de regressão. Para Densidade constou da análise de variância para os efeitos das doses de carvão vegetal e apenas das doses de 0 e 90 kg de N . Havendo efeito significativo da interação entre os fatores sobre as variáveis estudadas, realizou-se a análise de regressão. Para Massa seca do arroz constou da análise de variância para os efeitos de todas as doses de carvão vegetal e N, e da interação entre elas, seguida de análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da variância indicou efeito significativo apenas da dose de carvão vegetal sobre a retenção de água no solo; enquanto, para densidade do solo, constatou-se efeito da interação, doses de carvão vegetal e de nitrogênio à 1 % de probabilidade.

Constatou-se efeito linear crescente das doses de carvão vegetal na capacidade de vaso (CDV) (Figura 1). Isso indica que, quanto maior a dose de carvão maior a retenção de água no solo. O aumento na CDV, em média, 39% entre a testemunha e a maior dose (10500 kg ha^{-1}), além de incrementos médios de 5% de zero para 3500 kg ha^{-1} , 13%, de 3500 para 7000 kg ha^{-1} e 17 %, de 7000 para 10500 kg ha^{-1} .

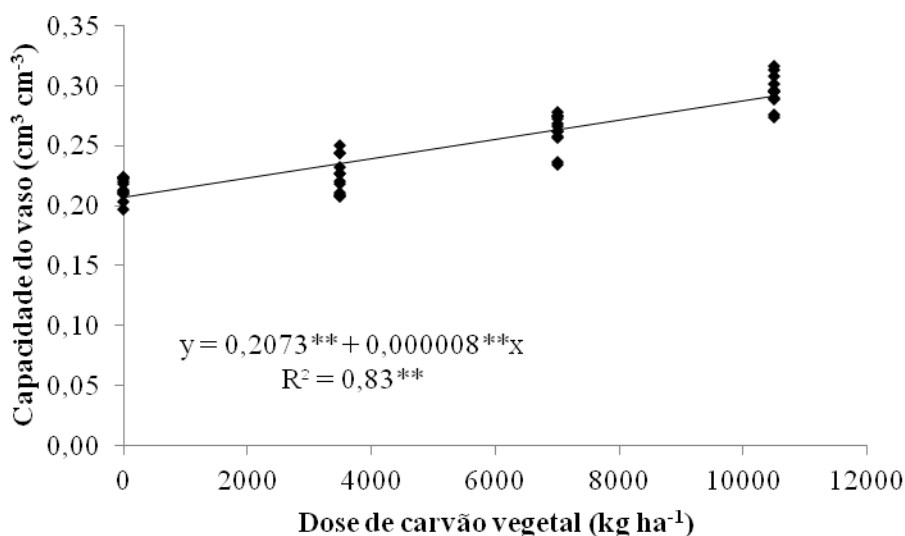


Figura 1 – Regressão de capacidade do vaso em função de dose de carvão vegetal (** = $P < 0,01$)

Figure 1 – Regression of pot capacity as a function of dose charcoal (** = $P < 0,01$)

A presença de carvão vegetal pode contribuir para mudanças significativas nas propriedades físicas do solo, alterando características tais como: porosidade, diâmetro dos poros e densidade (DOWNIE et al., 2009, citado por Petter, 2010). O carvão, devido à sua porosidade e à sua grande superfície específica, pode aumentar significativamente a capacidade de retenção de água, especialmente em solos de textura arenosa.

Contudo, a estrutura aromática, que tem características hidrofóbicas, pode reduzir a penetração de água nos espaços porosos dos agregados do solo, aumentando assim a estabilidade dos agregados (GLASER et al., 2003). Todas essas alterações nas propriedades físicas podem levar a mudanças em outras propriedades do solo, principalmente químicas e biológicas, em função do surgimento de sítios quimicamente reativos e habitats de proteção para micro-organismos do solo (BRADY e WEIL, 2008, citado por Petter, 2010).

As curvas de regressão da densidade do solo (Figura 2) indicam efeito quadrático significativo das doses de carvão apenas quando não se aplicou nitrogênio ao solo. Tendo em vista que a determinação ocorreu após os cultivos, pode-se atribuir esse resultado ao maior desenvolvimento das raízes quando se aplicou a dose de 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Figura 2). Nessa condição, a mínima densidade foi obtida para a dose de 6555 kg ha⁻¹ de carvão. Acima dessa dose, o aumento da densidade do solo pode ser atribuído à obstrução dos poros do solo pelo carvão.

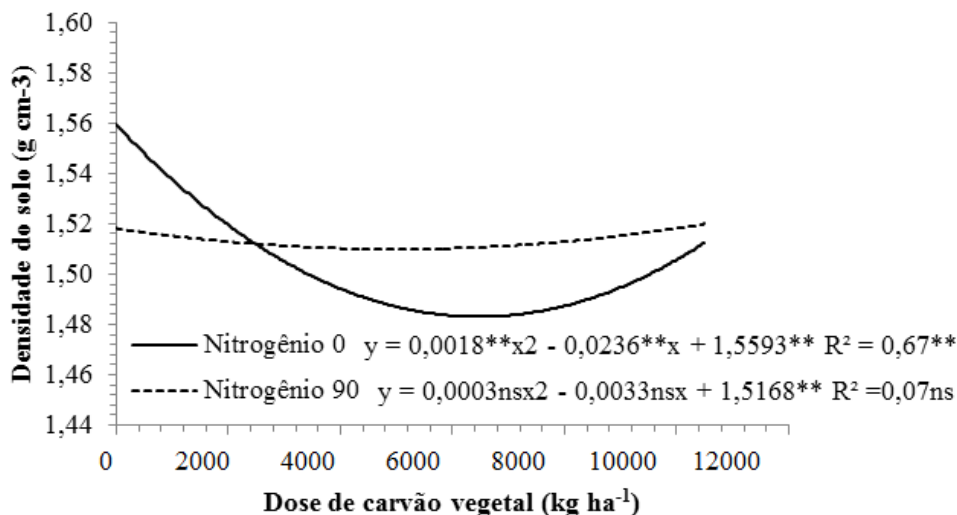


Figura 2 – Efeito de doses de carvão vegetal dentro de doses de Nitrogênio aplicadas ao solo sobre a densidade do solo (** = P<0,01; ^{ns}= não significativo)

Figure 2 – Effect of doses of charcoal within doses of nitrogen applied to soil on soil density (** = P <0.01, ns = not significant)

Segundo Shackley e Sohi (2010), os benefícios físicos da aplicação de carvão vegetal ao solo podem se manifestar sobre densidade do solo, retenção de água e agregação. A redução na densidade do solo pode ser devido ao efeito direto da baixa densidade dos finos de carvão, ao redor de 300 kg m⁻³, comparado à densidade de um solo típico, de 1300 kg m⁻³. Entretanto, dependendo do tamanho das partículas do carvão, em relação ao solo, altas doses de carvão podem aumentar a densidade do solo.

A massa seca da parte aérea do arroz observou-se efeito significativo das doses de nitrogênio (P<0,01) e da interação entre doses de nitrogênio e de carvão (P<0,05). Analisando-se a interação de doses de nitrogênio dentro de doses de carvão vegetal sobre a massa seca do arroz (Figura 3), observa-se na dose zero de carvão o efeito quadrático apenas do nitrogênio, com ponto de máximo em 70 kg ha⁻¹. A partir daí, o nitrogênio em excesso se torna prejudicial às plantas. Efeito semelhante ocorreu na dose de 3500 kg ha⁻¹ de carvão, cuja produção de massa seca é inferior à testemunha, provavelmente devido ao carvão adicionado reter parte do nitrogênio aplicado. Entretanto, nas doses de 7000 e 10500 kg ha⁻¹ o comportamento da massa seca foi linear positivo em função das doses de nitrogênio, podendo indicar que nessas doses o carvão proporcionou melhor aproveitamento do nitrogênio. Isso pode em função das maiores doses de carvão (7000 e 10500) adsorverem ainda mais N, o qual seria liberado aos poucos, em sincronia com as necessidades das plantas.

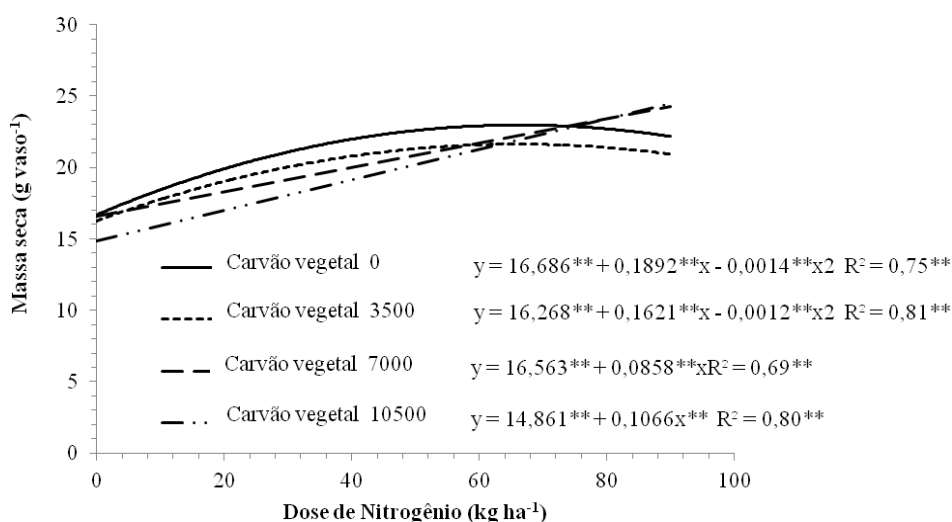


Figura 3 – Massa seca de arroz devido à interação de doses de nitrogênio dentro de doses de carvão vegetal (** = P<0,01)

Figure 3 – Dry mass of rice due to the interaction of nitrogen within doses of charcoal (** = P <0.01).

Isso está de acordo com Chan et al. (2007), que, em experimento em vasos, verificaram interação entre doses de carvão vegetal e a aplicação ou não de nitrogênio. Na presença de nitrogênio o aumento nas doses de carvão causou aumentos em produtividade de rabanete. Isso destaca a ação do carvão em melhorar a eficiência de uso do nitrogênio pelas plantas. Os autores observaram que o uso de doses elevadas de carvão proporcionou aumento no pH do solo, no carbono orgânico e nos cátions trocáveis, além de redução na resistência do solo e aumento na capacidade de campo.

Em ensaio em vasos conduzido por Madari et al. (2006), o arroz de terras altas respondeu positivamente à aplicação de carvão vegetal de eucalipto, apresentando maior crescimento, desenvolvimento de colmos e acumulação de matéria seca nas plantas. O desenvolvimento melhor e mais uniforme proporcionado pelo carvão vegetal ocorreu, especialmente, na fase inicial do crescimento. Estes resultados corroboram também os de Major et al. (2005), que obtiveram aumento na matéria seca do arroz na ordem de 53% quando adicionaram carvão vegetal ao solo.

CONCLUSÕES

As doses de carvão vegetal proporcionaram aumento linear da retenção de água correspondente à capacidade de campo, com incremento médio em volume de 39% para a maior dose (10500 kg ha⁻¹).

A densidade do solo apresentou comportamento quadrático em função das doses de carvão vegetal apenas quando não se aplicou nitrogênio, com densidade mínima na dose de 6555 kg ha⁻¹ de carvão.

A massa seca da parte aérea do arroz de terras altas apresentou efeito quadrático das doses de nitrogênio nas doses zero e 3500 kg ha⁻¹ de carvão vegetal, com ponto de máximo ao redor de 70 kg ha⁻¹ de N, enquanto que nas doses de 7000 e 10500 kg ha⁻¹ de carvão, a massa seca do arroz apresenta efeito linear positivo das doses de nitrogênio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALDOCK, J. A.; SMERNIK, R. J. Chemical composition and bioavailability of thermally altered Pinusresinosa (Red pine) wood. *Organic Geochemistry*, v. 33, p. 1093-1109. 2002.

BENITES, V. de M; TEIXEIRA, W. G; REZENDE, M. E; PIMENTA, A. S. Utilização de Carvão e Subprodutos da Carbonização Vegetal na Agricultura: Aprendendo com as terras pretas de índio, 2010. Disponível em: http://www.biochar.org/joomla/images/stories/Cap_22_Vinicius.pdf. Acesso em 20 de jun. 2012.

BERNARDINO, M. J.; TAVARES, J. Biomassa: a biomassa (massa biológica) é a quantidade de matéria orgânica produzida numa determinada área de um terreno. Bolsista de Valor: **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense** v. 1, p. 237-242, 2010.

- CASAROLI, D.; VAN LIER, Q. J. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 59-66, 2008.
- CESTARO, L. A.; SOARES, J. J.. Variações florística e estrutural e relações fitogeográficas de um fragmento de floresta decídua no Rio Grande do Norte, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**. São Paulo, v. 18, n. 2, 2004.
- CHAN, K. Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A.; JOSEPH, S. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. **Soil Research**, v.45, n. 8, p. 629–634, 2007.
- CHENG, C. H., LEHMANN, J., THIES, J. E.; BURTON, S. D. Stability of black carbon in soils across a climatic gradient. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, G02027. 2008.
- EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 1999. 624 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAO. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture**. Managing systems at risk. Rome: Summary Report, 2011. 47 p.
- GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. The "Terra Preta" phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, v. 88, p. 37-41, 2001.
- GLASER, B.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W.; RUIVO, M. L. Soil organic matter stability in Amazonian Dark Earths. In: LEHMANN, J. et al. (Eds.). **Amazonian dark earths: origin, properties, management**. Dordrecht: Kluwer Academic, p. 141-158, 2003.
- JANZEN, H. H. The soil carbon dilemma: Shall we hoard it or use it? **Soil Biology & Biochemistry**. v. 38, n.x, p. 419-424, 2006
- KRAMER, R.W.; KUJAWINSKI, E.B.; HATCHER, P.G. Identification of black carbon derived structures in a volcanic ash soil humic acid by fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry. **Environmental Science & Technology**, v. 38, p. 3387-3395. 2004.
- LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for Environmental Management**, p. 1-5. 2009.
- LEHMANN, J.; LIANG, B.; SOLOMON, D.; LEROTIC, M.; LUIZÃO, F.; KINYANGI, F.; SCHÄFER, T.; WIRICK, S.; JACOBSEN, C. Near-edge X-ray absorption fine structure (NEXAFS) spectroscopy for mapping nano-scale distribution of organic carbon forms in soil: Application to black carbon particles. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 19, 2005.
- LEHMANN, J.; SILVA JÚNIOR, J. P.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, v. 249, p. 343–357. 2003.
- LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; KINYANGI, J.; GROSSMAN, J.; O'NEILL, B.; SKJEMSTAD, J.O.; THIES, J.; LUIZÃO, F. J.; PETERSEN, J.; NEVES, E. G. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, p. 1719–1730. 2006.
- MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V. M.; COELHO, M. R.; SANTOS, G. A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra preta de índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D.C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus, AM. 1ª ed.: Embrapa Amazônia Ocidental, p. 172-188, 2009.
- MADARI, B. E.; COSTA, A. R. da; CASTRO, L. M. de; SANTOS, J. L. S.; BENITES, V. de M.; ROCHA, A. de O.; MACHADO, P. L. O. de A. **Carvão vegetal como condicionador de solo para arroz de terras altas**

(cultivar Primavera): um estudo prospectivo. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 6 p. (Comunicado Técnico, 125).

MASIELLO, C. A. New directions in black carbon organic geochemistry. **Marine Chemistry**, v. 92, p. 201-213.2004.

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

NOVOTNY, E. H.; AZEVEDO, E. R.; BONAGAMBA, T. J.; CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; HAYES, M. H. B. Studies of the compositions of humic acids from Amazonian Dark Earth soils. **Environmental Science & Technology**, v. 41, p. 400-405. 2007.

PETTER, F. A. **Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agronômicos do seu uso em solos de cerrado.** 2010. 130 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

SHACKLEY, S. J.; SOHI, S. P. **An assessment of the benefits and issues associated with the application of biochar to soil.** Londres: Department for Environment, Food and Rural Affairs, 2010.

SHINDO, H. Elementary composition, humus composition, and decomposition in soil of charred grassland plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 37, p. 651–657. 1991.

SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P.; TAYLOR, J. A.; OADES, J. M.; MCCLURE, S. G. The chemistry and nature of protected carbon in soil. **Australian Journal of Soil Research**. v. 34, p. 251-271. 1996.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

Capítulo II

PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO APÓS APLICAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL E NITROGÊNIO CHEMICAL PROPERTIES OF SOIL AFTER APPLICATION BIOCHAR AND NITROGEN

RESUMO

A degradação dos solos agrícolas causa problemas produtivos e ambientais, com consequências econômicas e sociais para as populações. Além das perdas de solo e de sua fertilidade poderem inviabilizar a atividade produtiva, existe grande preocupação com a emissão para a atmosfera de gases que contribuem para o aquecimento do planeta. Assim sendo, o trabalho tem o objetivo de avaliar o efeito da aplicação ao solo de carvão vegetal e nitrogênio sobre algumas características químicas do solo. O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação na Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN, em Macaíba-RN. O delineamento estatístico foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x4, com quatro repetições. O solo foi misturado com diferentes doses de carvão (0, 3500, 7000 e 10500 kg ha⁻¹) produzido com madeira de poda de cajueiro e em seguida colocado nos vasos. Cada dose de carvão foi combinada com quatro doses de nitrogênio (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹) para o plantio de arroz de terras altas, após o qual foi plantado caupi em metade dos vasos, contendo todas as doses de carvão e apenas as doses de 0 e 90 kg ha⁻¹ de N. As variáveis analisadas foram características químicas do solo amostradas após a colheita do arroz e após a colheita do caupi. As doses de carvão vegetal promoveram aumento no pH, teor de potássio e percentagem de sódio trocável do solo, com diminuição no teor de cálcio e magnésio. Recomenda-se a condução do experimento e o acompanhamento de resultados na mesma área em longo prazo, para a detecção do potencial de carvão vegetal para uso como fertilizante e condicionador do solo.

Palavras-chave: manejo do solo; biomassa vegetal; características químicas do solo.

ABSTRACT

The degradation of agricultural land can cause productive and environmental problems, with economic and social consequences for the population. Important issues are the possibility of loss of soil and its fertility ravaging agricultural production, besides the great concern about the emission to the atmosphere of gases that contribute to global warming. Thus, this study aims to evaluate the effect of soil application of charcoal and nitrogen on some soil chemical properties. The study was conducted in a greenhouse at the Academic Unit Specialized in Agricultural Sciences, Federal University of Rio Grande do Norte-UFRN in Macaíba-RN, Brazil. The statistical design was completely randomized in a 4x4 factorial design with four replications. The soil was mixed with different charcoal doses (0, 3500, 7000 and 10500 kg ha⁻¹) produced with wood cashew pruning and then placed in pots. Each coal dose was combined with four levels of nitrogen (0, 30, 60 and 90 kg ha⁻¹) for planting upland rice, followed by planting of cowpea in half of the pots, which contained only the 0 and 90 kg ha⁻¹ doses of N. The variables analyzed were some characteristics of soil sampled after rice harvest and after cowpea harvest. Charcoal doses provided increases in soil pH, K content and exchangeable sodium percentage, with reduction in calcium and magnesium content. Is recommended repetition of the trial in the same area and long term monitoring of the results in order to assess the potential of charcoal for use as a fertilizer and soil conditioner.

Keywords: soil management, plant biomass, soil physical attributes.

INTRODUÇÃO

As ações de transformação pelo homem, dos ecossistemas naturais em agroecossistemas, vêm causando a degradação dos solos com redução dos teores e estoques da matéria orgânica. Esta é de vital importância para os solos tropicais, que são altamente intemperizados, e que na sua maioria apresentam argila de baixa atividade. Nesse aspecto, o sequestro de carbono nos solos agrícolas é considerado uma opção importante, devido à grande quantidade de carbono que pode potencialmente ser armazenada nos solos. O acúmulo de carbono orgânico no solo pode ser obtido pelo aumento da adição de carbono e pela redução das taxas de decomposição. Para isto, são necessárias mudanças nas práticas agrícolas, melhoria nas rotações de culturas e aplicação de resíduos orgânicos ao solo (composto, resíduos agrícolas, estrumes) (MESA et al., 2003).

Tendo como base as terras pretas de índios da Amazônia, vários estudos sobre este tipo de solo estão fornecendo subsídios do efeito benéfico do carvão vegetal (carbono pirogênico) para fertilidade dos solos tropicais. As terras pretas de índio são consideradas solos antrópicos dos povos pré-colombianos da Bacia Amazônica (KAMPF e KERN, 2005) e apresentam alta produtividade agrícola, sem adubação, devido à ação do carvão pirogênico (LEHMAMet al., 2003).

Segundo Pessenda et al. (2004), entre as frações contendo carbono no solo, o carvão é uma das que possui maior vida média. Neves et al. (2003) relatam que frações contendo carbono pirogênico são encontradas nas terras pretas de índios na Amazônia em grandes quantidades e com idades definidas através do método de radio carbono que variam de 500-7000 anos. Bird et al. (1999) sugeriram que o carbono pirogênico, apesar de ser uma das frações de C mais estáveis no solo, também pode ser significativamente degradado dentro da escala de tempo de décadas ou séculos em solos sob clima subtropical. Estima-se que a meia-vida de partículas carbonizadas com diâmetro >2mm é menor que cem anos, e a de partículas com diâmetro <2mm é menor que cinquenta anos. Entre outros fatores, a lenta degradação do carvão vegetal, sujeito a transformações por processos físicos, químicos, biológicos e bioquímicos, faz com ele reaja com maior intensidade com outros componentes do solo, sendo responsável pelo efeito desse material nas terras pretas da Amazônia e pelo potencial como condicionador de solo na agricultura moderna. Com base nestes dados a aplicação de carvão vegetal ao solo pode futuramente se tornar uma excelente forma de manter os níveis adequados de carbono, evitando sua degradação.

Segundo Miyasaka et al. (2001), os resíduos de carvão vegetal são promissores para utilização na agricultura, sendo que diversos trabalhos vem sendo desenvolvidos neste sentido. A queima parcial da biomassa, com controle de temperatura (<700°C) e a ausência de oxigênio, resulta em biomassa carbonizada (LEHMAN e JOSEPH, 2009). A sua eficiência como condicionador de substrato para o crescimento de plantas é devido as suas propriedades físico-químicas e moleculares (NOVOTNY et al., 2007), que resultam em aumento da capacidade de troca catiônica, pois possuem elevada área superficial (200 m² g⁻¹ - 400 m²g⁻¹), que é comparável a das argilas e superior a das areias (KISHIMOTO e SUGIRA, 1985) e, conseqüentemente, maior disponibilização dos nutrientes, efeitos similar ao da matéria orgânica do solo (CASELMAM, 2007).

Segundo Downie et al. (2009), com a queima da biomassa ocorre a perda de alguns compostos orgânicos celulares, tendo como resultado final a formação de espaços porosos. Esses espaços porosos são divididos em: microporos com diâmetro < 2mm, mesoporos com diâmetro de 2 a 50mm e macroporos com diâmetro > 50mm (ROUQUEROL et al., 1999). Os microporos apresentam função relacionada à adsorção de gases; enquanto, os mesopores estão associados a adsorção de líquidos e compostos sólidos. Já, os macroporos são importantes alimentadores de poros de menor diâmetro (WILDMAN e DERBYSHIRE, 1991).

Os finos de carvão vegetal são muito porosos e contribuem para a retenção de água e para a multiplicação de organismos presentes no solo e substratos, além de possuírem elementos minerais como: magnésio, boro, silício, cloro, cobre, manganês, molibdênio e potássio (MAEKAWA, 2002). Segundo Madari et al. (2009) quando o carvão vegetal está em fragmentos muito pequenos, pode adsorver compostos orgânicos solúveis, reter água e servir como abrigo para microorganismos do solo. As cinzas são um componente muito importante, pois são constituídas de minerais, sendo os mais presentes o potássio, cálcio, fósforo e sódio.

O carvão vegetal proporciona retenção de nutrientes por aumentar a capacidade de troca catiônica e possui grande influência sobre os processos biogeoquímicos do solo, como as reações de adsorção de nutrientes (MORALES, 2010). O carvão vegetal presente no solo abriga vários microorganismos, sendo que pela ação de enzimas e, ou oxidação química podem formar compostos que retém água e nutrientes no meio, tornando a adubação mais eficiente e diminuindo os custos com irrigação (BENITES et al., 2010).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação ao solo de carvão vegetal e nitrogênio sobre propriedades químicas do solo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi instalado na casa de vegetação, na Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN, localizada na Escola Agrícola de Jundiá, em Macaíba-RN(EAJ). As coordenadas geográficas do local são 5°53'S e 35°23'W. O clima local é uma transição entre os tipos As' e BSh' da classificação de Köppen, com temperaturas elevadas ao longo do ano e chuvas no outono e no inverno. A temperatura média anual do ar está em torno de 26°C, com temperatura média mensal relativamente uniforme ao longo do ano. O posto pluviométrico mais próximo, da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), registra precipitação média anual para o período 1984-2000 de 1.227mm, com coeficiente de variação de 30 % (CESTARO e SOARES, 2004).

O solo foi coletado do horizonte superficial, na profundidade de 0-20 cm, no pomar da EAJ. Após a coleta, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha de 2 mm de abertura para a caracterização física e química (Tabela 1) e de 4 mm para a montagem do experimento. Caracterização química e física foi realizada no Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta da Universidade Federal do Semi-Árido (UFERSA) segundo metodologia proposta por EMBRAPA (2009) e TEDESCO et al. (1995).

Tabela 1 – Caracterização química e física das amostras de solo utilizadas no experimento. Mossoró, 2013.

Table 1 – Chemical and physical characterization of soil samples used in the experiment. Mossoró, 2013.

| Dp | Argila | | | | Areia grossa | | Areia fina | Silte | pH | CE | MO | N |
|-------------------------------|--------|-----|----------------------------------|-----|-------------------|-------------------------------|------------|--------|------|-------------------|-------|-------------------|
| gcm ⁻³ | | | | | gkg ⁻¹ | | | | | dSm ⁻¹ | % | gkg ⁻¹ |
| 2,43 | 25 | | | | 540 | | 364 | 71 | 5,8 | 0,23 | 1,0 | 0,18 |
| P | K | Na | Ca | Mg | SB | (H +Al) | CTC | Fe | Cu | Mn | Zn | |
| -----mgdm ⁻³ ----- | | | -----cmolcdm ⁻³ ----- | | | -----mgkg ⁻¹ ----- | | | | | | |
| 19,4 | 89,7 | 7,8 | 1,5 | 0,8 | 2,5 | 1,86 | 4,37 | 125,33 | 0,03 | 89,55 | 31,93 | |

Dp: densidade de partícula; P, K e Na: extraídos com solução de Mehlich⁻¹; Ca e Mg: extraídos com KCl 1 mol L⁻¹; pH em água; CTC a pH 7,0; Cu, Mn, Fe, Zn: digestão com ácido nítrico perclórico.

Foram utilizados vasos preenchidos com 10 L de solo até 0,20 m de profundidade, misturado com diferentes doses de carvão vegetal. As doses foram calculadas para um hectare e profundidade de 0,20 m (2000 m³ ou 2000000 L) e, a partir delas, determinadas as quantidades por vaso. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x4, constando de doses de carvão vegetal: 0 (testemunha), 3500 kg ha⁻¹ (17,5 g por vaso), 7000 kg ha⁻¹ (35 g por vaso) e 10500 kg ha⁻¹ (52,5 g por vaso) e doses de nitrogênio: 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹, na forma de nitrato de cálcio incorporado superficialmente ao solo, correspondendo a 16 tratamentos e 4 repetições.

O carvão vegetal foi produzido com lenha de poda de cajueiro, segundo o método tradicional das carvoarias artesanais “rabo quente”. Realizou-se a caracterização química do carvão vegetal a partir da determinação das diferentes formas de carbono no Laboratório de Tecnologia da Madeira da EAJ-UFRN e das análises de macro (N, P e K) e micronutrientes (Cu, Mn, Fe e Zn) no Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta da UFERSA (Tabela 2).

Tabela 2 – Caracterização química do carvão vegetal utilizado no experimento. Mossoró-RN, 2013.

Table 2 – Chemical characterization of charcoal used in the experiment. Mossoró-RN, 2013.

| CF | C | MVI | Ud | N | K | P | Cu | Mn | Fe | Zn |
|-------------|----|-----|------|-------------------------------|------|--------------------------------|-------|-------|--------|-------|
| -----%----- | | | | -----g.kg ⁻¹ ----- | | -----mg.kg ⁻¹ ----- | | | | |
| 63 | 16 | 21 | 5,43 | 9,35 | 1,34 | 89,16 | 10,21 | 32,27 | 185,04 | 18,45 |

P, K, Cu, Mn, Fe, Zn: digestão com ácido nítrico perclórico; N: digestão com ácido sulfúrico; CF: Carbono Fixo, C: Cinzas, MVI: Matérias Voláteis, Ud: Umidade.

A primeira cultura plantada foi o arroz de terras altas (*Oryza sativa*L.) cultivar BRS Sertaneja, do qual foram semeadas 30 sementes por vaso no dia 15/06/2013, ao mesmo tempo em que se aplicava ao solo e incorporava em dose única o nitrogênio correspondente a cada tratamento, sem outro tipo de adubação. A irrigação foi realizada manualmente, sendo que por ocasião do plantio os vasos possuíam umidade próxima à capacidade de vaso, determinada previamente conforme Casaroli e Van Lier (2008). Em 29/10/2013 foram semeadas 12 sementes de caupi (*Vigna unguiculata*(L.)Walp.) cv. Itaim. Após o desbaste, aos 10 DAS, restaram três plantas por vaso.

O solo foi amostrado em duas épocas: a primeira logo após a colheita do arroz de sequeiro (150 dias após a aplicação dos tratamentos), tendo sido coletado solo nos vasos que receberam as quatro doses de carvão vegetal, mas apenas as doses de 30 e 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Na segunda amostragem, logo após a colheita do caupi (220 dias após a aplicação dos tratamentos), o solo foi coletado nos vasos recebendo todas as doses de carvão vegetal e apenas as doses de 0 e 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

As determinações realizadas foram de pH, teor de carbono orgânico do solo e teores de P, K, Ca, Mg e Na, tendo sido calculadas a CTC (capacidade de troca de cátions) e a PST (percentagem de sódio trocável) do solo. A metodologia utilizada foi a de EMBRAPA (2009).

As análises estatísticas incluíram análise da variância dos efeitos de época de amostragem e doses de carvão, a análise de regressão para variáveis com efeito significativo das doses de carvão e teste de Duncan (p<0,05) para médias das épocas de amostragem. Devido a que as doses de nitrogênio foram diferentes em cada época de amostragem, a análise da variância dos efeitos de doses de carvão, doses de nitrogênio e da interação entre elas foi realizada em separado para cada época de amostragem, seguida de análise de regressão para doses de carvão quando o efeito foi significativo e teste de médias entre doses de nitrogênio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira amostragem verificou-se que a dose de carvão exerceu efeito significativo sobre pH e Ca e Mg (p<0,05) e K (p<0,01), o qual apresentou coeficiente de variação (CV) de 50%. Entretanto, não houve efeito significativo de doses de nitrogênio (30 e 60 kg ha⁻¹) nem da interação entre doses de carvão vegetal e de nitrogênio. A Figura 1 ilustra o efeito linear positivo da dose de carvão vegetal sobre o pH do solo, que aumentou 6% entre a dose zero e a maior dose de carvão vegetal. Para o K, o efeito da dose de carvão vegetal foi quadrático e o aumento de 73%. Enquanto isso, Ca e Mg também receberam efeito quadrático e sofreram diminuição ao redor de 10%. Apesar de não ser estatisticamente significativos, destaca-se o aumento de 40% para P e diminuição de 62% no carbono orgânico do solo.

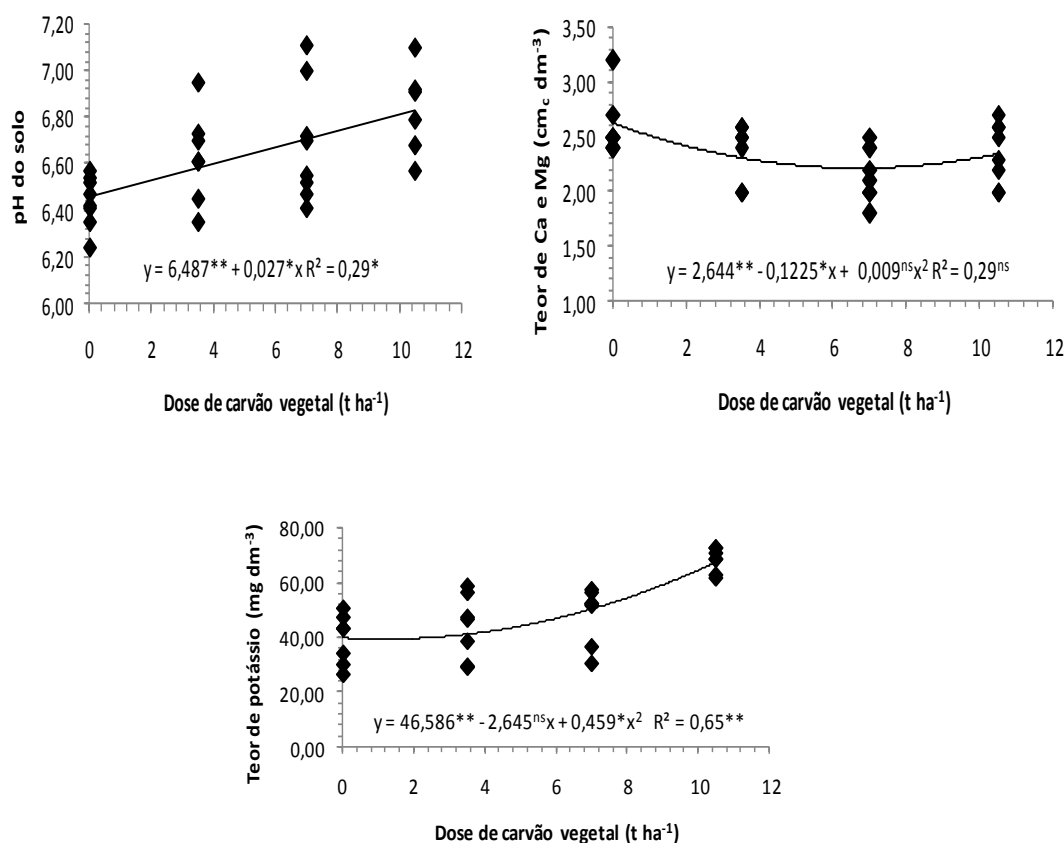


Figura 1 – Efeitos de doses de carvão vegetal sobre pH do solo, teor de potássio e teor de cálcio e magnésio na primeira amostragem de solo. (**significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5%;^{ns}não significativo).

Figure 1 -Charcoal dose effect on soil pH, potassium and calcium content and magnesium content in the first soil sample. (** significantat 1% probability; * 5% significant; notsignificantns).

A aplicação de carvão ao solo é considerada como maneira de sequestrar carbono e também melhorar as funções do solo (VERHEIJEN et al., 2010). As características benéficas do carvão, como condicionador do solo, são alta capacidade de troca de cátions, alta superfície específica e afinidade por macro e micronutrientes (STREUBEL et al., 2011).

Em trabalho de Carvalho et al. (2013) não foi observado efeito do carvão sobre teores no solo de P e carbono orgânico. Entretanto, foram observados aumentos no teor de fósforo no solo por Chan et al. (2007), em vasos, e por Silva et al. (2011). Segundo Madari et al. (2006) o aumento do teor de P no solo pode ser devido à disponibilização deste elemento pelo carvão quando em ligação orgânica com diferentes formas de matéria orgânica, enquanto que estando em ligação inorgânica com argilominerais no solo é indisponível para as plantas. Petter et al. (2012) obtiveram aumento de 17% na disponibilidade de P quando usaram dose de 32 Mg ha⁻¹ em relação à testemunha. Segundo Sohi et al. (2010) o efeito indireto do carvão sobre a disponibilidade de fósforo no solo, além do conteúdo de fósforo na fração cinzas do carvão, podem explicar efeitos a curto prazo da adição de carvão sobre as culturas.

Apesar de Silva et al. (2011) afirmarem que em pouco tempo de interação entre o solo e carvão o efeito do carvão sobre as propriedades químicas do solo fica abaixo do esperado, Madari et al. (2006) observaram efeitos significativos 28 dias após a adição do carvão ao solo.

O aumento pH do solo, como foi observado no presente trabalho, é a alteração química mais citada como resultado da adição de carvão vegetal ao solo, sendo, segundo Jeffery et al. (2011), um dos seus principais efeitos positivos, além de causar efeitos indiretos sobre a química do solo (SOHI et al., 2010). O efeito corretivo da acidez do solo, segundo Verheijen et al. (2010), é um dos mecanismos mais prováveis de aumento em produtividade das culturas após aplicação de carvão vegetal ao solo. Segundo Madari et al. (2006) isso é devido ao efeito tampão da matéria orgânica adicionada ao solo na forma de carvão vegetal. Nesse sentido, estudo de Petter et al. (2012) demonstrou que o efeito positivo da aplicação de carvão vegetal sobre o pH do solo aumentou com o aumento da dose de carvão vegetal.

Em estudo de Streubel et al. (2011) a aplicação ao solo de carvão vegetal, independente da origem, aumentou significativamente o pH de todos os tipos de solo estudados, mas com maior efeito no solo arenoso. Enquanto isso, Chan et al. (2007), observaram que aplicações de carvão vegetal proporcionaram aumento no pH do solo de 1,22 unidades entre a dose zero e 100 t ha⁻¹, na ausência de fertilizante nitrogenado, e de 0,61 unidades na presença de fertilizante nitrogenado. Verheijen et al. (2010) conduziram meta análise de diversos estudos sobre a produtividade de culturas e observaram que, em média, o pH do solo antes da aplicação de carvão era 5,3 e após a aplicação foi de 6,2, havendo o caso do carvão de esterco animal que causou aumento em pH de 4,8 para 7,8.

Em relação ao aumento nos teores de potássio do solo durante todo o período do experimento, Jeffery et al. (2011) afirmam que a maior disponibilidade de nutrientes no solo, em particular o K, é um dos principais efeitos positivos da aplicação do carvão sobre a produtividade das culturas, além da maior retenção de água e redução na acidez do solo. O aumento no teor de potássio disponível para as plantas também foi observado por Madari et al. (2006), além de Chan et al. (2007) e Silva et al. (2011).

A utilização de carvão vegetal no solo pode levar a uma maior fixação de carbono, devido sua superfície de cargas e pela alta estabilidade no solo em função de seu efeito recalcitrante e sua natureza refratária (Madari et al., 2006). A permanência do carbono em estruturas aromáticas, como é o caso do carvão vegetal, por longos anos, leva ao efeito de retenção prolongada do carbono no solo. A alta superfície específica, grande quantidade de sítios quimicamente reativos e alta porosidade podem diminuir as emissões de gases de efeito estufa, principalmente dos provenientes de adubações nitrogenadas (Petter, 2010). Yanai et al. (2007) verificaram que o uso de carvão derivado de resíduos biodegradáveis urbanos reteve 73% da emissão de óxido nitroso.

A análise dos dados da segunda amostragem revelou efeito significativo das doses de carvão apenas para as variáveis pH ($p < 0,01$), Ca e Mg e PST ($p < 0,05$), enquanto que o efeito das doses de nitrogênio foi observado para pH e PST, sem haver interação significativa. Foi observado efeito quadrático de doses de carvão vegetal sobre pH, Ca e Mg e PST. Entre as doses 0 e 90 kg ha⁻¹ de N, observaram-se aumentos ao redor de 7 % no pH e 19 % em PST, enquanto que Ca e Mg diminuiu ao redor de 9%. O aumento na PST se deu tanto pelo aumento nos teores de sódio no solo (não apresentados) como pela diminuição nos teores de cálcio e magnésio. Apesar de não serem estatisticamente significativos, observaram-se entre as doses extremas, aumentos ao redor de 23% no teor de P e de 27% para K (Figuras 2).

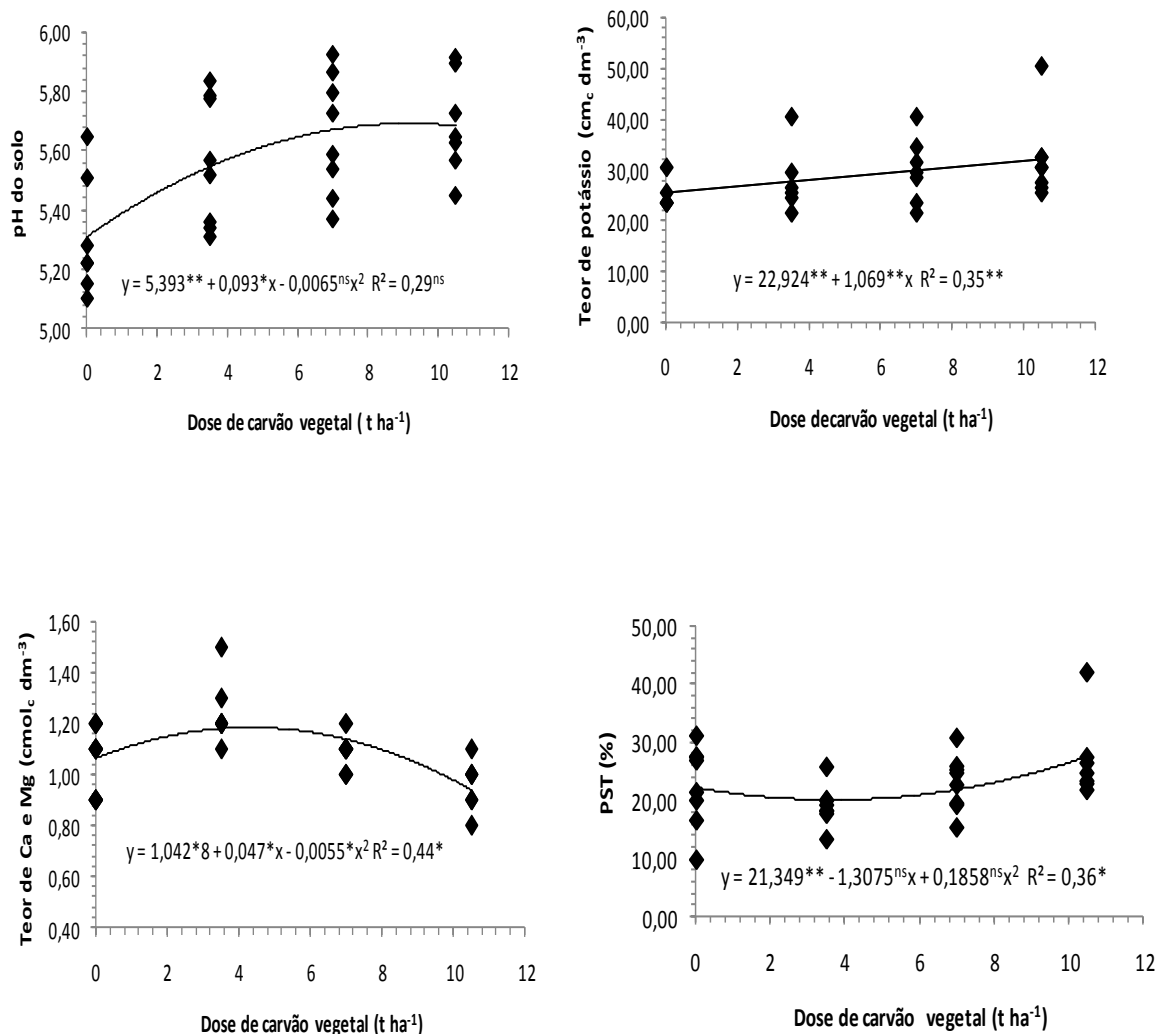


Figura 2 – Efeitos de doses de carvão vegetal sobre pH do solo, teor de potássio, teor de cálcio e magnésio e PST na segunda amostragem de solo. (**significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5%; ^{ns}nãosignificativo).

Figure 2 - Effects of charcoal dose on soil pH, potassium, calcium and magnesium PST and the second soil sampling. (** significantat 1% probability; * 5% significant; notsignificantns).

O trabalho difere do de Petter et al. (2012) que observaram efeito do carvão sobre a disponibilidade de K somente no segundo ano do experimento. Segundo os autores, o carvão contém quantidades consideráveis de K e outros nutrientes. O aumento nos teores de K no solo também foi observado por Carvalho et al. (2013), entretanto diferiu do presente trabalho pois o aumento foi dependente da dose de nitrogênio aplicada.

A diminuição nos teores de cálcio e magnésio do solo, que podem ter sido deslocados dos sítios de troca para a solução do solo e, então, lixiviados, está de acordo com Silva et al. (2011), que observaram aumento no teor de K e de P e redução nos teores de Ca e Mg no solo após aplicação de carvão. Mas está em desacordo com Chan et al. (2007), que observaram que o uso de doses elevadas de carvão proporcionou aumento nos teores de cátions trocáveis. Nesse sentido, Carvalho et al. (2013) observaram aumento linear dos teores de Ca e Mg no solo com o aumento da dose de carvão. Enquanto que Petter et al. (2012) observaram aumento no teor de cálcio no solo de 36% quando a dose de carvão aplicada foi de 32 Mg ha⁻¹ em relação à testemunha, porém não verificaram efeito da adição de carvão sobre o teor de magnésio no primeiro ano do experimento.

O pH do solo foi 5 % maior quando se usou a dose de 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio, em relação à dose zero (Tabela 3). No caso do PST, houve uma diminuição de 27% entre a dose 0 e a de 90 kg ha⁻¹. Esses resultados podem ser explicados pela aplicação de nitrato de cálcio como fonte de nitrogênio.

Tabela 3. Comparação de médias entre doses de nitrogênio para as variáveis químicas do solo na segunda amostragem.

Table 3. Comparison of means between nitrogen levels to the chemical characteristics of the soil in sample.

| Dose | pH | Corg | P | K | CaMg | PST |
|------------------------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|
| 0 kg ha ⁻¹ | 5,43 B | 1,33 B | 21,84 A | 30,51 A | 1,07 A | 25,33 A |
| 90 kg ha ⁻¹ | 5,68 A | 1,46 A | 19,37 A | 28,14 A | 1,09 A | 19,88 B |

Médias seguidas de letras diferentes diferem pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade

Evidenciou-se o aumento da PST promovido pela adição de carvão vegetal, que pode ser explicado tanto pela diminuição em Ca e Mg como ao aumento no teor de Na no solo, também observado por Chan et al. (2007), em vasos. Segundo Verheijen et al. (2010) os sais contidos no carvão vegetal podem ser considerados como uma fonte potencial de salinização secundária. Segundo esses autores, a composição de sais na fração cinzas do carvão depende muito da composição de sua matéria prima, porém afirmam que o sódio estaria contido em menores quantidade do que outros minerais. Os autores também ressaltam o fato de haver poucas pesquisas sobre as cinzas do carvão e sobre a possibilidade de tornarem solúveis e contribuir para a salinização do solo.

CONCLUSÕES

As doses de carvão vegetal promoveram aumento no pH, teor de potássio e percentagem de sódio trocável do solo, com diminuição no teor de cálcio e magnésio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENITES, V. de M.; TEIXEIRA, W. G.; REZENDE, M. E.; PIMENTA, A. S. **Utilização de Carvão e Subprodutos da Carbonização Vegetal na Agricultura: Aprendendo com as terras pretas de índio 2010.** Disponível em: http://www.biochar.org/joomla/images/stories/Cap_22_Vinicius.pdf. Acesso em 20 de out. 2014.

BIRD, M. I.; VEENEDAAL, E. M.; LLOYD, J.; FROST, P. Stability of carbon in savanna soil. **Global Biochemical Cycles**, Washington, v. 13, n. 4, p. 923-932. 1999.

CASAROLI, D.; VAN LIER, Q. J. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 59-66, 2008.

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

CHAN, K. Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A.; JOSEPH, S. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. **Soil Research**, v.45, n. 8, p. 629-634, 2007.

CASSELMAN, A. Special report: inspired by ancient amazonians, a plan to convert trash into environmental treasure. **Scientific American**, May 15, 2007, p. 1-4.

CESTARO, L. A.; SOARES, J. J. Variações florística e estrutural e relações fitogeográficas de um fragmento de floresta decídua no Rio Grande do Norte, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**. São Paulo, v. 18, n. 2, 2004.

DOWNIE, A.; CROSKY, A.; MUNROE, P. Physical Properties of Biochar. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S (ed). **Biochar for environmental Management: Science and Technology**. 1. Ed. Londres: Earthscan, 2009, 416p.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 624 p. 2009.

- JEFFERY, S. et al. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.144, n. 1, p. 175–187, 2011.
- KAMPF, N.; KERN, D. C. O solo como registro de ocupação humana pré-histórica na Amazônia. Tópicos em Ciências do Solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Viçosa, v. 4, p. 277-320. 2005.
- KISHIMOTO, S.; SUGIRA, G. Charcoal as a soil conditioner. In: SYMPOSIUM ON FOREST PRODUCT RESEARCH INTERNATIONAL: ACHIEVEMENTS AND THE FUTURE, 1985, Pretoria, **Proceedings**. Pretoria: Nacional Timber Research Institute, 1985, v.5, p. 22-26.
- LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for Environmental Management**, p. 1-5. 2009.
- LEHMANN, J.; SILVA JÚNIOR, J. P.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, v. 249, p. 343–357. 2003.
- MADARI, B. E.; COSTA, A. R. da; CASTRO, L. M. de; SANTOS, J. L. S.; BENITES, V. de M.; ROCHA, A. de O.; MACHADO, P. L. O. de A. **Carvão vegetal como condicionador de solo para arroz de terras altas (cultivar Primavera): um estudo prospectivo**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 6 p. (Comunicado Técnico, 125).
- MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V. M.; COELHO, M. R.; SANTOS, G. A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra preta de índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D.C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus, AM. 1ª ed.: Embrapa Amazônia Ocidental, p. 172-188, 2009.
- MAEKAWA, K. **Curso sobre produção de carvão, extrato pirolenhoso e seu uso na agricultura**. (APAN – Associação dos produtores de Agricultura natural). 2002. Mimeo.
- MESA, J.M.; ROCHA, J.D.; OLIVARES, E.; BARBOZA, L.A.; BROSSARD, J.E.; BROSSARD JUNIOR, L.E.. Pirólise rápida em leito fluidizado: Uma opção para transformar biomassa em energia limpa, **Revista Analytica**, nº 04, 2003, pp. 32-36.
- MIYASAKA, S.; OHKAWARA, T.; NAGAI, K, YAZAKI, H.; SAKITA, M, N. Técnicas de produção e uso do fino carvão e Licor Pirolenhoso. In: Encontro de processos de proteção de plantas; Controle ecológico de pragas e doenças, 1, Botucatu, 2001. **Resumos...** p. 161-176
- MORALES. M. M. **Efeito do biocarvão sobre o comportamento da matéria orgânica e do fósforo em solo degradado**. 2010. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu, 2010.
- NEVES, E. G.; PETERSEN, J. B.; BARTONE, R. N.; SILVA, C. A, D. Historical and socio-cultural origins of Amazonian Dark Earths. In LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS. W. I.(eds) **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, p. 29-50, 2003.
- NOVOTNY, E. H.; AZEVEDO, E. R.; BONAGAMBA, T. J.; CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; HAYES, M. H. B. Studies of the compositions of humic acids from Amazonian Dark Earth soils. **Environmental Science & Technology**, v. 41, p. 400-405. 2007.
- PESSENDA, L. C. R.; GOUVEIA, S. E. M.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; VALENCIA, E. P. E. Holocene fire and vegetation changes in southeastern Brazil as deduced from fossil charcoal and soil carbon isotopes. **Quaternary International**, Oxford, v. 114, n. 1, p. 35-43. 2004.

PETTER, F. A. **Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agrônômicos e ambientais do seu uso em solos de cerrado**. 2010.130 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

PETTER, F. A. et al. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n.5, p. 699-706, 2012.

ROUQUEROL, F.; ROUQUEROL, I.; SING, K. **Adsorption by Powders and Porous Solids**. London: Academic Press, 125 p. 1999.

SILVA, M. A. S. et al. Efeito da aplicação de biochar sobre propriedades químicas do solo e produtividade de feijoeiro comum irrigado. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 10., 2011, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2011. 1 CD-ROM.

SOHI, S.P et al. A review of Biochar and its use and function in soil. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 105, p. 47-82, 2010.

STREUBEL, J. D. et al. Influence of contrasting biochar types on five soils at increasing rates of application. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 75, n. 4, p. 1402-1413, 2011.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

VERHEIJEN, F. et al. **Biochar Application to Soils**. A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. Ispra (Itália): European Commission, Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability, 2010. 166p. Disponível em: <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eusoils_docs/other/eur24099.pdf> Acesso em: 29 Jan. 2014.

WILDMAN, J.; DERBYSHIRE, F. Origins and functions of macroporosity in activated carbons from coal and wood precursors, **Fuel**, Oxford, v. 70, n. 5, p. 655-661, 1991.

YANAI, Y.; TOYOTA, K.; OKAZAKI, M. Effects of charcoal addition on N₂O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 53, n. 2, p. 181-188, 2007.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o trabalho práticas sustentáveis de manejo de água e solo, reduzem a vulnerabilidade à mudança climática e contribuem para sua mitigação, especialmente o sequestro de carbono. A adição de matéria orgânica no solo contribui para acumular carbono e proporciona benefícios como maior retenção de nutrientes, armazenamento e retenção de água no solo, reduzindo a necessidade de fertilizantes pela maior absorção pelas plantas.

Acúmulo de carbono no solo pode ser uma medida para ajudar a diminuir o crescimento do CO₂ atmosférico, segundo o trabalho. Além de que, mesmo sem o benefício à atmosfera, acumular carbono no solo é benéfico, pois o solo com mais C orgânico é mais produtivo. A matéria orgânica alimenta os organismos do solo, os quais reciclam os nutrientes para as plantas. Ela tem benefícios persistentes, sejam físicos (estrutura do solo e retenção de umidade), ou químicos (troca de íons e efeito tampão).

Logo, quanto maior a decomposição, mais ativa é a biota e maiores os benefícios biológicos obtidos. Ou seja, para acumular C seria necessária menor respiração no solo, obtida diminuindo a atividade biológica. Isto é válido para adição fixa de C ao solo, apenas a oriunda da biomassa produzida, de forma que quando aumentasse a matéria orgânica, também aumentassem a liberação de nutrientes e a atividade biológica.

A solução deste paradoxo seria aumentar a quantidade de C adicionada ao solo, além do oriundo da biomassa produzida. A adição extra de C pode levar à sua maior acumulação, mesmo que a decomposição aumente. Neste sentido, são necessárias pesquisas que permitam o acúmulo de carbono em formas recalcitrantes, protegendo o C contra a biota decompositora; se possível, proporcionar diferentes frações de C no solo separando o C acumulado daquele disponível para a população microbiana, em sincronia com demandas por energia e nutrientes. Estes estudos são urgentes, pois as pressões impostas aos ecossistemas pelas mudanças globais podem tornar os solos mais quentes, modificar as adições de resíduos devido ao aumento do CO₂ e intensificar o uso da terra pela enorme competição por espaço e alimento.

O efeito do carvão vegetal sobre as propriedades químicas do solo foi abaixo do esperado, provavelmente devido ao pouco tempo de interação entre o solo e o carvão vegetal até o momento em que as análises foram realizadas. Por isso, a condução de experimento e o acompanhamento de resultados na mesma área em longo prazo fazem-se necessários. Assim as modificações químicas do carvão vegetal no solo pode ser avaliada, gerando informações consistentes sobre as potencialidades de uso desse material como condicionador e fertilizante de solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENITES, V. de M.; TEIXEIRA, W. G.; REZENDE, M. E.; PIMENTA, A. S. Utilização de Carvão e Subprodutos da Carbonização Vegetal na Agricultura: **Aprendendo com as terras pretas de índio 2010**. Disponível em <http://www.biochar.org/joomla/images/stories/Cap_22_Vinicius.pdf>. Acesso em 20 de jun. 2013.

BERNARDINO, M.J.; TAVARES, J. Biomassa: a biomassa (massa biológica) é a quantidade de matéria orgânica produzida numa determinada área de um terreno. Bolsista de Valor: **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense** v. 1, p. 237-242, 2010.

GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G. & ZECH, W. The "Terra Preta" phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, 88:37-41, 2001.

GLASER, B.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W.; RUIVO, M. L.. Soil organic matter stability in Amazonian Dark Earths. In: LEHMANN, J. et al. (Eds.). **Amazonian dark earths: origin, properties, management**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2003. p. 141-158.

KRAMER, R.W., KUJAWINSKI, E.B. e HATCHER, P.G. Identification of black carbon derived structures in a volcanic ash soil humic acid by fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry. **Environmental Science & Technology**., v. 38, p.3387-3395. 2004.

LEHMANN, J., GAUNT, J. e RONDON, M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems – a review, Mitigation and Adaptation. **Strategies for Global Change**, v.11, p. 403–427.2006.

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

MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V. M.; COELHO, M. R.; SANTOS, G. A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra preta de índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D.C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus, AM. 1ª ed.: Embrapa Amazônia Ocidental, p. 172-188, 2009.

MAEKAWA, K. **Curso sobre produção de carvão, extrato pirolenhoso e seu uso na agricultura (APAN – Associação dos produtores de Agricultura natural)**. 2002. Mimeo.

MANGRICH, A.S.; MAIA, C.M.B.F.; NOVOTNY, E.H. Biocarvão as Terras Pretas de índios e o sequestro de carbono. **CiênciaHoje**, v. 47, n. 281, p. 47-52, 2011.

MASIELLO, C.A. New directions in black carbon organic geochemistry. **Marine hemistry.**, v. 92, p. 201-213. 2004.

MORALES, M. M. **Efeito do biocarvão sobre o comportamento da matéria orgânica e do fósforo em solo degradado**. 2010. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu, 2010.

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

NOVOTNY, E.H.; DE AZEVEDO, E.R.; BONAGAMBA, T.J.; CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; BENITES, V.M.; HAYES, M.H.B. Studies of the composition of humic acids from Amazonian Dark Earth soils. **Environmental Science & Technology.**, v. 41, p. 400-405. 2007.

PICCOLO, A.; PIETRAMALLARA, G.; MBAGWU, J.S.C. Effects of coal-derived humic substances on water retention and structural stability of Mediterranean soils. **Soil Use and Management**, Malden, v. 12, p. 209-213, 1996.

PIETIKAINEN, J.; KIIKKILA, O.; FRITZE, H. Charcoal as a habitat for microbes and its effect on the microbial community of the underlying húmus. **Oikos**, Kobenhavn, v. 89, p. 231-242, 2000.

SKJEMSTAD, J.O., CLARKE, P., TAYLOR, J.A., OADES, J.M. e MCCLURE, S.G. The chemistry and nature of protected carbon in soil. **Australian Journal of Soil Research.**, v. 34, p. 251-271. 1996.

STEINER, C.; TEIXEIRA, W. G.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Microbial response to charcoal sediments of highly weathered soils and Amazonian Dark Earths in Central Amazônia - Preliminary results. In: GLASER, B.; WOODS, W.I. (ED). **Amazonian Dark Earths: exploration in space and time**. Heidelberg: Springer Verlag, 2004. p. 195-212.